

РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК  
НАУЧНЫЙ СОВЕТ РАН ПО ПРОБЛЕМАМ ГЕОЭКОЛОГИИ,  
ИНЖЕНЕРНОЙ ГЕОЛОГИИ И ГИДРОГЕОЛОГИИ  
РОССИЙСКИЙ ФОНД ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

---

**СЕРГЕЕВСКИЕ ЧТЕНИЯ**  
**Инженерная геология и геоэкология.**  
**Фундаментальные проблемы**  
**и прикладные задачи**

*Юбилейная конференция,  
посвященная 25-летию образования ИГЭ РАН*

**Выпуск 18**

Материалы годичной сессии  
Научного совета РАН по проблемам геоэкологии,  
инженерной геологии и гидрогеологии  
(24-25 марта 2016 г.)

Москва  
Российский университет дружбы народов  
2016

УДК 502/504:55:624.131.1(063)  
ББК 26.3:20.18  
С32

*Издание осуществлено при финансовой поддержке  
Российского фонда фундаментальных исследований (грант № 16-05-20058)*

**Редакционная коллегия:**  
**В.И. Осипов** (ответственный редактор),  
**О.Н. Еремина** (ответственный секретарь),  
**Н.Г. Анисимова, Е.В. Булдакова, А.С. Викторов, В.Г. Заиканов,**  
**В.П. Зверев, С.В. Козловский, И.В. Козлякова, В.Н. Кутергин,**  
**Н.Г. Мавлянова, Ю.А. Мамаев, Г.П. Постоев, В.С. Путилина, Д.О. Сергеев**

**С32**      **Сергеевские чтения. Инженерная геология и геоэкология. Фундаментальные проблемы и прикладные задачи. Вып. 18.** Материалы годичной сессии Научного совета РАН по проблемам геоэкологии, инженерной геологии и гидрогеологии (24-25 марта 2016 г.). – Москва : РУДН, 2016. – 812 с. : ил.  
ISBN 978-5-209-07024-5

В сборнике опубликованы доклады, представленные на восемнадцатую ежегодную конференцию «Сергеевские чтения» памяти академика Е.М. Сергеева (г. Москва, 24-25 марта 2016 г.). Чтения были посвящены 25-летию образования Института геоэкологии им. Е.М. Сергеева РАН и проходили под названием «Инженерная геология и геоэкология. Фундаментальные проблемы и прикладные задачи». На конференции обсуждались следующие темы: изучение состава и свойств грунтов; оценка опасности и риска природных и природно-техногенных процессов; геоэкологические и инженерно-геологические проблемы урбанизированных территорий и промышленных объектов; геоэкологические проблемы подземной гидросферы; геоэкологические и инженерно-геологические проблемы в криолитозоне; загрязнение и экологическая реабилитация природной среды; развитие методологии и методов исследований в геоэкологии и инженерной геологии; совершенствование нормативно-правовой документации. Для специалистов, студентов и аспирантов в области инженерной геологии, гидрогеологии и геоэкологии.

УДК 502/504:55:624.131.1(063)  
ББК 26.3:20.18

ISBN 978-5-209-07024-5

© Научный совет РАН по проблемам геоэкологии,  
инженерной геологии и гидрогеологии, 2016  
© Коллектив авторов, 2016  
© Российский университет дружбы народов,  
Издательство, 2016



**Академик  
Евгений Михайлович СЕРГЕЕВ  
(1914–1997)**





## ПРЕДИСЛОВИЕ

---

---

Настоящий сборник содержит материалы восемнадцатых Сергеевских чтений «Инженерная геология и геоэкология. Фундаментальные проблемы и прикладные задачи». Проведенная конференция явилась юбилейной, посвященной 25-летию образования Института геоэкологии им. Е.М. Сергеева РАН. Она вызвала большой интерес у научной общественности: было заявлено 209 докладов. После рецензирования в настоящий сборник включено 160 докладов.

Работа конференции проходила по восьми секциям. Тематика секций охватывала важнейшие проблемы геоэкологии и инженерной геологии:

- изучение состава и свойств грунтов,
- оценка опасности и риска природных и природно-техногенных процессов,
- геоэкологические и инженерно-геологические проблемы урбанизированных территорий и промышленных объектов,
- геоэкологические проблемы подземной гидросферы,
- геоэкологические и инженерно-геологические проблемы в криолитозоне,
- загрязнение и экологическая реабилитация природной среды,
- развитие методологии и методов исследований в геоэкологии и инженерной геологии,
- совершенствование нормативно-методической документации в инженерной геологии.

Работа конференции проходила на фоне подведения итогов 25-летней деятельности Института геоэкологии им. Е.М. Сергеева РАН (ИГЭ РАН). В связи с этим ниже излагаются некоторые итоги этой деятельности.

Институт геоэкологии РАН создан согласно постановлению Президиума РАН от 21.05.1996 г. № 95 на базе Инженерно-геологического и геоэкологического научного центра (ИГЦ РАН), Научно-инженерного и координационного сейсмологического центра (НИКСЦ РАН) и Комплексной лаборатории гидрогеологии и природосберегающих технологий РАН и Госкомвуза РФ, преобразованной в Санкт-Петербургское отделение ИГЭ РАН, для решения фундаментальных и прикладных задач инженерной геологии и геоэкологии.

На основании постановления Президиума РАН от 21 ноября 2006 г. № 331 ИГЦ РАН переименован в Институт геоэкологии им. Е.М. Сергеева Российской академии наук (ИГЭ РАН). Позднее постановлением Президиума РАН от 13 декабря 2011 г. № 262 изменен тип и наименование института на

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт геоэкологии им. Е.М. Сергеева РАН.

В соответствии с Федеральным законом от 27 сентября 2013 г. № 253-ФЗ «О Российской академии наук, реорганизации государственных академий наук и внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации» и распоряжением Правительства Российской Федерации от 30 декабря 2013 г. № 2591-р Институт передан в ведение Федерального агентства научных организаций (ФАНО России).

ИГЭ РАН - многопрофильный институт. Целью и предметом деятельности Института является проведение фундаментальных, поисковых и прикладных научных исследований геоэкологических проблем в области инженерной геологии, гидрогеологии, геокриологии и инженерной геофизики.

ИГЭ РАН ведет исследования в рамках Программы фундаментальных исследований государственных академий на 2013-2020 гг., федеральной целевой программы «Снижение рисков и смягчений последствий чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера в РФ», программ Президиума РАН и Отделения наук о Земле РАН, РФФ, РФФИ и международных программ.

ИГЭ РАН выполняет научное сопровождение и экологическую экспертизу проектов, разрабатывает научно-методические документы и концептуальные решения по унификации системы мониторинга объектов и состояния природных сред.

ИГЭ РАН является единственным институтом такого профиля в системе РАН. Деятельность Института востребована обществом и хозяйствующими субъектами. Сотрудники Института принимали участие в разработке крупнейших проектов, реализованных или реализуемых в стране: строительство газопровода «Голубой поток», Дальневосточной нефтегазовой трубопроводной системы, Олимпийского комплекса в г. Сочи; сейсмическое районирование площадок атомных станций, детальное исследование территории размещения Белорусской АЭС и Северо-Западного атомно-промышленного комплекса (Ленинградская АЭС, Балтийская АЭС); инженерно-геологическое районирование крупных городов (г. Москва); развитие комплекса метрополитена (г. Москва), инженерно-геологическое обоснование строительства Керченского транспортного перехода и др.

ИГЭ РАН - базовый институт Научного совета РАН по проблемам геоэкологии, инженерной геологии и гидрогеологии.

При ИГЭ РАН функционирует диссертационный совет Д 002.048.01. по защите диссертаций на соискание ученой степени доктора наук по специальностям: 25.00.08 – инженерная геология, мерзлотоведение и грунтоведение, 25.00.36 – геоэкология. Открыта аспирантура (лицензия №0012 от 29.05.2012 г.).

Основные научные подразделения Института представлены 12 научно-исследовательскими лабораториями и Санкт-Петербургским Отделением (на правах филиала), в состав которого входят 2 лаборатории. В штатной численности Института 108 работников, в том числе 82 научных сотрудника, в чис-

ле которых 10 докторов наук и 50 кандидатов наук, один академик РАН и один член-корр. РАН.

В течение 2014-2015 гг. 3 сотрудника Института защитили диссертации на соискание ученой степени доктора наук и 4 – на соискание ученой степени кандидата наук.

К числу важнейших результатов научной деятельности Института следует отнести следующие.

- Проведены обширные исследования по фундаментальным аспектам развития природных опасных явлений. Разработаны методики и составлены карты природных опасностей и риска для всей страны и ее отдельных регионов. Выпущен ряд обобщающих трудов по природным опасностям.

- Разработаны концепция и принципы оценки влияния структурно-геодинамических условий на экологическую безопасность размещения проектируемых особо ответственных объектов, включая объекты атомной энергетики. Апробирование концепции выполнено на примере проектируемых Белорусской АЭС и Нижегородской АЭС.

- Разработаны научные основы оценки защищенности водоносных горизонтов в зоне воздействия строящихся ядерно-энергетических комплексов с использованием изотопно-геохимических методов и математического моделирования, получившие апробацию на Балтийской, Ленинградской (ЛИАЭС-2) и Белоярской АЭС.

- Разработаны принципы математического моделирования динамики температурного режима многолетнемерзлых пород на шельфе Восточной Арктики с учетом выбранного палеогеографического сценария изменения климата и воздействия (прямого или опосредованного) эмиссии разлагающихся газовых гидратов на состояние криолитозоны с использованием авторского программного обеспечения. Предложены рекомендации по организации геокриологических наблюдений, направленные на оптимизацию затрат на проведение эффективных изысканий, разведочных и эксплуатационных работ при освоении ресурсов шельфовой и прибрежной зоны арктических морей Евразии.

- Впервые создана база данных (БД) геологической среды г. Москвы, включающая сведения по 35 тысячам пробуренным скважинам, – мощный информационный ресурс для решения различных задач при проектировании и осуществлении наземного и подземного строительства на территории города. Для ведения базы данных разработано оригинальное программное обеспечение.

- Впервые разработана оригинальная комплексная методика выделения гидрогеологических окон, основанная на крупномасштабном картировании геологического строения района исследований, расчетах времени вертикальной фильтрации загрязненных вод, анализе гидродинамических и гидрогеохимических условий на участке существования окон. Методика апробирована при составлении Карты гидрогеологических окон территории г. Москвы, позволяющая выявить участки, на которых идет наиболее интенсивное загрязнение артезианского водоносного горизонта – стратегического источника

питьевого водоснабжения города. Выполнены расчеты времени вертикальной фильтрации загрязнения в пределах гидрогеологических окон и даны рекомендации по экологическим ограничениям при хозяйственном использовании таких территорий.

• Проведена типизация территории Центрального федерального округа Российской Федерации для размещения предприятий утилизации и полигонов захоронения твердых бытовых и промышленных отходов (ТБПО), и создана схема ее инженерно-геологического районирования в масштабе 1:2500000 с целью анализа существующих геологических рисков и экологических ограничений при реализации комплексных проектов в сфере обращения с ТБПО.

В своей дальнейшей деятельности Институт геоэкологии им. Е.М. Сергеева РАН нацелен на развитие фундаментальных исследований и решение практических задач, связанных с повышением экологической ответственности и безопасности хозяйственной деятельности, разработкой методических и нормативных документов в области инженерных изысканий и геоэкологии, созданием системы экологически безопасной переработки и утилизации промышленных и бытовых отходов, комплексным освоением территории страны и строительством уникальных объектов и особо ответственных сооружений в соответствии с идеями «зеленой экономики». Коллектив Института намерен развивать научные исследования по следующим приоритетным направлениям:

- изучение природных и природно-техногенных опасных явлений;
- комплексное изучение территорий и рациональное природопользование при строительстве уникальных объектов и особо ответственных сооружений;
- безопасное размещение и захоронение твердых коммунальных отходов;
- мониторинг состояния геологической среды;
- исследование арктических территорий.

*Председатель оргкомитета  
конференции «Сергеевские чтения»,  
Научный руководитель ИГЭ РАН, академик*

***В.И. Осипов***

# 1. ИЗУЧЕНИЕ СОСТАВА И СВОЙСТВ ГРУНТОВ

---

---

## ВЫВЕТРИВАНИЕ БЕЛОГО КАМНЯ ИСТОРИЧЕСКОГО ПАМЯТНИКА В ГОРОДСКОЙ ЭКОСИСТЕМЕ

**Т.Т. Абрамова**

Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова;  
119991, г. Москва, ГСП-1, Ленинские горы, МГУ, геологический факультет.  
E-mail: attoma@mail.ru

История цивилизации во многом определяется отношением человека к камню как одному из основополагающих факторов развития культуры и одной из основ исторической памяти. Образ города, наряду с социально-экономическими условиями, определяется той геологической ситуацией, в которой он развивается, тем камнем, который заложен в его основу. Для сохранения образа города, созданного на протяжении столетий, необходимо внимательное отношение к особенностям камня, привлекаемого к строительству и реставрации в исторических районах, а также использование традиционных для города сортов природного камня [2].

Среди памятников архитектуры Москвы особую ценность представляют сооружения из белого камня. Белокаменное зодчество города Москвы начинается, как известно, с возведения из белого подмосковного мячковского камня стен Успенского собора и новых стен Кремля в XV веке, благодаря чему Москва получила свое второе, неофициальное название – «белокаменная». Уникальный ансамбль древнего белокаменного зодчества Москвы представлен и в Зарядье.

В условиях обострившейся экологической ситуации в Москве проблема сохранения памятников белокаменного зодчества встала особенно остро. Это связано с тем, что памятник является элементом сложной природно-техногенной городской системы и активно включен во все существующие в ней процессы. Нарушение экологического равновесия в городской среде приводит к ускорению процессов выветривания камня и появлению новых видов повреждений.

Одним из таких объектов является уникальный памятник Отечества, редкий образец гражданского зодчества средневековой Руси, единственное строение, сохранившееся от усадьбы бояр Романовых (музей «Палаты бояр

Романовых»), расположенное в древнейшей части Москвы (Зарядье, ул. Варварка).

Данный район Москвы относится к наиболее сложной области в инженерно-геологическом отношении [5, 7]. Это обусловлено тем, что здесь водонепроницаемый экран (юрские глины) совсем размыт, а четвертичные отложения (водоносные аллювиальные пески) контактируют с каменноугольными известняками. Поэтому данная область наиболее опасна в отношении возникновения суффозионно-карстовых процессов.

Ведущая роль в изменении состояния памятника принадлежит подтоплению его территории. Определено, что основными причинами подтопления основания сооружения явились: специфическое геоморфологическое расположение: перепад высот составляет 7,5 м; затруднения в разгрузке грунтовых вод из-за бетонирования берега р. Москвы; закрытие в трубы мелких рек города; замена естественного почвенного покрова застроенной и заасфальтированной территорией, что исключает из водного баланса испарение с поверхности почвы; слабая работа дренажных систем; протечка водопроводных и канализационных сетей. Эти причины привели к подъему грунтовых вод и постоянному их взаимодействию с грунтами основания памятника.

В связи с активной деятельностью города, большого количества автомобилей увеличивается загазованность атмосферы такими газами, как метан, углекислый газ и др. Загрязнение данного воздушного бассейна пылью, пятиокисью ванадия, окислами азота и серы обусловлено близостью автомобильной дороги, соединяющей Китай-город с Красной площадью и ГЭС-1 (690 м). Противогололедные реагенты (NaCl, KCl) и продукт хозяйственной деятельности человека (нитратный азот) также попадают в грунтовые воды, насыщая их солями. Осадки, фильтруясь через блоки известняка, повышают агрессивность поровых вод и способствуют процессам растворения и окисления карбонатной породы.

Взаимодействию карбонатных минералов с воздухом, водой, кислородом, углекислотой и органическими кислотами посвящены работы Р.М. Гаррелса, Ч.Л. Крайста, Дж. Ридера, К. Оллиера, Л.А. Ярг и др. Ими выявлено, что химическое воздействие на карбонатные породы усиливается находящимися в воде растворенными ионами, такими, как  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{Ca}^{++}$ ,  $\text{Mg}^{++}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ .

Стены данного памятника сложены органогенно-обломочными известняками (карбонатный пелитоморфный цемент) мячковского горизонта. Обломочная часть известняков представлена как зернами кальцита, так и фауной от микро до крупных раковин. Раковинный детрит включает фрагменты раковин фораминифер, остракод, криноидей, кораллов, брахиопод. Пористость пород представлена ультрапористостью и порами-микрокарстовками, размером от 0,04 до 0,5 мм в поперечнике.

Изучение образцов с помощью электронного микроскопа LED-1450-VP с приставкой INGA-300 показало, что пелитоморфные известняки сложены в основном зернами кальцита различной дисперсности. Мелкие зерна сцементированы в агрегаты. В одних случаях поверхность зерен остается не разье-

денной. В других – растворение поверхности кальцита произошло настолько сильно, что структура стала напоминать ячеисто-сотовую. Во многих образцах известняков поверхность зерен пронизана нитевидными и аморфными образованиями, прорастающими в поровое пространство.

Изучение процессов выветривания известняков осуществлялось на образцах, отобранных из различных мест памятника. Все отобранные образцы были разделены на три группы. К 1 и 2 отнесены структурно-устойчивые. Вторая группа образцов отличается от первой тем, что, сохраняя свою незначительную прочность, они начинают отслаиваться от каменной кладки. В 3 группу включены образцы, полностью разрушенные до дисперсного состояния, напоминающие муку.

В результате исследований определено, что содержание CaO (54,25%) резко снижается до 18,93% у образцов, полностью потерявших структурную устойчивость. Для них характерно увеличение содержания  $\text{SO}_3^-$  (до 1,54%), сухого (до 6,58%) и минерально-нерастворимого (до 57,32%) остатков. Отличительной чертой этих образцов является появление в минеральном составе кроме кварца (до 56,9%), солей (до 44,7%), микроклина (до 9,4%), плагиоклаза (до 6,1%), глинистых минералов (до 2%) и продуктов выветривания пирит-содержащих пород – гематита и галотрихита.

Изменение физико-механических свойств образцов подчиняется известным закономерностям. За счет выщелачивания кальцита пористость выветрелой породы возрастает с 15 до 49%, что ведет соответственно к уменьшению плотности с 2,29 до 1,32 г/см<sup>2</sup>.

Объективно оценить степень выветрелости известняков памятника, более пяти веков находившегося в условиях крупного города, достаточно сложно в связи с тем, что трудно выбрать эталон невыветрелой породы. В качестве последней использовался образец с минимальной пористостью. Степень выветрелости рассчитывался по показателю  $K_{\text{вт}}$  (отношение плотности скелета выветрелого образца к плотности скелета невыветрелого). Выявлено, что образцы известняков, отобранные со всех стен фасада кроме цоколя памятника, отнесены к слабыветрелым. Образцы с внутренних стен белокаменного подвала характеризуются как выветрелые и сильновыветрелые.

На стенах этого подвала, самой древней части памятника (XV век), происходит регулярное выделение новообразований в виде белых кристаллов солей. В их составе определено 15 минералов, подразделяющихся на 4 группы: карбонаты, сульфаты, хлориды и нитраты (6 из них – кристаллогидраты). Преобладающими являются такие минералы, как галит, гипс, селитра. Механизм кристаллизации солей в белокаменном подвале памятника проявляется с помощью двух процессов – эфлоресценции и субэфлоресценции. Эфлоресценция протекает на поверхности известняковой кладки в связи с выходом солевого порового раствора наружу. Второй процесс кристаллизации солей осуществляется внутри каменной кладки в связи с тем, что часть порового раствора не достигает внешней поверхности камня. В этом случае происходит отслаивание корочек породы. На обнаженной поверхности известняка вновь наблюдаются кристаллические новообразования. Рост кристаллогидра-

тов (гипс и др.) способен развить огромную силу, чтобы раздвинуть зерна кальцита.

Пюрингер (I. Pühringer) считает, что формирование соляных кристаллов достигает максимума в условиях критического уровня влажности [8]. Соляные кристаллы формируются на границе воздушной и водной среды, где концентрация соли максимальна. Как только соляные кристаллы сформировались, они становятся источником впитывания влаги из воздуха, увеличивая таким образом рост кристаллов. В соответствии с этой концепцией повреждения пористых материалов вызываются скорее силой сдвига, чем высоким давлением расширения.

Е.М. Пашкин, А.А. Ануфриев, В.М. Кувшинников, В.В. Пономарев, О.В. Телин считают, что кристаллизация солей на поверхности и внутри строительных конструкций памятников происходит на гидрогеохимических барьерах испарительного типа. На них резко изменяется физико-химическая обстановка, уменьшается интенсивность миграции солей и увеличивается их концентрация [6].

Среди других факторов, оказывающих наиболее заметное влияние на деструкцию камня памятника, можно назвать биологическое окружение (микроорганизмы). Важную роль изучения биотической составляющей грунта для инженерной геологии, диагностики происхождения отдельных пород и грунтов, а также ряда геологических процессов академик Е.М. Сергеев подчеркнул еще в конце 70-х годов прошлого столетия [1]. Микроскопические грибы (микроспидеи) принимают активное участие в разрушении поверхности камня, проникая грифами внутрь, образуя кислоты, хилатные соединения. А.В. Кураков и др. [4] подсчитали, что в оптимальных условиях влажности и температуры грибы могут разрушать сантиметровый слой крупнопористого белого камня за 15-20 лет.

Результаты микологических анализов, проведенных Д.Ю. Власовым (СПбГУ) и Ю.А. Петушковой (МГУ), показали, что поверхность камня стен с внешней и внутренних сторон памятника колонизирована плесневыми грибами (*Penicillium* sp, *Aspergillus* sp, *Cladosporium* sp, *Alternaria* sp, *Tritirachium* sp) и бактериями (*Bacillus* sp, *Rhodococcus* sp, *Mycobacterium* sp.). Доминирующим по числу видов оказались роды *Penicillium* (5 видов) и *Aspergillus* (2 вида), известные как биодеструкторы каменных материалов. Содержание этих микроспидеи на поверхности известняка в белокаменном подвале достигает  $8,1 \cdot 10^3$  КОЕ/г, бактерий –  $6,5 \cdot 10^3$  КОЕ/г, что соответствует средней степени зараженности. Максимальное количество грибов ( $5 \cdot 10^4$  –  $10^5$  КОЕ/г) и бактерий ( $5 \cdot 10^4$  КОЕ/г) обнаружено в образцах белокаменной парадной лестницы и цоколя памятника. Необходимо отметить, что выявленные грибы и бактерии способны к массовому развитию при повышении влажности каменного материала и воздушной среды. Прочность связей между бактериальной клеткой и поверхностью зерна определяется наличием питательных веществ в поровой воде. В этой связи, чем сильнее взаимодействие клеток с минеральными частицами, тем активнее проявляется их биохимическое влияние на породу. Развитие микробиологической компоненты в камне приводит к



повышению содержания тонкодисперсной фракции, обладающей значительной поверхностной энергией, что отрицательно сказывается на состоянии и свойствах породы [3].

Проведенные исследования показали, что данный исторический памятник подвергся воздействию как природных, так и техногенных процессов, которые способствовали частичному разрушению каменной кладки. Изменение водного баланса – один из основных факторов. Следствием этого явилось усиление агрессивного воздействия воды, содержащей ионы  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{Cl}^-$ , солей и микроорганизмов на карбонатную породу. Вред, причиняемый строительному камню, вызван растворением и выщелачиванием известняков, кристаллизацией и гидратацией солей, ацидофицирующей деятельностью микромицетов.

### Литература

1. Болотина И.Н., Сергеев Е.М. Микроскопические исследования в инженерной геологии // Инженерная геология. – М., 1978. – №5. – С. 3-17.
2. Гавриленко В.В. Геологический фактор как градообразующий элемент в истории цивилизации // Сб. тезисов международной научно-практической конференции «Строительный камень Юго-Восточной Фенноскандии: от геологии до архитектуры». – Выборг, 2015. – С. 3-5.
3. Дашко Р.Э., Власов Д.Ю., Шидловская А.В. Геотехника и подземная микробиота. Ин-т «ПИ Геореконструкция». – СПб., 2014. – 279 с.
4. Кураков А.В., Сомова Н.Г., Ивановский Р.Н. Микромицеты – обитатели поверхности белокаменных и кирпичных сооружений Новодевичьего монастыря // Микробиология. – 1999. – № 2. – С. 272-282.
5. Москва: геология и город / Под ред. В.И. Осипова, О.П. Медведева. – М.: АО «Московские учебники и картография», 1997. – 400 с.
6. Пашкин Е.М., Ануфриев А.А., Кувшинников В.М., Пономарев В.В., Телин О.В. Условия формирования высолов на памятниках архитектуры г. Москвы // Геоэкология. – 1998. – № 5. – С. 70-80.
7. Сергеев Е.М. Геологический фундамент Москвы. Город, природа, человек. – М., Мысль, 1982. – С. 109-134.
8. Pühringer I. «Saltvittring» (Salt deterioration). Buggforskningsradet, Rapport R 22. 1983, 159 p.

## **УПРОЧНЕНИЕ ГРУНТОВ ЦЕМЕНТНЫМИ РАСТВОРАМИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДОВ ВЫСОКОНАПОРНОЙ ИНЪЕКЦИИ**

**Т.Т. Абрамова, К.Э. Валиева**

Московский государственный университет им. М.В.Ломоносова; 119991, г. Москва, ГСП-1,  
Ленинские горы, МГУ, геологический факультет. E-mail: attoma@mail.ru

Для существенного снижения вибрации, передаваемой через грунт от различных источников, следует применять комплекс защитных мероприятий, в который входят методы технической мелиорации. Эти методы позволяют изменять свойства грунтов на длительную перспективу и реализуются с помощью различных технологий.

В настоящее время в практике инъекционных работ используется несколько схем нагнетания растворов. Выбор конкретной схемы определяется инженерно-геологическими условиями участка работ, глубиной инъектирования и назначением инъекции.

Разрывная инъекция грунтов проводится с частичным или полным разрушением грунта, путем использования нагнетания под большим давлением заведомо неинъектабельных растворов в виде густых суспензий и вязких коллоидных систем. А. Камбефор [5] отмечал, что давление разрыва зависит от механических свойств среды и глубины инъекции. Полости разрыва рассматриваются в виде дополнительной поверхности инъектора.

Образование полости разрывных нарушений принципиально меняет характер распространения раствора. Преобладающей формой движения становится линейная. При достижении так называемого критического давления, когда скорость инъекции раствора выше, чем скорость фильтрации грунта, давление инъекции увеличивается с возрастанием объема раствора, происходит уплотнение грунта вокруг зоны пропитки с частичным разрушением структуры грунта. При возрастании давления до максимального процесс уплотнения переходит в гидроразрыв [8].

Упрочнение грунтов в режиме гидроразрыва применяется с 60-х гг. прошлого столетия при строительстве тоннелей и гидротехнических сооружений. В нашей стране указанный метод начал широко применяться, начиная с 1990-х гг., и использовался преимущественно для упрочнения оснований фундаментов зданий и сооружений. Исследованием гидроразрывного способа упрочнения грунта занимались М. Аббуд, А.А. Асеев, С.Г. Богов, В.А. Богомолов, В.М. Бронин, О.В. Герасимов, И.А. Запевалов, В.И. Иваненко, Е.В. Кайль, М.Я. Крицкий, А.Л. Ланис, А.В. Лубягин, В.В. Лушников, А.Г. Мацегора, В.А. Мишаков, Д.И. Могилевцева, М.И. Никитенко, М.Л. Нуждин, Ю.А. Оржаховский, В.И. Осипов, С.Д. Осипов, Д.В. Пашков, А.А. Петухов, В.П. Писаненко, А.И. Полищук, И.И. Сахаров, В.И. Сергеев, К.Ш. Ша-

дунц, С.Д. Филимонов, А.Я. Эпп и др. Часть работ указанных авторов нашла отражение в СП 45.13330.2012. [15].

Начальное давление, вызывающее гидроразрыв, составляет от 0,2-0,4 МПа до 3-5 МПа в зависимости от грунтовых условий. Использование высоконапорной инъекции (ВНИ) в отличие от разрывной манжетной технологии предусматривает предварительное оконтуривание упрочняемого массива, позволяющее ограничить распространение инъекционного раствора в необходимой области.

Широко известный в России метод, названный академиком В.И. Осиповым «Геокомпозит», основан на создании направленных локальных включений в виде линз (прослоек) в массиве грунта путем поинтервального нагнетания растворов строго заданных объемов по расчетной объемно-планировочной (композиционной) схеме. Его развитием и разработкой занимались В.И. Осипов, А.И. Нестеров, Б.Н. Мельников, С.Д. Филимонов и другие [10, 11]. В связи с тем, что процесс ВНИ трудно поддается контролю, особенностью технологии фирмы «Геомассив» является оконтуривание замкнутого объема массива грунта двумя экранами – вертикальным и горизонтальным, в пределах которого создается «геокомпозит».

Несколько иная схема предварительного оконтуривания закрепляемого объема грунта, разработанная А.В. Лубягиным и В.С. Мироновым (ООО НПЦ «Фундамент»), также позволяет создавать «геокомпозит» с помощью технологии, названной авторами «компенсационное нагнетание» [13].

Другим технологическим приемом, обеспечивающим возможность создания техногенного геокомпозита в режиме гидроразрыва, является разработка, предложенная В.В. Лушниковым, А.Я. Эппом, В.А. Богомоловым [12] (Уральский ПромстройНИИпроект, затем ОАО «УралНИИАС»), в основу которой была положена модель уплотняющейся разномодульной грунтовой среды. При инъекции цементно-песчаного раствора используется замкнутая рабочая система [3].

В связи с тем, что технология ВНИ имеет свои специфические особенности, связанные с гидроразрывом грунтового массива при достижении критического давления, слоистостью обрабатываемых грунтов, необходимо вести контроль исходных свойств грунтов, их изменения в процессе разрыва, заполнения пор раствором, преобразования его агрегатного состояния и набора прочности на заключительных стадиях. В связи с этим для обеспечения детальной оценки состояния и свойств массива О.В. Герасимовым, С.М. Простовым, В.А. Хмяляйненом разработан комплекс геолого-геофизического мониторинга процессов ВНИ [3]. Ими установлена взаимосвязь пористости, влагонасыщенности и изменения агрегатного состояния закрепленных грунтов с их электрофизическими свойствами. Анализ результатов проведенных комплексных исследований показал, что геоэлектрические измерения по схемам вертикального и электрического зондирования, электропрофилирования на поверхности Земли, а также индукционного каротажа в обсаженных скважинах обеспечивают детальный контроль в пространстве и во времени процессов развития высоконапорной инъекции локальных зон микроразрывов,

заполнения их цементно-песчаным раствором, перехода раствора в твердое состояние и связывания частиц грунта [2].

Специалисты фирмы «Геомассив» также считают, что методы динамического и статического зондирования при контроле качества проведенных работ весьма эффективны. Зондирование до начала работ и повторное вблизи первоначальной точки дает наглядную картину величины и характера изменения толщи пород при создании «геокомпозита». Динамическое сопротивление после закрепления различных типов грунтов повышается в 1,5-2,7 раза, а сопротивление при статическом зондировании – в 1,3-1,9 раз. Это соответствует и увеличению модуля деформации [17].

Исследования, проведенные на большом количестве объектов страны, позволили определить, что преобразование свойств грунтового массива с помощью вышеописанных технологий позволяет повысить его сейсмическую устойчивость [2, 10]. Например, работы, проведенные В.И. Осиповым и С.Д. Филимоновым, показали, что скорости прохождения продольных и поперечных упругих волн, полученных методом просвечивания, увеличились в геотехногенном массиве практически вдвое по сравнению с неизменным массивом. В результате выполненных работ произошло снижение сейсмической балльности массива примерно на 2 балла [10]. Кроме этого, создание «геокомпозита» в грунтовом массиве может снизить уровень вибрации наземного железнодорожного транспорта и метрополитена неглубокого заложения на 5-15 дБ [9]. Поэтому такой геотехногенный массив можно классифицировать, как динамически устойчивый.

Кроме вышеперечисленных технологий, применяемых при создании геотехногенного композита для преобразования структурно-неустойчивых и слабых водонасыщенных грунтов, используются методы *направленного гидроразрыва*. Один из них реализуется формированием регулируемых пространственных структур из твердеющего материала [14]. Образовавшаяся при гидроразрыве вертикальная полость также заполняется раствором, формирующим при твердении жесткий каркас из цементно-грунтового камня. В связи с регламентом данной статьи невозможно более подробно остановиться на данной технологии, которая наиболее полно представлена в работе [4]. Как и в технологиях, приведенных выше, при создании «геокомпозита» одновременно происходят увлажнение, уплотнение и армирование грунтового массива. На основании многочисленных исследований было установлено, что в качестве грунтовой составляющей в цементно-грунтовых растворах эффективней использовать супеси и суглинки, а в качестве вспенивателя – недифицитные биоразлагаемые ПАВ. Укрепление грунтов по этой технологии с целью повышения их несущей способности осуществлено на различных объектах, находящихся в сейсмических районах (Сочи, Грозный, Гудермес и др.), поэтому этот способ включен в территориальные строительные нормы Ростовской области [16].

Технология напорного инъецирования грунтоцементного раствора, предложенная М.Я. Крицким, В.Ф. Скоркиным и А.Л. Ланисом [6], включает нагнетание раствора в упрочняемый массив через заранее погруженный в

грунт иньектор с тераемым или щелевым наконечником. Эксперименты, выполненные А.Л. Ланисом [7] на объектах Западно-Сибирской железной дороги с помощью напорной иньекции в глинистые грунты земляного полотна, позволили выделить различные конфигурации затвердевшего раствора (пластины, столбы, массив) в зависимости от технологии иньецирования. Наиболее эффективной является конфигурация массива с диаметром около 40 см. При упрочнении грунтов земляного полотна данным методом значение модуля деформации увеличивается в 2-10 раз, а значения удельного сцепления соответственно – в 3-4 раза, модуль упругости – в 1,8-2 раза, величина остаточных деформации уменьшается в 3-5 раз.

Исследования, проведенные К.В. Востриковым по закреплению откосов, насыпей на участках Западно-Сибирской и Красноярской железнодорожных линий I и II категорий с помощью напорного иньецирования грунтоцементных растворов, показали, что параметры статической прочности упрочненного грунта изменяются непропорционально: рост удельного сцепления сопровождается незначительным повышением угла внутреннего трения. Применение иньекционных растворов может приводить к повышению устойчивости откосов на 25% [1].

В заключение можно отметить, что вышеописанные модификации высоконапорной иньекции с образованием геотехногенного композита могут быть эффективно использованы в абсолютном большинстве ситуаций, где традиционные методы неприменимы. Технология создания «геокомпозита» позволяет улучшать прочностные и деформационные свойства любых дисперсных грунтов.

Исследования, проведенные большим количеством специалистов, позволили выявить, что после твердения смеси грунта с раствором образуется новый инженерно-геологический элемент массива, существенно повышающий его несущую способность. Технические и технологические решения обеспечили принципиально новый эффект: закрепляющий раствор не растекается в массиве, а удерживается и накапливается в зоне иньекции.

В связи с тем, что в процессе иньекционного укрепления грунтов их физико-механические свойства изменяются неравномерно, необходимо вести геомониторинг с использованием различных методов зондирования.

Каждый из рассмотренных методов имеет свои преимущества и недостатки и не может рассматриваться, как универсальное средство по решению задач, связанных с укреплением грунтов. Учитывая характерные особенности грунтов, следует рассматривать применимость методов закрепления в зависимости от поставленных задач.

#### Литература

1. *Востриков К.В.* Устойчивость земляного полотна железных дорог, упрочненного иньекциями грунтоцементного раствора, с учетом динамического воздействия поездной нагрузки: Дис. к. т. н. – Новосибирск, 2014. – 169 с.

2. Герасимов О.В. Геолого-геофизический мониторинг грунтовых оснований геотехнических сооружений, укрепляемых методом высоконапорной инъекции: Автореф. к.тех.н. – Кемерово, 2007. – 22 с.
3. Герасимов О.В., Простов С.М., Хямяляйнен В.А. Изменение физических свойств грунтового массива при высоконапорной инъекции // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2008. – №1. – С. 150-157.
4. Исаев Б.Н., Бадеев С.Ю., Цапкова Н.Н., Лунев А.Г., Кузнецов М.В., Бадеев В.С., Логутин В.В. Способ создания в грунтовом массиве пространственных структур из твердеющего материала // Геотехника. – 2012. – № 5. – С. 4-12.
5. Камбефор А. Инъекция грунтов. Принципы и методы. М., Энергия, М., 1971. – 112 с.
6. Крицкий М.Я., Скоркин В.Ф., Ланис А.Л. Использование метода напорных инъекций для упрочнения грунтов в транспортном строительстве // Строительство и эксплуатация транспортных сооружений в районах развития опасных геологических процессов. Тр. научно-техн. конференции. – М., 2003. – С. 46-47.
7. Ланис А.Л. Использование метода напорной инъекции при усилении земляного полотна железных дорог. Дисс. канд. тех. Наук. – М., 2009. – 155 с.
8. Нухедин М.Л. Применение метода высоконапорного инъецирования при усилении основания аварийного здания // Труды Каспийской международной конференции по геоэкологии и геотехнике. – Баку (Азербайджан), 2003. – С. 183-187.
9. Осипов В.И., Алешин А.С., Марченков А.Ю., Филимонов С.Д. Геокомпозиционный экран – эффективное средство снижения уровня техногенной вибрации // Сергеевские чтения. Инженерно-геологические изыскания в строительстве: теоретические основы, методика, методы и практика. Вып. 8. – М.: ГЕОС, 2006. – С. 236-239.
10. Осипов В.И., Филимонов С.Д. Уплотнение и армирование слабых грунтов методом «Геокомпозит» // ОФМГ. – 2002. – № 5. – С. 15-21.
11. Патент 1294910 Союз Советских Социалистических Республик, МПК E02D 3/12, 3/10 Способ улучшения массива лессового просадочного грунта в основании зданий и сооружений / Осипов В.И., Нестеров А.И., Мельников Б.Н.; заявитель и патентообладатель Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова – №3856832/29-33 – заявл. 08.01.1985; опубл. 07.03.1987, бюл. №9.
12. Патент 2124091 Союз Советских Социалистических Республик, МПК E02D 3/12 Способ стабилизации лессовых просадочных грунтов / Лушников В.В., Эпп А.Я., Богомолов В.А.; заявитель и патентообладатель ОАО «УралНИИАСцентр» – № 97101720 – заявл. 4.02.97; опубл. 27.12.98; Бюл. № 36.
13. Патент № 2119009 Российская Федерация МПК E02D 3/12 Способ уплотнения грунта / Лубягин А.В., Миронов В.С.; заявитель и патентообладатель Новосибирская государственная академия строительства – заявл. 27.01.1997; опубл. 20.09.1998.
14. Патент № 2459037 Российская Федерация МПК E02D 3/12 Способ создания в грунтовом массиве пространственных структур из твердеющего материала / Исаев Б.Н., Бадеев С.Ю., Кузнецов М.В.; заявитель и патентообладатель ООО НИПП "ИНТРОФЭК" ООО Научно-исследовательское производственное предприятие "ИНТРОФЭК" – заявл. 11.10.2010; опубл. 20.08.2012; Бюл. №23.
15. СП 45.13330.2012 Земляные сооружения, основания и фундаменты. – М.: Минрегион России, 2013. – 115 с.
16. ТСН 50-306-2005 Основания и фундаменты повышенной несущей способности. Ростовская область. Мин-во стр-ва, арх-ры и ЖКХ Ростовской области. – Ростов-на-Дону, 2005.
17. Фирма «Геомассив» [электронный ресурс] – режим доступа: <http://www.geomassiv.ru/> – дата обращения: 21.10.2014.

## ОТХОДЫ СЖИГАНИЯ ИРША-БОРОДИНСКИХ УГЛЕЙ КАК ТЕХНОГЕННЫЕ ГРУНТЫ ОСНОВАНИЙ

**Е.В. Андреева**

АО «ВНИИГ имени Б.Е. Веденеева», 195220, Санкт-Петербург, ул. Гжатская, 21,  
E-mail: evavniig@mail.ru

Ряд тепловых электростанций Красноярского края работает на углях Ирша-Бородинского разреза Канско-Ачинского бассейна. Золошлаки – отходы сжигания этих углей – вследствие высокого содержания свободной окиси кальция (более 17%) обладают цементирующей способностью [4]. Цементация золошлаков приводит к значительному увеличению во времени их характеристик прочности и деформируемости.

Намытые и насыпные золошлаковые материалы (ЗШМ) часто служат основаниями сооружений, в частности, дамб ярусом наращивания золоотвалов. При проектировании всех видов сооружений необходимо правильно назначить расчетные значения характеристик грунтов основания.

В отечественных работах, посвященных исследованию физико-механических свойств цементирующихся ЗШМ, временной фактор детально изучался лишь на сланцевых золах [1-2, 4-5 и др.], и, в основном, на пастах, приготовленных и подвергнутых затвердеванию в лабораторных условиях. Не исследовались свойства насыпных ЗШМ Ирша-Бородинских углей.

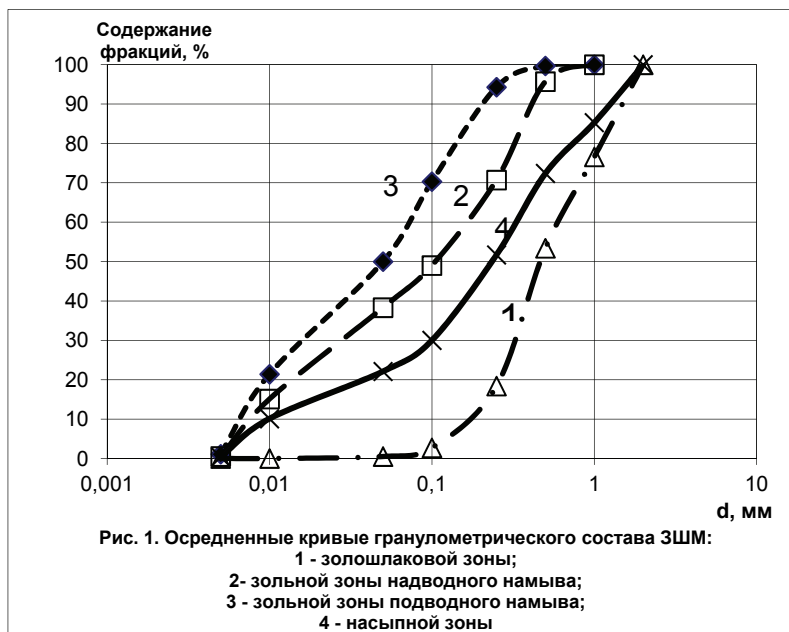
Намытый цементирующийся ЗШМ представляет собой сложный техногенный грунт, подвергающийся уплотнению как вследствие внутреннего процесса цементации, так и за счет действия внешних нагрузок.

В настоящей работе приводятся результаты экспериментальных исследований намытого ЗШМ двухсекционного золоотвала Красноярской ГРЭС-2, работающей на Ирша-Бородинских углях. Складирование золошлаков производится поочередно: на одной секции осуществляется намыв, а вторая секция в это время подвергается осушению для последующей разработки и вывоза золошлаков. Каждая секция работает примерно в течение одного года, а затем столько же времени находится «под паром». На каждой секции в работе участвуют по 3 выпуска, не обеспечивающие требуемого нормами [8] равномерного намыва пляжа по всему периметру дамбы. Для этой цели вдоль оставшейся незамытой полосы производится отсыпка пляжа шириной 50 м путем сбрасывания с самосвала на гребне дамбы. Так образуется насыпная часть основания дамбы очередного яруса наращивания.

Пробы намытого ЗШМ ненарушенного сложения отбирались на неработающей секции из скважин с глубин от 0,5 до 1,5 м из трех зон намыва: золошлаковой (непосредственно под выпуском), зольной зоны надводного намыва (пляжа) и зольной зоны подводного намыва (отстойного пруда), а также из насыпной части пляжа. В каждой зоне отбирались пробы с участ-

ков разных сроков намыва: 1 мес., 3 мес., 9 мес. и 1 год. Из каждой зоны было взято не менее 6 образцов ЗШМ одного и того же срока намыва (продолжительности твердения). Пробы насыпного ЗШМ отбирались с точек искусственного пляжа различной давности отсыпки: от 1 мес. до 1 года.

Сроки намыва и отсыпки определялись по технологической карте, на которой фиксировались по датам значения превышения гребня дамбы над намывными отложениями и места отсыпки.



Осредненные кривые гранулометрического состава ЗШМ представлены на рис. 1. по зонам. В табл. 1 приводятся показатели физических свойств: плотность  $\rho$ , влажность  $W$ , плотность частиц грунта  $\rho_s$ , плотность сухого грунта  $\rho_d$ . Гранулометрический состав определен согласно ГОСТ 15536-2014, а физические свойства – по ГОСТ 5180-84.

Самым крупным гранулометрическим составом характеризуется ЗШМ золошлаковой зоны, осевший непосредственно около выпуска. Зола отстойного пруда, образовавшаяся при наибольшей длине пути осветления пульпы, состоит из самых мелких фракций. Поскольку при искусственной отсыпке ЗШМ всех зон намыва перемешиваются, насыпной ЗШМ занимает по гранулометрическому составу промежуточное положение.

Деформационно-прочностные свойства ЗШМ исследовались согласно ГОСТ 12248-96 на компрессионно-сдвиговом приборе конструкции Гидропроекта с замачиванием. Характеристики прочности (сцепление  $C$  и угол внутреннего трения  $\varphi$ ) определялись по опытам, выполненным по схеме медленного сдвига с применением вертикальных уплотняющих нагрузок 0,1; 0,2 и 0,3 МПа. Модуль деформации  $E$  получен по результатам компрессионных испытаний в условиях свободного оттока воды.



Таблица 1

## Показатели физических свойств ЗШМ

| Наименование зоны намыва  | Срок твердения (отсыпки), мес. | $\rho$ , г/см <sup>3</sup> | $\rho_s$ , г/см <sup>3</sup> | W, % | $\rho_d$ , г/см <sup>3</sup> | $S_r$ |
|---------------------------|--------------------------------|----------------------------|------------------------------|------|------------------------------|-------|
| Золошлаковая              | 1                              | 1,30                       | 2,46                         | 39,4 | 0,93                         | 0,59  |
| То же                     | 12                             | 1,26                       | 2,49                         | 24,2 | 1,01                         | 0,41  |
| Зольная надводного намыва | 1                              | 1,48                       | 2,43                         | 83,7 | 0,81                         | 1,00  |
| То же                     | 12                             | 1,46                       | 2,44                         | 46,8 | 0,99                         | 0,78  |
| Зольная подводного намыва | 1                              | 1,45                       | 2,40                         | 90,9 | 0,76                         | 1,00  |
| То же                     | 12                             | 1,42                       | 2,42                         | 52,4 | 0,93                         | 0,79  |
| Насыпная                  | 1-12                           | 1,37                       | 2,42                         | 66,7 | 0,82                         | 0,83  |

Таблица 2

Расчетные значения сцепления С, угла внутреннего трения  $\phi$  и модуля деформации Е ЗШМ

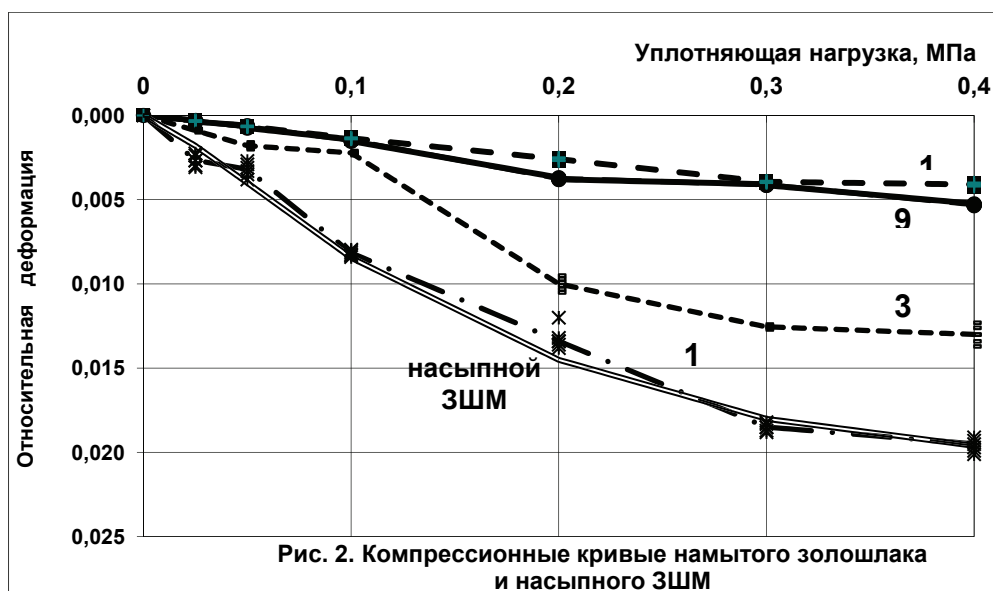
| Наименование зоны намыва  | Наименование характеристики | Срок твердения, мес. |       |       |       |
|---------------------------|-----------------------------|----------------------|-------|-------|-------|
|                           |                             | 1                    | 3     | 9     | 12    |
| Золошлаковая              | С, МПа                      | 0                    | 0,003 | 0,008 | 0,010 |
|                           | $\phi$ , град.              | 26,8                 | 27,6  | 28,6  | 30,4  |
|                           | Е, МПа                      | 7,6                  | 27,8  | 42,0  | 45,7  |
| Зольная надводного намыва | С, МПа                      | 0                    | 0,011 | 0,020 | 0,024 |
|                           | $\phi$ , град.              | 20,0                 | 22,7  | 24,0  | 25,0  |
|                           | Е, МПа                      | 9,8                  | 13,0  | 19,9  | 32,7  |
| Зольная подводного намыва | С, МПа                      | 0,007                | 0,027 | 0,035 | 0,040 |
|                           | $\phi$ , град.              | 18,5                 | 20,9  | 22,1  | 23,7  |
|                           | Е, МПа                      | 4,2                  | 12,1  | 19,3  | 23,1  |

В табл. 2 приведены расчетные значения деформационно-прочностных характеристик ЗШМ. На рис. 2 представлены компрессионные кривые на примере ЗШМ золошлаковой зоны. Значения модулей деформации в табл. 2 даются при нагрузке величиной 0,1 МПа, соответствующей средней величине давления на грунт в основании ограждающей дамбы при возможном наращивании золоотвала.

Результаты проведенных экспериментальных исследований свидетельствуют о значительном возрастании характеристик прочности и снижении деформируемости намывного ЗШМ при твердении в течение времени, соответствующего реальной продолжительности непрерывной работы каждой секции золоотвала – 1 год. Модуль деформации при этом возрастает от 4,2-9,8 МПа до 23,1-45,7 МПа, сцепление – от 0-0,007 МПа до 0,010-0,040 МПа,

угол внутреннего трения увеличивается на 3,6-5°. При одной и той же длительности твердения лучшими механическими свойствами в основном обладает ЗШМ золошлаковой зоны, характеризующийся самым крупным гранулометрическим составом, минимальным количеством органики и других легких веществ, с присутствием которых обычно связан эффект расклинивающего действия пленок воды [3, 6].

Анализ компрессионных кривых (рис. 2) показывает, что намытый материал имеет структурную прочность, нарушению которой соответствует точка перегиба. ЗШМ сроком намыва 1 мес. до приложения к нему нагрузки величиной 0,025-0,030 МПа характеризуется линейной деформируемостью, затем происходит разрушение цементационных связей, и график компрессии переходит в плавную кривую. Структурная прочность ЗШМ 3-месячного срока твердения нарушается под нагрузкой около 0,05 МПа, а 9-месячного срока – под нагрузкой около 0,2 МПа. Структурная прочность ЗШМ годичной давности намыва нарушается при нагрузке величиной 0,3 МПа.



Анализ компрессионных и сдвиговых испытаний показал, что после нарушения структурной прочности намытого ЗШМ не происходит видимого ухудшения его деформационно-прочностных свойств. Это обусловлено тем, что взамен разрушенных цементационных связей образуются новые связи комбинированного типа: водно-коагуляционные, постепенно усиливающиеся за счет остаточной цементации.

Насыпной ЗШМ не обладает структурной прочностью (рис. 2) и почти не изменяет физико-механических характеристик во времени. Показатели его деформационно-прочностных свойств соответствуют значениям, характерным для намытого ЗШМ не более чем месячного срока твердения. В точках с разными сроками отсыпки модуль деформации ЗШМ составляет 6,7-8,0 МПа, сцепление – около 0,008 МПа, угол внутреннего трения - 21-23°.

## Выводы.

Результаты исследований деформационно-прочностных свойств ЗШМ Ирша-Бородинского угля, намытого и используемого для отсыпки пляжа на золоотвале Красноярской ГРЭС-2, показали следующее.

1) Измельчение гранулометрического состава в процессе намыва происходит в направлении от выпуска к отстойному пруду: от золошлаковой зоны к зольным зонам надводного (пляжа) и подводного намывов. Насыпной ЗШМ обладает смешанным гранулометрическим составом.

2) При твердении намытого ЗШМ в течение 1 года значительно увеличивается его прочность и снижается деформируемость: сцепление возрастает от 0-0,007 до 0,010-0,040 МПа, угол внутреннего трения – на 3,6-5°, модуль деформации (при уплотняющей нагрузке, равной 0,1 МПа) – от 4,2-9,8 МПа до 23,1-45,7 МПа. При прочих равных условиях, наилучшими характеристиками прочности и деформируемости обладает ЗШМ золошлаковой зоны.

3) В процессе твердения в течение 1 месяца структурная прочность ЗШМ достигает 0,025 МПа, через 3 мес. – 0,05 МПа, через 9 мес. – 0,2 МПа. Структурная прочность ЗШМ годичной давности намыва — 0,3 МПа. После ее нарушения не происходит видимого ухудшения деформационно-прочностных свойств грунта.

4) Насыпной ЗШМ не обладает структурной прочностью и почти не изменяет своих физико-механических характеристик во времени. В точках с разными сроками отсыпки (от 1 до 12 мес.) его модуль деформации составляет 6,7-8,0 МПа сцепление – около 0,008 МПа, угол внутреннего трения – 21-23°. Эти значения показателей деформационно-прочностных свойств характерны для намытых ЗШМ не более чем месячного срока твердения, в связи с чем рекомендуется использовать в качестве оснований дамб ярусом наращивания золоотвалов, по возможности, намытый ЗШМ – организовывать дополнительные или перемещать вдоль периметра ограждающей дамбы существующие выпуски с целью равномерного намыва пляжа.

## Литература

1. Андреева Е.В. Влияние карбонатных прослоев на параметры сопротивления сдвигу сланцевых золошлаковых материалов // Известия ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева. – 2007. – Т. 247. – С. 29-34.
2. Гельфанд Р.Е., Ларина Э.А., Пантелеев В.Г. Прогноз прочностных характеристик золы на золоотвалах ТЭС // Электрические станции. – 1991. – №2. – С. 22-25.
3. Ларионов А.К. Инженерно-геологическое изучение структуры рыхлых осадочных пород. – М.: Недра, 1966. – 328 с.
4. Пантелеев В.Г., Мелентьев В.А. и др. Золошлаковые материалы и золоотвалы. – Москва: Энергия, 1978. – 296 с.
5. Пантелеев В.Г. Прогноз угла внутреннего трения смеси золы и шлака // Электрические станции. – 1983. – №2.
6. Сергеев Е.М. Грунтоведение. – М.: МГУ, 1959. – 335 с.
7. СО 34.27.509-2005. Типовая инструкция по эксплуатации золошлакоотвалов. – СПб.: ОАО «ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева», 2006.

## **ОСОБЕННОСТИ ПЕСЧАНЫХ ПОРОД ВУЛКАНИЧЕСКИХ ОБЛАСТЕЙ (НА ПРИМЕРЕ КАМЧАТКИ)**

**С.Д. Балькова, Е.С. Колина, П.С. Толстов**

Геологический факультет МГУ имени М.В.Ломоносова, 119899, Россия, Москва,  
Воробьевы горы, геологический ф-т, каф. инженерной и экологической геологии.  
E-mail: balykova@geol.msu.ru

Песчаные грунты, распространенные в районах вулканической активности, отличаются от песчаных отложений других регионов рядом признаков:

- большой мощностью отложений, способностью в сухом состоянии формировать крутые откосы;
- неоднородностью минерального состава: в них присутствуют обломки минералов, эффузивных пород, в том числе лавы, вулканического стекла и пемзы;
- особенностями морфологии песчаных частиц: форма зерен – от округлых с оплавленными краями до остроугольной; поверхность – от гладкой до кавернозной и пузыристой; наличие высокопористых зерен, в том числе с замкнутыми порами.

Все эти особенности в составе и строении грунтов отражаются на их свойствах, в частности, на плотности и прочности.

В исследованной выборке – 13 образцов песчаных грунтов, отобранных в разных районах Камчатки. Образцы 1-5 (на рис.) отобраны из горизонтов пирокластических отложений разных периодов активности вулкана Безымянный. Это пепловые отложения андезитового состава, серого цвета, неоднородные по своему гранулометрическому составу. Образцы 1, 3 отнесены к пылеватым, остальные – к пескам средней крупности. В минеральном составе преобладает кварц (до 50-60%), присутствуют вулканическое стекло андезитового состава, плагиоклаз, рудные минералы и др. В 3-м образце отмечено большое количество пемзовых частиц. В составе часто встречаются агрегаты, образованные за счет спекания частиц разного состава и размерности, нередко встречаются сростки кристаллов. Подавляющее большинство частиц имеют шероховатую поверхность. Зерна в основном изометричные, но не сферичные – угловатые, слабо окатанные, с кавернозной поверхностью. Пылеватоглинистые частицы находятся преимущественно на поверхности пепловых зерен.

Образцы 6-8 – пепловые отложения базальтового состава, отобранные из горизонтов пирокластических отложений разных периодов активности вулкана Ключевская сопка; 9-й образец отобран из русла временного потока на склоне этого же вулкана. Эти песчаные грунты также неоднородны по гранулометрическому составу, отнесены к пылеватым (6, 7), средней крупно-

сти (8) и мелким (9) разностям. Характеризуются темным или черным цветом, содержат большое количество вулканического стекла, плагиоклаза и пироксена от светло-рыжего до темно-бурого цвета. В разных количествах содержатся зерна красноцветных минералов, кварца и обломков пород. Большинство зерен угловатые, остроугольные, поверхность шероховатая, кавернозная, с ямками; форму имеют изометричную или анизометричную, вытянутую. В составе песков, претерпевших водную обработку (9), отмечено незначительное присутствие пылевато-глинистого вещества; гораздо большее содержание красноцветных минералов, а также кварца. Поверхность зерен чистая, шероховатая. Зерна изометричные и угловатые с преобладанием первых.

Грунты, отобранные из пепловых толщ вулкана Мутновский (10), являются самыми древними по времени своего образования, по составу отнесены к высокоглиноземистым андезибазальтам. Характеризуется большим содержанием лавовых обломков, изометричностью зерен, средней степенью их окатанности, отсутствием острых углов, очень сильной шероховатостью поверхности. Все признаки подтверждают тот факт, что пепел этого вулкана претерпел серьезные изменения под воздействием экзогенных процессов.

Пески последних трех проб имеют водный генезис и отобраны в устье р. Гальгина (11) и на Халактырском пляже Авачинской бухты (12, 13). Аллювиально-морские пески отнесены к крупным по дисперсности, в их составе присутствуют обломки основных пород (пироксены, амфиболы), вулканическое стекло, частицы пемзы, кварц. Частицы полуокруглой, угловатой (преобладает) формы, сложной конфигурации, слабо окатанные. Поверхность частиц разнообразна: бугорчатая, матовая, разъеденная, крупно- и мелкоямчатая, ровная; преобладает крупноямчатая, разъеденная. Такую поверхность имеют, например, обломки пемзы. У обломков вулканического стекла поверхность блестящая, ровная.

Морские пески образовались за счет размыва и выноса реками рыхлых туфов, шлаков, главным образом, Авачинского и Козельского вулканов. Отнесены по дисперсности к пескам средней крупности. В их составе преобладают обломки эффузивных пород, в том числе вулканического стекла, пироксенов, кварц, Ti-магнетит. Форма частиц полуокруглая, угловатая, сложной конфигурации, вулканическое стекло – округлой и полуокруглой формы. В целом песок можно назвать среднеокатанным. Поверхность частиц бугорчатая, матовая, граненая. Преобладает матовая.

Плотностные показатели исследованных песков представлены на рис. 1, 2. Плотность твердой компоненты образцов изменяется от 2,62 до 2,71 г/см<sup>3</sup>, в зависимости от минерального состава, наибольшие показатели (2,87-2,92 г/см<sup>3</sup>) характерны для морских песков, содержащих Ti-магнетит.

Наименьшим показателем плотности как в плотном, так и в рыхлом сложениях характеризуются вулканические пески из пирокластических толщ в. Ключевская сопка (№ 6-8) (1,10-1,13 г/см<sup>3</sup> и 1,29-1,42 г/см<sup>3</sup>, соответственно) и из толщ в. Безымянного (3), содержащие обломки пемзы – 1,04-1,41 г/см<sup>3</sup>. Остальные пески имеют следующие показатели плотности в рыхлом

(1,42-1,62 г/см<sup>3</sup>) и плотном (1,59-1,87 г/см<sup>3</sup>) сложениях, максимальные из них характерны для морских песков.

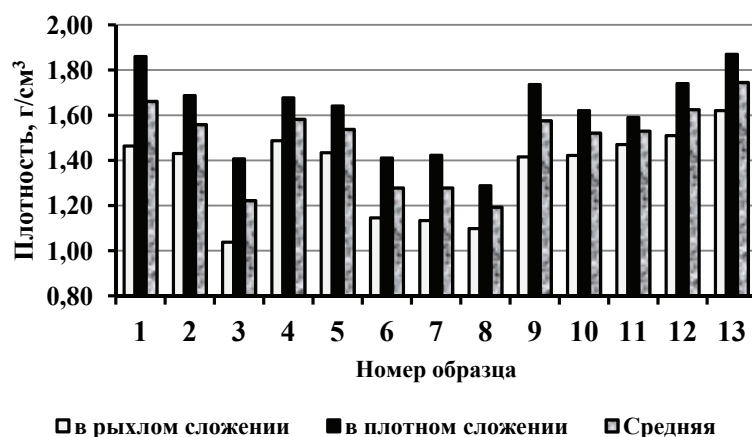


Рис. 1. Показатели плотности изученных песков

Несомненно, данные показатели связаны с минеральным составом пород, но для вулканических песков огромную роль играют и неоднородность дисперсного состава, и особенно морфология частиц песков. Наименее плотные пески самые неоднородные, их частицы характеризуются угловатостью, шероховатой, кавернозной поверхностью, высокой внутренней пористостью пемзовых частиц.

Пески, претерпевшие водную обработку, более однородны, большинство их частиц имеют изометричную форму, сглаженную поверхность, что в целом ведет к их более плотной упаковке.

Несмотря на столь большую разницу в плотностных показателях, по коэффициенту уплотняемости большинство песков характеризуются как среднеуплотняемые; две пробы андезитового состава (1, 3) отнесены к сильноуплотняемым; самый неоднородный и грубый по составу (11) – к плохо уплотняемым (рис. 2).

Все изученные песчаные грунты характеризуются достаточно большими величинами углов внутреннего трения и естественного откоса (рис. 3): наименьшие показатели отмечены в песках из толщ в.Ключевская сопка (31-35° и 37-44°, соответственно), наибольшие (37-42° и 38-59°) – из пирокластических потоков в. Безымянного и грунтов водного генезиса. Такое распределение значений углов внутреннего трения коррелируется с описанными выше показателями неоднородности песков и особенностями морфологии их зерен. Интересно, что величины углов естественного откоса описываемых песчаных грунтов из пирокластических толщ всегда выше, иногда значительно, углов внутреннего трения. Для песков водного генезиса и песков из толщ в. Мут-

новского, подвергшихся значительному диагенетическому преобразованию, также имеющих в своем составе пористые, кавернозные обломки лавы, пемзы, вулканического стекла, характерно обратное соотношение. Кроме того, все вулканические пески обладают сцеплением – от 0,007 до 0,04 МПа, что не отмечено у морских песков. Наибольшее сцепление характерно для песков из толщ в. Безымянного.

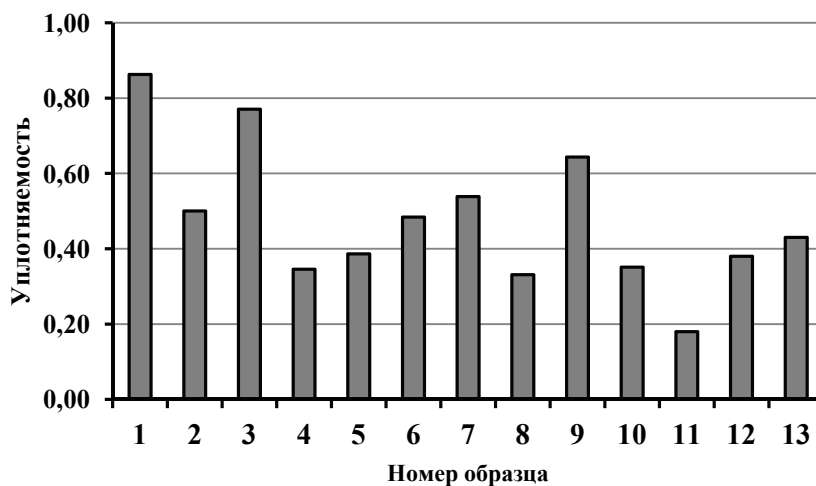


Рис. 2. Показатели уплотняемости изученных песков

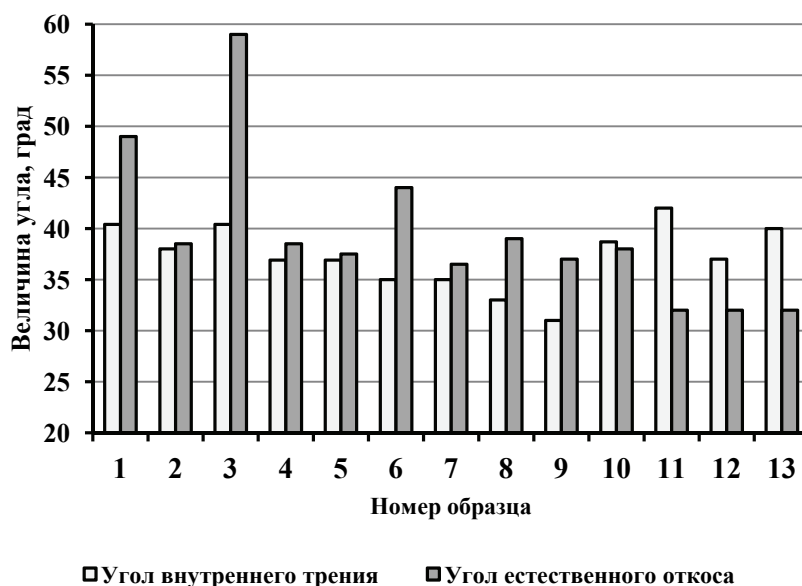


Рис. 3. Величины углов внутреннего трения и естественного откоса изученных песков

Обобщая полученные данные, можно отметить следующие особенности изученных песков. Пески, развитые в вулканических областях, характеризуются неоднородностью минерального и гранулометрического составов. Вулканические пески базальтового состава в целом характеризуются меньшими плотностными и прочностными показателями, высокой пористостью, что связано, главным образом, с особенностями морфологии их частиц. Благодаря наличию в их составе шлаковых и пемзовых частиц с зазубренными краями, стекловатых пористых частиц с причудливыми очертаниями вулканические пески в сухом состоянии хорошо «держат» высокий угол естественного откоса, однако, как отмечено в [1], при вибрациях и сейсмических колебаниях они легко теряют устойчивость. Постдиагенетические преобразования вулканических песков, водная переработка пирокластических толщ с образованием аллювиальных, морских песчаных пород изменяют их состав и строение и, соответственно, свойства. Однако, наличие в них частиц вулканического происхождения значительно отличает их от песков невулканических областей.

#### Литература

1. Константинова Т.Г., Делемень И.Ф. Особенности проявления процессов разжижения грунтов в вулканических районах / Вулканизм и геодинамика: Материалы IV Всероссийского симпозиума по вулканологии и палеовулканологии. – Петропавловск-Камчатский: ИВиС ДВО РАН, 2009. – С. 604-607.

### **ВЛИЯНИЕ МИНЕРАЛЬНОГО И ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА ЭЛЛОВИАЛЬНЫХ ГЛИНИСТЫХ ГРУНТОВ НА ИХ ФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА**

**А.Г. Барановский**

ООО ИФ «ЮжУралТИСИЗ», Россия, Челябинск, ул. Косарева 71.  
E-mail: aleksej-baranovskij@rambler.ru

Важность изучения химического и минералогического состава глинистых грунтов отмечают многие отечественные исследователи, среди которых В.И. Осипов, М.П. Лысенко, Л.И. Корженко, Н.Л. Шешеня, Л.А. Ярг и многие другие [1-5]. Состав глинистых минералов оказывает существенное влияние на физико-механические свойства глинистых пород [2]. В результате исследований выявлено, что химико-минеральный состав влияет, в основном, на физические свойства грунтов, являющихся основанием зданий и сооружений. Поэтому важным является не только изучение химико-минерального состава глинистых грунтов, но и зависимости физических свойств грунтов от процентного содержания химических компонентов и глинистых минералов.



Составу и состоянию глинистых грунтов делювиального, аллювиального, озерного, ледникового, эолового генезиса уделяется наибольшее внимание в отечественной литературе. В то же время, химический и минеральный состав дисперсных грунтов элювиального происхождения изучен недостаточно.

В связи с широким распространением на Урале элювиальных глинистых грунтов, изучение их химического и минерального состава, а также влияния процентного содержания химических соединений и глинистых минералов на физические свойства грунтов носит первоочередной характер.

Согласно СНиП 11-105-97 (часть 3) к элювиальным грунтам следует относить грунты, образовавшиеся в результате процессов выветривания горных пород на месте их залегания без заметных признаков смещения.

Для выявления особенностей изменения химического и минерального состава элювиальных глинистых грунтов в плане и по глубине были отобраны пробы ненарушенной структуры из толщи дисперсных грунтов в разных микрорайонах города Челябинска (Калининский и Сосновский район).

Специалистами Института минералогии УрО РАН (г. Миасс) по заказу автора определен минеральный и химический состав элювиальных глинистых грунтов рентгеноструктурным и силикатным методами, соответственно. Результаты приведены в табл. 1 и 2.

Таблица 1

**Минеральный состав глинистых элювиальных образований**

| Расположение             | Наименование грунта       | Глубина, м. | Минеральный состав (вес. %) |            |     |                          |                    |         |                                |
|--------------------------|---------------------------|-------------|-----------------------------|------------|-----|--------------------------|--------------------|---------|--------------------------------|
|                          |                           |             | Первичные минералы          |            |     |                          | Вторичные минералы |         |                                |
|                          |                           |             | Кварц                       | Плагиоклаз | КШП | Слюда (биотит, мусковит) | Каолинит           | Смектит | Гидрослюда (иллит, вермикулит) |
| Микрорайон пос. Ласковий | Глины легкие пылеватые    | 7,0         | 43                          | 10         | -   | -                        | 41                 | -       | 5                              |
|                          |                           | 13,0        | 45                          | 1          | -   | 19                       | 35                 | -       | -                              |
|                          |                           | 17,5        | 44                          | 3          | 4   | -                        | 33                 | -       | 15                             |
| Микрорайон «Белый хутор» | Суглинки легкие пылеватые | 2,0         | 34                          | -          | 12  | 5                        | 44                 | -       | 5                              |
|                          |                           | 4,0         | 45                          | -          | 8   | 4                        | 39                 | 1       | 2                              |
|                          |                           | 6,0         | 37                          | -          | 1   | 7                        | 33                 | -       | 20                             |
|                          |                           | 8,0         | 27                          | 9          | 16  | 19                       | 23                 | 3       | 3                              |
|                          |                           | 12,0        | 36                          | 26         | 15  | 2                        | 13                 | -       | 9                              |

*Примечание:* расчет содержаний минеральных составляющих проведен методом Ритвельда в программном продукте SIROQUANT V4.0; расчет проведен без учета содержания рентген аморфной составляющей.

Таблица 2

**Химический состав глинистых элювиальных образований**

| Расположение                  | Наименование грунта       | Глубина, м | Химический состав (вес. %) |                  |                                |                                |      |                  |
|-------------------------------|---------------------------|------------|----------------------------|------------------|--------------------------------|--------------------------------|------|------------------|
|                               |                           |            | SiO <sub>2</sub>           | TiO <sub>2</sub> | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | CaO  | K <sub>2</sub> O |
| Микро-район «пос. Ласковский» | Глины легкие пылеватые    | 7,0        | 50,70                      | 1,30             | 20,90                          | 7,70                           | 0,70 | 1,70             |
|                               |                           | 13,0       | 60,77                      | 0,94             | 20,26                          | 5,86                           | 0,01 | 2,68             |
|                               |                           | 17,5       | 55,56                      | 1,08             | 17,15                          | 7,01                           | 0,64 | 2,18             |
| Микро-район «Белый хутор»     | Суглинки легкие пылеватые | 2,0        | 61,32                      | 0,52             | 17,46                          | 4,38                           | 3,22 | 1,54             |
|                               |                           | 6,0        | 60,78                      | 0,94             | 18,86                          | 5,29                           | 0,76 | 2,24             |
|                               |                           | 12,0       | 64,94                      | 0,66             | 16,62                          | 4,01                           | 1,34 | 3,12             |

Из табл. 1 видно, что с глубиной происходит уменьшение каолинита и увеличение глинистых минералов группы гидрослюды и вермикулита.

Глинистые грунты элювиального генезиса содержат в своем составе не затронутые выветриванием обломки первичных минералов различной крупности, причем процентное содержание плагиоклаза и слюды по глубине меняется закономерно, хаотично. По всей видимости, это обусловлено неравномерностью протекания процесса выветривания. В результате анализа данных химического состава исследуемых грунтов выявлено, что с глубиной происходит уменьшение процентного содержания Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Закономерного изменения других химических компонентов с глубиной не происходит.

Таблица 3

**Физические свойства глинистых элювиальных образований**

| Расположение                | Наименование грунта       | Глубина, м. | Физические свойства дисперсных элювиальных грунтов         |                                       |   |  |                                       |
|-----------------------------|---------------------------|-------------|--|---------------------------------------|---|--|---------------------------------------|
|                             |                           |             | Плотность частиц грунта ρ <sub>s</sub> , г/см <sup>3</sup> | Плотность грунта ρ, г/см <sup>3</sup> | Влажность на границе текучести w <sub>L</sub> , % | Влажность на границе раскатывания w <sub>p</sub> , % | Число пластичности I <sub>p</sub> , % |
| Микро-район пос. Ласковский | Глины легкие пылеватые    | 7,0         | 2,73   | 1,90                                  | 50  | 28   | 22                                    |
|                             |                           | 13,0        | 2,73   | 1,97                                  | 49  | 27   | 22                                    |
|                             |                           | 17,5        | 2,75   | 1,94                                  | 44  | 25   | 19                                    |
| Микро-район «Белый хутор»   | Суглинки легкие пылеватые | 2,0         | 2,65   | 1,71                                  | 41  | 27   | 14                                    |
|                             |                           | 4,0         | 2,72   | 1,82                                  | 38  | 25   | 13                                    |
|                             |                           | 6,0         | 2,68   | 1,82                                  | 43  | 26   | 17                                    |
|                             |                           | 8,0         | 2,66   | 1,74                                  | 38  | 24   | 14                                    |
|                             |                           | 12,0        | 2,66   | 1,76                                  | 38  | 25   | 13                                    |

В табл. 3 приведены физические свойства элювиальных глинистых грунтов, определенные с учетом требований ГОСТ в лаборатории ООО ИФ «ЮжУралТИСИЗ».

Элювий, слагающий основание зданий и сооружений в пределах территории различных микрорайонов проявляет различные физические свойства.

*Микрорайон «пос. Ласковский».* Исследуемые элювиальные грунты представлены глинами легкими пылеватыми. С глубиной происходит незначительное уменьшение влажности на границе текучести ( $w_L$ ) и раскатывания ( $w_p$ ), числа пластичности ( $I_p$ ), увеличение плотности частиц грунта ( $\rho_s$ ).

*Микрорайон «Белый хутор».* Исследуемые элювиальные грунты представлены суглинками легкими пылеватыми. С глубиной происходит не четко выраженное уменьшение влажности на границе текучести ( $w_L$ ) и раскатывания ( $w_p$ ), плотности частиц грунта ( $\rho_s$ ).

Для исследования взаимосвязи физических свойств грунтов с минеральным и химическим составом с помощью программы Microsoft Excel методами математической статистики автором вычислены коэффициенты корреляции. Отражающие тесноту связи физических показателей с минеральным и химическим составами. Полученные коэффициенты корреляции сведены в табл. 4.

Таблица 4

#### Коэффициенты корреляции

| Состав (вес.%) | Наименование компонента        | Физические свойства элювиальных глинистых грунтов    |   |                            |                               |                              |
|----------------|--------------------------------|--|---|----------------------------|-------------------------------|------------------------------|
|                |                                | Плотность частиц грунта $\rho_s$ , г/см <sup>3</sup> | Плотность грунта $\rho$ , г/см <sup>3</sup> | Влажность, %               |                               | Число пластичности $I_p$ , % |
|                |                                |  |   | на границе текучести $w_L$ | на границе раскатывания $w_p$ |                              |
| 1              | 2                              | 3  | 4   | 5                          | 6                             | 7                            |
| Химический     | SiO <sub>2</sub>               | 0,91   | 0,37  | 0,30                       | 0,45                          | 0,30                         |
|                | TiO <sub>2</sub>               | 0,99   | 0,73  | 0,32                       | 0,00                          | 0,52                         |
|                | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 0,72   | 0,57  | 0,86                       | 0,60                          | 0,64                         |
|                | Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 0,80   | 0,60  | 0,39                       | 0,06                          | 0,57                         |
|                | CaO                            | 0,79   | 0,83  | 0,23                       | 0,08                          | 0,84                         |
|                | K <sub>2</sub> O               | 0,54   | 0,05  | 0,00                       | 0,12                          | 0,00                         |
| Минеральный    | Кварц                          | 0,77   | 0,81  | 0,69                       | 0,63                          | 0,71                         |
|                | Плагиоклаз                     | 0,88   | 0,99  | 0,57                       | 0,07                          | 0,73                         |
|                | КПШ                            | 0,85   | 0,76  | 0,63                       | 0,64                          | 0,57                         |
|                | Слюда                          | 0,07   | 0,08  | 0,93                       | 0,00                          | 0,95                         |
|                | Каолинит                       | 0,76   | 0,38  | 0,80                       | 0,76                          | 0,83                         |
|                | Гидрослюда                     | 0,02   | 0,14  | 0,65                       | 0,00                          | 0,67                         |

Коэффициенты корреляции показывают, что наиболее тесная связь существует между плотностью частиц грунта и процентным содержанием первичных минералов (кварц, плагиоклаз, КШШ), а также содержанием химических компонентов ( $\text{SiO}_2$ ,  $\text{TiO}_2$ ). Немаловажную роль на физические свойства, в частности: влажность на границе текучести и границе раскатывания, число пластичности оказывает содержание глинистых минералов.

Увеличение процентного содержания первичных минералов приводит к уменьшению плотности грунта, увеличение  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  ведет к увеличению плотности частиц грунта.

Необходимо дальнейшее изучения химико-минерального состава элювиальных глинистых грунтов для большего понимания природы проявления грунтами физических и механических свойств, что в дальнейшем позволит прогнозировать свойства грунтов по процентному содержанию компонента и наоборот.

#### Литература

1. Корженко Л.И. Основания и фундаменты в условиях Урала / Свердлов. кн. изд-во, Свердловск, 1963. – 153 с.
2. Лысенко М.П. Состав и физико-механические свойства грунтов. – М.: Недра, 1972. – 320 с.
3. Осипов В.И., Соколов В.Н. Глины и их свойства. Состав, строение и формирование свойств – М.: ГЕОС, 2013. – 576 с.
4. Шешеня Н.Л. Инженерно-геологическое обоснование мероприятий инженерной защиты зданий и сооружений от опасных процессов // Промышленное и гражданское строительство. – 2007. – № 11. – С. 7-9.
5. Ярг Л.А. Изменение физико-механических свойств пород при выветривании. – М.: Недра, 1974. – 144 с.

### ИЕРАРХИЧНОСТЬ СТРУКТУРЫ ГЛИНИСТЫХ ГРУНТОВ

**Л.Г. Булыгина, В.А. Королев, В.Н. Соколов,  
О.В. Разгулина, М.С. Чернов**

Геологический факультет МГУ им. М.В. Ломоносова, 119991, Москва, ГСП-1,  
Ленинские горы, д. 1. E-mail: bulyginaluda@gmail.com

Все геологические тела построены иерархично, однако закон этой иерархичности ещё не установлен и представляет открытую проблему [3]. Структура грунтов также обладает иерархичностью, которая пока охарактеризована лишь гипотетически [1, с. 39]. Необходимость её выявления при изучении грунтов от микроуровня до массива не раз подчеркивалась Е.М. Сергеевым. Согласно гипотезе М.А. Садовского структура геологической среды обладает иерархичностью, важнейшим свойством которой явля-

ется подобие её строения в большом диапазоне масштабов структурных отдельностей: при этом отношение соседних характерных размеров отдельностей в этой иерархии примерно соответствует 3,5 [4].

Дисперсные грунты, включая глинистые, представляют собой дискретные иерархические системы. Дискретность в них обусловлена наличием структурных элементов различного размера и проявляется на разных масштабных уровнях: от наноуровня до уровня массива грунтов.

При этом под структурными элементами в глинистых грунтах нами понимаются не только сами твердые частицы глинистых и иных порообразующих минералов (первичные структурные элементы, характеризующиеся гранулометрическим составом), а также образуемые ими структурные элементы второго порядка – микроагрегаты (характеризующиеся микроагрегатным составом), но и структурные элементы более высоких порядков, проявляющиеся в наличии комковатости, блочности разных порядков и других макро-структурных особенностей. Проявление дискретности в грунтах, обусловленной структурными элементами разных порядков, выражается в наличии у грунтов иерархичности их структуры.

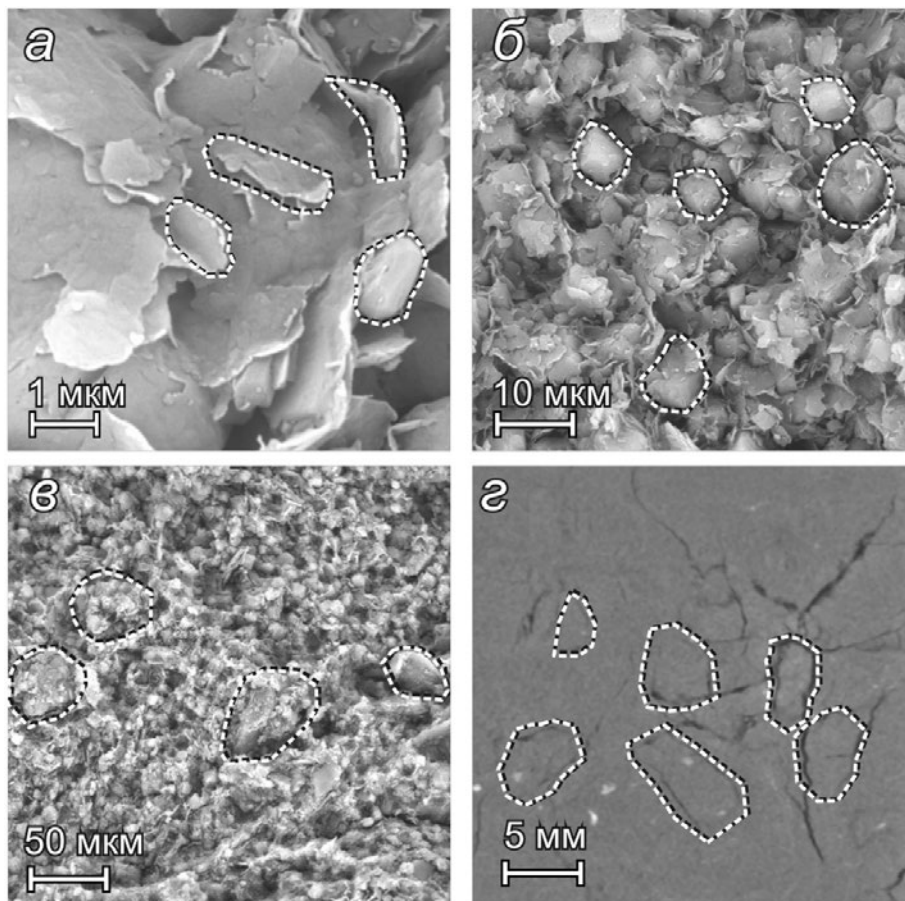
Полагаем, что каждый глинистый грунт характеризуется только ему присущей иерархичностью указанных структурных элементов, обусловленной химико-минеральным составом грунта, его генезисом и постгенетическими преобразованиями.

Для выявления указанной иерархичности необходима методика анализа строения глинистых грунтов не на каком-либо одном, а на разных масштабных уровнях, позволяющая проследить изменение характера дискретности структурных элементов и выявить закономерность этого изменения. Существующие в настоящее время методики изучения структуры грунтов не позволяют решить этот вопрос с помощью какого-либо одного метода, поскольку каждый применяемый для этого прибор (или метод) позволяет изучать структурные элементы в ограниченном диапазоне их размеров. Для растровой электронной микроскопии (РЭМ) этот размер, как правило, составляет 0,01-100 мкм, для рентгеновской компьютерной микротомографии (μКТ) – 0,1-10 мм и т.п. В этой связи предлагается методика выявления закономерностей иерархичности строения глин на базе комплекса РЭМ-μКТ [1].

Для получения количественной информации о структуре глинистых грунтов было разработано программное обеспечение (ПО) «СТИМАН» [5], позволяющее учитывать полидисперсность грунтов, анализируя серию разномасштабных изображений, полученных с помощью РЭМ и μКТ. С помощью данного ПО можно получать численную характеристику (площадь, периметр) каждого структурного элемента, попавшего в поле зрения, и анализировать их распределение по эквивалентным диаметрам, площадям, форме на всем диапазоне доступных увеличений.

Однако, в отличие от ранее проведенных исследований [2] нами предлагается выявлять закономерность иерархичности структуры не только по пустотам (микро- и макропорам и т.п.), но и по «твердым» структурным элементам. Процедура обработки и анализа изображений в данном случае анало-

гична той, при которой характеризуется поровое пространство, но вместо пор (или пустот) здесь выявляются границы агрегатов глинистых частиц и зерен разного масштаба, а также другие видимые отдельности (рис. 1).



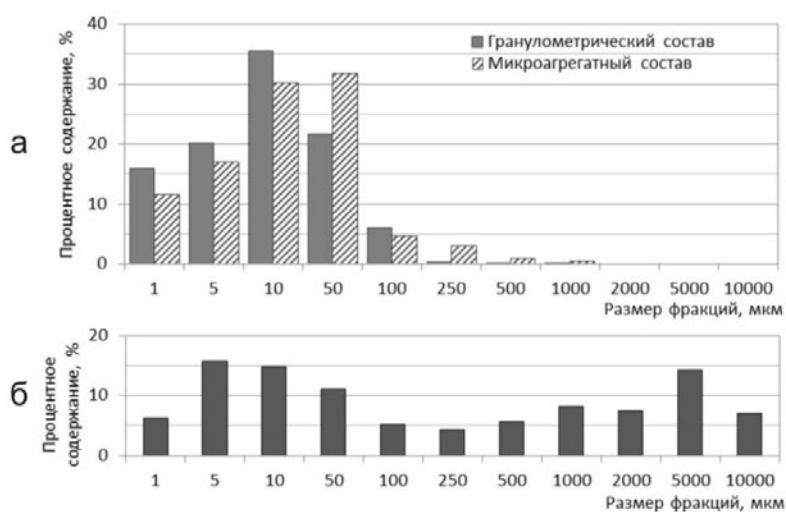
**Рис. 1. РЭМ-изображения (а, б, в) и мКТ-изображение (z) образца суглинка тяжелого пылеватого (С<sub>3</sub>msc) при разных увеличениях.**

Пунктиром выделены структурные элементы разных порядков: а – глинистые частицы; б – пылеватые частицы; в – пылегато-глинистые агрегаты; z – структурные блоки

По результатам этих расчетов строилась гистограмма распределения структурных элементов разных порядков по размерам, пример которой показан на рис. 2б. На рис. 2а представлены результаты гранулометрического и микроагрегатного анализов. Их сравнение с расчетным распределением структурных элементов грунта свидетельствует об определенном сходстве в области размеров 1-250 мкм.

В предлагаемой методике есть условность: некоторая площадь может учитываться несколько раз: сначала в рамках ультрамикроагрегатов, затем

более крупного глинистого агрегата и т.д. Однако такой расчет дает более полное представление об организации вещества в природном грунте, поскольку охватывает больший диапазон размерностей. Предлагаемая расчетная методика позволяет изучать структурированность такой, как она присутствует в природном грунте, т.е., не прибегая к разрушению более крупных отдельностей: блоков, комков. На расчетной гистограмме распределения структурных элементов по размеру в диапазоне 1-250 мкм проявляются пики, соответствующие максимумам на гистограммах гранулометрического и микроагрегатного составов, а также дополнительные пики в диапазоне > 250 мкм, подтверждающие наличие (в противном случае отсутствие), например, блочной отдельности в образце на макроуровне (рис. 2).



**Рис. 2. Распределение твердых структурных элементов по стандартным фракциям образца суглинка тяжелого пылеватого (C<sub>3</sub>msc):**  
*a* – по данным гранулометрического и микроагрегатного анализов; *б* – расчетное

Количество и положение пиков характеризуют иерархичность строения и отличаются для разных типов грунтов (рис. 3).

По виду распределения можно судить, например, об однородности грунта. Морские уплотненные глинистые отложения обычно имеют узкое симметричное распределение с одним главным пиком. Для некоторых высоколитифицированных глин характерно появление дополнительных пиков, отражающих появление трещиноватости в образце. Гистограммы менее однородных по гранулометрическому составу грунтов, например, моренных суглинков, имеют более широкий и пологий вид с многочисленными пиками, положение которых соответствует размерностям первичных структурных элементов.



**Рис. 3. Гистограмма распределения твердых структурных элементов по размеру образца суглинка тяжелого пылеватого (C<sub>3</sub>msc), рассчитанная с помощью ПО «СТИМАН» по РЭМ- и  $\mu$ КТ-изображениям**

Чем больше суммарная площадь учтенных структурных элементов, тем в большей степени структурирован грунт, т.е. имеет более сложное иерархическое строение. Для некоторых грунтов это значение может оказаться менее 100%. В таких грунтах первичные структурные элементы слабо агрегированы, и их деформационное поведение определяется непосредственными контактами между ними. Если суммарная площадь частиц достигает значений более 100%, это означает, что первичные частицы образуют агрегаты и структурные элементы разных порядков (т.е. неоднократно учитываются в счете), а их деформационное поведение будет определяться взаимодействием сначала более крупных отдельных элементов, затем агрегатов меньших порядков и т.д., а именно прочностью и количеством контактов между ними. При этом сами контакты также характеризуются иерархичностью: их площадь возрастает пропорционально размерам структурных элементов.

При изучении иерархичности структуры глинистых грунтов нельзя упускать из рассмотрения и поровое пространство грунтов, т.к. оно несет в себе дополнительную информацию. Так, например, пики в области малых увеличений на гистограммах распределения твердых структурных элементов могут характеризовать присутствие в образце либо песчаной или гравийной фракций, либо блочной отдельности. Различить их можно благодаря построению гистограммы распределения пор по суммарным площадям [5]. Во втором случае на такой гистограмме будет присутствовать хорошо выраженный пик, определяющий трещины, каналы, разделяющие породу на отдельные структурные элементы высоких порядков.

Таким образом, предлагаемый новый подход и новая информация о структурных элементах позволит создать классификацию строения глинистых грунтов, учитывающую их иерархичность. Этот комплекс может быть дополнен информацией о макростроении глины с помощью макросъемки (или МС-метода) и тогда строение грунта будет учитывать все иерархические



уровни от микрообразца до массива. Таким образом, в итоге комплекс РЭМ-μКТ-МС позволит полностью охватить весь диапазон масштабных уровней, на котором проявляется дискретность структуры грунта.

*Данная работа выполнена с использованием аппаратной базы, полученной в рамках реализации Программы развития МГУ им. М.В. Ломоносова: растрового электронного микроскопа LEO 1450VP (Германия) и рентгеновского компьютерного микротомографа Yamato TDM-1000H-II (Япония).*

#### Литература

1. Трофимов В.Т., Королев В.А., Харьковина М.А. и др. Базовые понятия инженерной геологии и экологической геологии: 280 основных терминов // Под ред. В.Т. Трофимова. – М.: ОАО «Геомаркетинг», 2012. – 320 с.
2. Булыгина Л.Г., Соколов В.Н., Чернов М.С., Разгулина О.В., Юрковец Д.И. Анализ структуры грунтов комплексом растровый электронный микроскоп – рентгеновский компьютерный микротомограф (РЭМ-μКТ) // Геоэкология. Инженерная геология. Гидрогеология. Геокриология. – 2014. – № 5. – С. 457-463.
3. Королёв В. Актуальные научные проблемы современного грунтоведения // Грунтоведение. – 2013. – № 1. – С. 4-10.
4. Садовский М.А., Болховитинов Л.Г., Писаренко В.Ф. Деформирование геофизической среды и сейсмический процесс. – М.: Наука, 1987. – 100 с.
5. Соколов В.Н., Юрковец Д.И., Разгулина О.В. Исследование микроструктуры грунтов с помощью компьютерного анализа РЭМ-изображений // Геоэкология. Инженерная геология. Гидрогеология. Геокриология. – 2008. – № 4. – С. 1-6.

## ИНЖЕНЕРНАЯ ПЕТРОЛОГИЯ МЕТАСОМАТИТОВ МЕСТОРОЖДЕНИЙ УРАЛА КАК СПЕЦИФИЧЕСКИХ СКАЛЬНЫХ ГРУНТОВ

**О.Н. Грязнов**

ВГБОУ ВПО «Уральский государственный горный университет»  
Екатеринбург, 620144, ул. Куйбышева, 30. E-mail: Gryaznov.O@ursmu.ru

Особую группу горных пород по инженерно-геологическим характеристикам представляют метасоматические горные породы эндогенных (магматогенных, метаморфогенных) месторождений Урала [2]. Занимая значительные объемы в околорудном пространстве, они существенно отличаются по своим физическим, механическим и физико-химическим свойствам от неизмененных горных пород рудовмещающего комплекса. Это определяет своеобразие инженерно-геологических условий массивов горных пород эндогенных месторождений. Изучению метасоматитов как специфических инженерно-геологических объектов уделено мало внимания. Вместе с тем метасома-

титы, обладая своеобразным минеральным и химическим составом, в значительной степени определяют изменения инженерно-геологических характеристик скальных массивов при их вскрытии горными выработками. Это позволяет рассматривать инженерную петрологию метасоматитов в качестве важного научного направления в инженерной геологии – инженерном грунтоведении [3].

Под метасоматической горной породой понимается ассоциация вторичных метасоматических минералов, находящихся в закономерных количественных, структурно-текстурных соотношениях и причинной зависимости от формирующих их петро-рудогенетических процессов [2]. При изучении и выделении метасоматических пород необходимо и достаточно учитывать три главных фактора: 1) развитие определенной ассоциации вторичных минералов; 2) их количество; 3) структуру и текстуру пород. По В. Гольдшмидту и А.А. Полканову собственное название метасоматической горной породе присваивается при количестве вторичных минералов соответствующей ассоциации 50% и более.

Многолетние исследования рудоносных метасоматитов урановых, редкометалльных, полиметаллических, медных, железорудных, золоторудных, нерудных эндогенных месторождений палеозойских складчатых поясов свидетельствуют о существенном изменении минерального, химического состава, физических свойств рудовмещающих горных пород при их метасоматическом преобразовании. Исследованиям физико-механических свойств метасоматически преобразованных пород посвящено ограниченное количество публикаций [3]. Обратим внимание специалистов на поставленную проблему на примерах скарново-магнетитовых месторождений известково-скарновой формации, колчеданных месторождений формации кварц-хлорит-серицитовых метасоматитов и месторождений хризотил-асбеста серпентинитовой формации Урала.

Вулканогенно-осадочный комплекс контактово-метасоматического Гороблагodatского месторождения скарново-магнетитовой формации представлен пироксен-плаггиоклазовыми порфиритами и их туфами, туффитами, туфопесчаниками, туфогравелитами, известняками. Породы прорваны интрузивом диорито-сиенитов. Метасоматиты – пироксен-скаполитовые околоскарновые породы и пироксен-гранатовые и гранатовые скарны. Массивные магнетитовые руды локализованы в скарнах, а вкрапленное оруденение – во всех зонах скарновых залежей и околоскарновых пород.

Физико-механические свойства вмещающих горных пород и метасоматитов приведены в таблице. Горные породы месторождения относятся к группе скальных. Плотность туфогенных пород и порфиритов  $2,73-2,87 \text{ г/см}^3$ . Пористость составляет  $1,31-1,36\%$ . Прочность на одноосное сжатие  $80-90 \text{ МПа}$ , коэффициент крепости  $13-18$ . Гранатовые, пироксен-гранатовые, пироксен-гранат-эпидотовые скарны характеризуются повышенной плотностью  $3,09 \text{ г/см}^3$  и пористостью  $2,08-3,40\%$ , а также понижением прочности до  $53,8-55,2 \text{ МПа}$  и коэффициента крепости до  $5,8-7,45$ .

Таблица

**Физико-механические свойства рудовмещающих горных пород  
и метасоматитов**

| Рудовмещающие породы и метасоматиты  | Кол-во определений | $\rho$<br>г/см <sup>3</sup> | n, % | Rc,<br>МПа | C,<br>МПа | $\phi_0$ | $f_{RP}$ |
|--|--------------------|-----------------------------|------|------------|-----------|----------|----------|
| <i>Гороблагодатское скарново-магнетитовое месторождение по А.И. Пельдякову [4]</i>   |                    |                             |      |            |           |          |          |
| Туфы порфиритов  | 7                  | 2,73                        | -    | -          | -         | -        | 13       |
| Порфириты пироксен-плагиоклазовые  | 30                 | 2,87                        | 1,31 | 90         | 25        | 38       | 18       |
| Гранат пироксен-эпидотовый, эпидот-пироксен гранатовый скарн                         | 4                  | 3,09                        | 2,08 | 53,8       | -         | -        | 7,45     |
| Гранатовый скарн   | 5                  | 3,06                        | 3,40 | 55,2       | -         | -        | 5,8      |
| <i>Юбилейное медно-цинково-колчеданное месторождение [4]</i>                         |                    |                             |      |            |           |          |          |
| Андезито-дациты  | 5                  | 2,75                        | -    | 136        | 29        | 53       | 14       |
| Густовкрапленные колчеданные руды  | 1                  | 4,42                        | -    | 195        | 43,7      | 51       | 19       |
| Кварц-хлоритовые, серицит-кварц-хлоритовые, серицит-хлорит-кварцевые метасоматиты    | 10                 | 2,82                        | -    | 76         | 17,6      | 48       | 8        |
| Кварц-серицитовые, кварц-хлоритовые, хлорит-кварц-серицитовые метасоматиты с пиритом | 15                 | 2,86                        | -    | 75         | 17,0      | 50       | 7        |

Вмещающие вулканогенные породы месторождения Юбилейного претерпели зеленокаменный метаморфизм актинолит-эпидот-хлоритовой фации и более поздние гидротермально-метасоматические изменения с образованием кварц-хлоритовых, серицит-кварц-хлоритовых, серицит-хлорит-кварцевых, кварц-серицитовых метасоматитов кварц-хлорит-серицитовой формации и колчеданных руд. Физико-механические свойства рудовмещающих горных пород и руд отражены в таблице. Ее анализ свидетельствует о значительном различии свойств вмещающих пород, густо-вкрапленных колчеданных руд и метасоматитов.

Исследования свойств основных типов горных пород карьера Учалинского медно-колчеданного месторождения, выполненные Э.И. Афанасиади, свидетельствуют о зависимости физико-механических характеристик от степени вторичных изменений исходных пород. Наибольшими значениями

плотности и предела прочности на сжатие отличаются зеленокаменно метаморфизованные габбро-диориты ( $2,99 \text{ г/см}^3$  и  $113 \text{ МПа}$  по средним значениям) и диабазовые порфириты ( $2,80$  и  $88,5$  соответственно). В эпидозитах эти показатели уменьшаются до  $2,83$  и  $74$ , а в околорудных кварц-серицитовых метасоматитах они минимальны ( $2,72$  и  $59$  по средним величинам). Медноколчеданные руды отличаются повышенными значениями показателей –  $4,87 \text{ г/см}^3$  и  $78 \text{ МПа}$  [3].

Образование месторождений хризотил-асбеста баженовского типа вызвано гидротермально-метасоматической серпентинизацией ультраосновных пород дунит-гарцбургитовой формации. Дуниты – перидотиты месторождения характеризуются высокими значениями прочности на сжатие, которая варьирует от  $156,9$  до  $116,0 \text{ МПа}$  в зависимости от состава серпентинового минерала при фреатической (автометасоматической) серпентинизации (от антигоритовой до хризотиловой). Процесс гидротермальной серпентинизации, сопровождающей образование хризотил-асбеста, снижает механическую прочность горных пород на сжатие при той же тенденции – от антигоритовых серпентинитов к хризотиловым, что можно видеть из следующих величин, МПа: антигоритовый серпентинит –  $135,2$ ; лизардит-антигоритовый –  $96,4$ ; хризотил-антигоритовый –  $89,1$ ; антигорит-лизардитовый –  $85,1$ ; лизардитовый –  $73,1$ ; хризотил-лизардитовый –  $61,6$ ; хризотил-серпентинит –  $52,5$ . На фоне гидротермально-метасоматической зональности инженерно-геологические условия массива коррелируются с интенсивностью тектонической проработки пород, сопровождающейся низкотемпературным оталькованием и карбонатизацией [1].

Наряду с физико-механическими характеристиками, важное значение при изучении метасоматических горных пород имеет их минеральный и химический состав. Особую роль они играют при вскрытии скальных массивов и развитии процессов выветривания. Наиболее неустойчивые в зоне гипергенеза сульфидизированные метаморфические сланцы и метасоматиты. Окисление сульфидов обуславливает образование агрессивных сульфатных вод, ослабление прочностных характеристик пород оснований инженерных сооружений. Нормативные документы, к сожалению, таких последствий не учитывают [4].

#### Литература

1. *Алексеев А.Ф., Грязнов О.Н.* Физико-механические свойства метасоматитов серпентинитовой формации Баженовского месторождения хризотил-асбеста // Инженерная геология. 2013. № 4. С. 54-59.
2. *Грязнов О.Н.* Рудоносные метасоматические формации складчатых поясов. М.: Недра. 1992. 256 с.
3. *Грязнов О.Н.* Инженерная петрология метасоматитов // Записки горного института. 2003. Т. 153. С. 140-143.
4. *Грязнов О.Н., Гуман О.М., Ворожжев А.В.* Инженерная петрология метасоматитов медноколчеданных и скарново-магнетитовых месторождений Урала // Известия вузов. Горный журнал. № 8. 2013. С. 147-155.

## О СОПРОТИВЛЕНИИ ГРУНТОВ СЖАТИЮ В ЕСТЕСТВЕННОМ СЛОЖЕНИИ

Д.Ю. Здобин

Санкт-Петербургский государственный университет, 199034, Санкт-Петербург,  
Университетская наб., 7/9. E-mail: zdobin\_soil@mail.ru

Изучение поведения грунта под нагрузкой дает определение основных деформационных характеристик, необходимых для расчета осадки зданий и сооружений. По различным подсчетам, эти характеристики (модуль деформации, коэффициент сжимаемости и коэффициент Пуассона) используются в 90% случаях всех проектировочных решений.

Вместе с тем, рассматривая в исторической ретроспективе методы определения данных показателей (как полевых, так и лабораторных условиях), можно проследить очень интересную эволюцию не только в методологическом подходе, но даже в понятийно-смысловом аспекте.

Один из основоположников отечественного научного грунтоведения профессор В.В. Охотин в первом университетском учебнике «Грунтоведение» (1940 г.) [7], в базовой главе «Физико-механические свойства грунтов» никогда не разделял «механические свойства» на «прочностные» и «деформационные». Используя вполне определённые выражения «трение и сцепление в грунтах», «сопротивление грунтов вдавлению», «сопротивление грунтов сжатию», автор тем самым, во-первых, подчеркивал глубокую взаимосвязь между физико-химическими и механическими свойствами грунтов, во-вторых, рассматривал первичность трения и сцепления в грунте по отношению к его реакции на сжатие.

Эта вполне очевидная максима в неявном виде в среде изыскателей так и или иначе присутствует, чему служат подтверждения в виде двух нормативных документов ГОСТ 12248-2010 «Грунты. Методы лабораторного определения прочности и деформируемости» и нового стандарта ГОСТ Р 56353-2015 «Грунты. Методы лабораторного определения динамических свойств дисперсных грунтов», в самом названии которого термин «механические свойства» отсутствуют.

Ранее мы подробно рассмотрели важнейший показатель состояния глинистого грунта в естественном сложении – консистенцию [1, 4, 5], и показали, что это свойство грунта I порядка – интегральная величина гранулометрического и минерального составов, естественной влажности и плотности. Все вышеперечисленные показатели состава и свойств грунта напрямую зависят от его микростроения и типа структурных связей и в целом ложатся в физико-химическую теорию эффективных напряжений в грунтах [6].

В результате суммирования понятий «критических точек состояния глинистого грунта», теории «естественной прочности грунта» [3] и «физико-химической теории эффективных напряжений в грунтах», были сформулиро-

ваны принципы определения прочностных свойств глинистых грунтов с позиций теории естественной прочности контактных взаимодействий (ЕПКВ).

Из теории ЕПКВ следует, что «трение и сцепление» в природных дисперсных средах (к которым относится грунт) объективно существует вне зависимости от нашего к нему отношения и методов его определения, в отличие от «сопротивления грунта сжатию», которое не что иное как реакция грунта на приложенную вертикальную нагрузку.

Рассматривать вопрос о реакции грунта на сжатие при приложении вертикальной нагрузки в свете показателя консистенции грунта естественно-го сложения недопустимо в отрыве от контекста физико-химической теории контактных взаимодействий. Базовые принципы (тип микростроения, тип контакта, количество контактов на единицу площади грунтового элемента), определяющие прочность и деформируемость глинистых грунтов, никто не отменял. Соответственно, ранжирование глинистого грунта в зависимости от показателя консистенции в ненарушенном (естественном) сложении к привязке к типу деформаций приобретает вид строгой таблицы с конкретным физико-химическим наполнением.

Таблица 1

**Классификация категорий показателя консистенции грунта ненарушенного сложения  $C_B$**

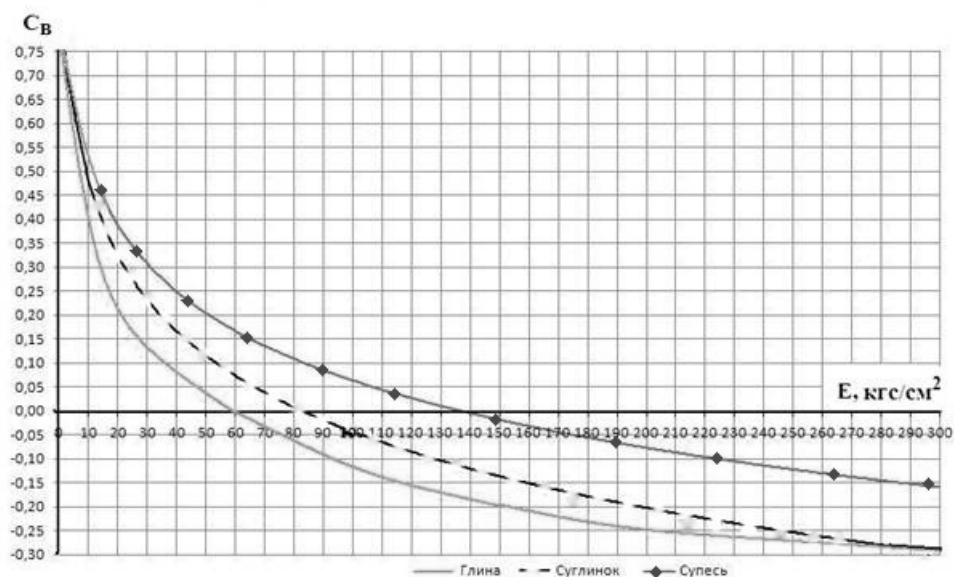
|                  |                  | $I_L$   | $C_B$   | Деформации | Категория |
|------------------|------------------|---------|---------|------------|-----------|
| Глинистые грунты |                  |         |         | хрупкие    | -V        |
|                  |                  |         | -0,75-- | хрупкие    | -IV       |
|                  |                  |         | -0,50-- |            | -III      |
|                  |                  |         | -0,25-- |            | -II       |
|                  | твердые          | <0      | 0--0,25 |            | -I        |
|                  |                  | 0       |         |            |           |
|                  | полутвердые      | 0--0,25 | 0--0,25 | пластичные | I         |
|                  | тугопластичные   | 0,25--  | 0,25--  |            | II        |
|                  | мягкопластичные  | 0,50--  | 0,50--  |            | III       |
|                  | текучепластичные | 0,75--  | 0,75--  |            | IV        |
| текучие          | >1,00            | >1,00   | текучие | V          |           |

Весь спектр состояния грунтов в естественном сложении (от твёрдых до текучих) можно разбить на 10 категорий от -V до V. Таким образом, вырисовывается достаточно стройная «зеркальная» позиция в ранжировании показателя консистенции грунтов ненарушенного сложения: от -V до V. Причём, на область пластических деформаций падает львиная доля категорий грунта – 8. Две крайние категории соответствуют в одном случае дальним коагуляционным контактам (текучая – +V) и цементационным контактам (хрупкие деформации – -V).

Подчеркнём, что предлагаемая градация грунтов в зависимости от его природного состояния увязывает, как нам кажется, в единое целое гранулометрический состав и физико-химические свойства грунтов первого порядка (естественная влажность, плотность и консистенцию) с их природными (естественными) механическими характеристиками.

Следовательно, сопротивление грунта сжатию – это та максимальная нагрузка, при которой он не теряет своих изначальных физико-химических и структурных параметров, т.е. при максимально допустимой вертикальной нагрузке  $\sigma_l$  естественная влажность  $W_e$ , показатель консистенции грунта природного сложения  $C_B$ , пористость  $n$  и микростроение не меняются.

Зная критические точки состояния грунта, можно построить графики зависимости модуля деформации  $E$  от показателя консистенции грунта естественного сложения  $C_B$  (рис. 1), на которых область начала деформаций грунта под нагрузкой для каждой разновидности грунта находится справа от соответствующей кривой.



**Рис.1. Зависимости «показатель консистенции грунта естественного сложения  $C_B$  — модуль деформации  $E$ » для глинистых грунтов («паруса деформаций»)**

Не артикулированное понимание этого вполне очевидного положения в среде специалистов по проектированию оснований и фундаментам (геотехникам) приводят к целому ряду абсолютно резонных и справедливых вопросов. Например, можно ли говорить о «переуплотнении грунта» в аргиллитах верхнего протерозоя (вендские глины Санкт-Петербурга), если они обладают сформированными фазовыми кристаллизационно-цементационными контактами при ламинарном микростроении?

Видимо в игнорировании типов контактов и микростроения грунта заключаются все те противоречия между теоретически рассчитанными значениями деформаций водонасыщенных глинистых грунтов и реальной инженерной практикой, что вылилось в проблему консолидации грунтов.

На наш взгляд, разделение общей консолидации грунта на первичную (фильтрационную) и вторичную (структуры) весьма условно.

Консолидация, как и коэффициент фильтрации – строительные характеристики грунта. В самом деле, весьма сложно (невозможно) представить деформацию структуры грунта даже при нагрузке в  $6 \text{ кгс/см}^2$ . В принятой методике проведения компрессионных испытаний существует некий начальный аппаратный порог, фиксирующий регистрацию начала изменения (уменьшения) высоты исходного образца грунта в одомере под воздействием вертикально прилагаемой нагрузки.

Фиксируемые деформации (0,01 мм) более чем вписываются в пределы погрешности прибора (0,05%) и свидетельствуют ровно о том, что грунт неоднородный по текстурно-структурным особенностям, и закону одномерного уплотнения не подвластен. Пористость (от макро- до ультрамикropор) в единице объёма грунта распространена неравномерно и хаотично, и именно это перераспределение пористости в образце грунта и фиксирует мессура при компрессионных испытаниях грунта. Это подтверждается данными изучения микростроения грунтов. Расчёт пористости полученной при анализе РЭМ-изображений никогда не соответствуют данным прямого расчёта общей пористости. При достижении какой-то определённой величины нормального давления более крупные поры, просто меняют свой размер и геометрию, разделяясь на более мелкие, тем самым показывая уменьшение вертикального размера испытываемого образца.

Важнейшим направлением дальнейших исследований станет всестороннее изучение поведения грунта под нагрузкой с использованием 3D-томографов, с помощью которых инструментально будет зафиксировано изменение всего порового пространства грунта в режиме реального времени.

#### Литература

1. *Бойченко П.О.* Определение пределов пластичности и консистенции глинистых грунтов методом конуса. Л.: Изд-во ЛГУ, 1964. 47 с.
2. *ГОСТ 25100-2011.* Грунты. Классификация. М.: Стандартинформ, 2013. 38 с.
3. *Иванов И.П.* Определение показателей сопротивления сдвигу грунтов, характеризующих их естественную прочность. Вестник ЛГУ. 1975. № 6. с. 73-79.
4. *Здобин Д.Ю.* Естественная прочность и деформируемость глинистых грунтов. Ч. I. Инженерная геология № 3, 2015, с. 12-22.
5. *Здобин Д.Ю.* Естественная прочность и деформируемость глинистых грунтов. Ч. II. Инженерная геология № 4, 2015, с. 56-61.
6. *Осипов В.И.* Физико-химическая теория эффективных напряжений в грунтах. Грунтоведение, № 2, 2013, с. 3-35.
7. *Хотин В.В.* Грунтоведение. СПб.: ЦГГ, 2008. 231 с.



## ФОРМИРОВАНИЕ СОВРЕМЕННЫХ ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ СЕВЕРО-ЗАПАДА РОССИИ

П.С. Зеленковский<sup>1</sup>, М.А. Холмянский<sup>2</sup>, В.М. Анохин<sup>3</sup>, А.Ю. Опекунов<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Санкт-Петербургский государственный университет, Университетская наб. 7/9,  
г. Санкт-Петербург. E-mail: georavel@yandex.ru

<sup>2</sup> ВНИИОкеангеология, Английский просп., д. 1, г. Санкт-Петербург.  
E-mail: holm936@rambler.ru

<sup>3</sup> Институт озерадения РАН, ул. Севастьянова, д. 9, г. Санкт-Петербург.  
E-mail: vladanokhin@yandex.ru

Известно, что седиментогенез – это результат сложных процессов накопления и формирования отложений. Седиментогенез включает в себя три стадии: мобилизации материала в пределах водосборной площади, его перенос и осаждение в бассейне осадконакопления [6]. Геохимическая структура осадка определяется вещественными и динамическими факторами. Вещественные факторы влияют на структуру поступающего осадка (за счет разрушения определенного типа пород). Динамические факторы определяют распределение материала в бассейне осадконакопления. Динамические факторы обусловлены гидродинамическими, физико-химическими и биохимическими механизмами дифференциации материала. Вещественные факторы определяют определенные парагенезисы осадка только в прибрежной зоне.

В зависимости от конкретных условий естественного фона, указанные факторы могут в значительной степени изменить содержания микроэлементов. В песчаном осадке уровень содержания и ассоциации микроэлементов наследует структуру материнских пород. Рост концентрации микроэлементов отмечается в отложениях, обогащенных за счет волновой переработки тяжелой фракцией. В формировании ассоциаций металлов в крупно- и среднезернистых песках преобладает вещественный фактор, а в мелкозернистых песках и алевролитах – динамический.

Формирование химического состава алевролитов происходит, главным образом, под влиянием динамического фактора (накопление в застойных зонах), физико-химических и биогеохимических процессов.

Осаждение микроэлементов осуществляется за счет высокой сорбционной способности глинистых частиц. Процесс усиливается в ряду: гидрослюда – каолинит – хлорит – монтмориллонит – вермикулит.

Сорбирующим центром также выступает гидроксид железа [4]. Самые мобильные элементы в зоне гипергенеза активно сорбируются (Cu, Ni, Sr, Mn, Pb, Zn, V). Важную роль в осаждении металлов играет органическое вещество. Осаждение может происходить в виде металлоорганических комплексов, или путем адсорбции на поверхности органических частиц. Ряды биогеохимической мобильности микроэлементов могут меняться в различных условиях окружающей среды.

В целом, формируется достаточно предсказуемый химический состав отложений. В настоящее время на основе многочисленных исследований [3, 4, 5, 8], можно констатировать, что многие водные объекты превратились в приемники значительного объема загрязненных вод. Когда техногенные и природные потоки сопоставимы, мы имеем дело с процессами техноседиментогенного накопления илов. Развитие процессов техноседиментогенеза отмечено на водных объектах урбанизированных территорий, характеризующихся критическим состоянием экосистем, поскольку все городские водные системы вовлечены в активную хозяйственную деятельность.

Рассмотрим основные направления техноседиментогенеза на примере водных объектов урбанизированных территорий северо-запада России. При техноседиментогенезе роль вещественного (техногенного) фактора в дифференциации осадочного материала повышается, а значение динамического фактора уменьшается. В отличие от природных условий роль механических и биохимических процессов значительно уменьшается, растет роль физическо-химических и химических процессов.

Природные воды насыщены теми или иными поллютантами, которые в осадке представлены в виде солей тяжелых металлов (сульфаты, сульфиды, фосфаты) или их гидроокислов. Характерные литодинамические и статические естественные электрические поля (ЕП) и их роль в процессах перемещения и осаждения различных микроэлементов из коллоидных и субколлоидных растворов, а также в электрохимических процессах в водной среде неоднократно рассматривались нами ранее [9].

Теоретические основы данной проблемы основаны на выдвинутой нами в семидесятые годы прошлого века гипотезе о влиянии ЕП на миграцию и осаждение рудного материала на шельфе [29]. За последние 40 лет эта гипотеза была доказана полевыми наблюдениями и результатами лабораторных экспериментальных исследований. Суть заключается в том, что взвешенные в морской воде частицы, обладающие электрическим зарядом, подвержены влиянию естественного природного электрического поля. Напряженность поля зависит от положения границы первичного диагенеза, структуры донных отложений, их минерализации, солёности придонных вод,  $\rho_h$  и  $E_h$  среды. Заряд частиц зависит от её веса, диэлектрической проницаемости и диэлектрической проницаемости морской воды и других факторов. Характер взаимодействия частицы и ЕП определяется по формулам, полученным нами ранее.

Направление перемещения частицы под действием локального электрического поля зависит от интенсивности поля, диэлектрической проницаемости частицы и раствора. В случае наличия неоднородной области, частица будет вытеснена в направлении максимального приращения поля. Поле, таким образом, может способствовать накоплению тяжелых металлов или их переносу.

Данные о размере заряда коллоидных (субколлоидных) частиц, участвующих в рассматриваемом в процессе, был изучен рядом исследователей [1]. Эти данные позволяют оценить максимальную скорость переноса микро-

элементов на шельфе под влиянием электрического поля как величину порядка 0,4 м/с. Изучение рассматриваемых процессов позволяет на основе геофизических, геологических и физико-географических данных составить прогнозные минералогенетические карты, где основные области тонких фракций рудных минералов выделяются в соответствии с фактором естественного электрического поля.

Для анализа роли ЕП в механизме техноседиментогенеза необходимо учитывать способность металлов к реакции гидролиза и комплексобразования в природных водах. Гидролиз приводит к образованию нерастворимых соединений – гидроокислов и основных солей, что характерно для ионов с величиной заряда +3 и +4. Элементы, находящиеся в высокой степени окисления, образуют растворимые продукты гидролиза.

Часть тяжелых металлов мигрирует в составе взвесей, главным образом, в виде анионов. Они закрепляются на коллоидных частицах размером 0,005 – 0,5 мкм, далее мигрируют и осаждаются под воздействием ЕП в соответствии с механизмом, рассмотренным выше. Таким образом, области максимальных градиентов накопления техногенных элементов, часто не совпадают с участками наиболее активного накопления современных отложений.

Характерным примером такого несоответствия являются процессы в восточной части Финского залива Балтийского моря. Схемы зонирования процессов техногенного осаждения иллюстрирует интенсивность накопления и транспортировки комплекса техногенных микроэлементов, в том числе тяжелых металлов.

По результатам электрохимического зондирования по однородной сети по всей исследуемой области, а также результатам изучения образцов донных отложений и измерения характеристик ЕП определено, что зоны максимального выноса и переноса техногенных материалов в данном районе не соответствуют существующей седиментологической модели, а характерны для техноседиментогенеза. Например, Лужский залив как часть площади постоянного накопления осадочного материала [2] характеризуется активным выносом техногенных элементов. Основной причиной этого является ЕП.

Другим примером вышеуказанных расхождений являются участки водных объектов, подверженных сильному загрязнению. Часто здесь, в условиях активной динамики вод, наблюдается постоянное накопление тонкодисперсных техногенных частиц. Например, на участке "город" реки Преголи лавинообразное накопление техногенных илов наблюдается при довольно высоких скоростях течения воды. Наиболее вероятное объяснение этого явления – активное флокулирование взвешенных частиц и их осаждение на дно. Важное значение имеет статическое локальное электрическое поле. На границе “донные осадки – воды” в восстановительных условиях поле имеет положительный заряд [7]. Это активизирует процессы осаждения пелитового материала, имеющего отрицательный заряд.

## Литература

1. Гамаюнов Н.И., Муравцовский В.А., Духин А.С. Двойное взаимодействие частиц в электрическом поле, 1986, т. 11, № 2, с. 233-247.
2. Геология и геоморфология Балтийского моря // Ленинград, Недра, 1991, 420 стр.
3. Иванов М.В., Пименов Н.В., Саввичев А.С. Микробиологические процессы формирования сероводорода на реке Pregoly // Микробиология, 1995, т. 64, № 1, стр. 112-118.
4. Лисицын А.П. Маргинальный фильтр океанов // Океанология, v.34, № 56 p. 735-747.
5. Рыбалко А.Е., Федорова Н.К., Рыбалко А.Е. Донные отложения и геохимические процессы в барьерной зоне «дно – вода» в системе южная часть Ладожского озера – р. Нева – эстуарий р. Невы // СПб., Научный журнал РАН, 1996, с. 68-90.
6. Страхов Н.М. Основы литогенетической теории // т. 1, М., 1960, 212 стр.
7. Холмянский М.А., Яговкин Б.В. Подключение шельфовых месторождений с электрическими литологического содержания и толщины донных отложений // шельфовых зонах, Ленинград, 1983, стр. 47-52.
8. Янин Е.П. Техногенные потоки химических элементов в донных отложениях поверхностных водотоков // Советская геология, 1988, № 106 стр 101-108.
9. Kholmiansky M.A., Lopatin B.G. New techniques for complex geological and environmental studies of coastal marine zones // Bordo BORDOMER – 95, 1995, p. 133-138.

## ФОРМИРОВАНИЕ, МОРФОЛОГИЯ И РОЛЬ БИОТИЧЕСКИХ КОНТАКТОВ В ДИСПЕРСНЫХ ГРУНТАХ

П.В. Иванов<sup>1</sup>, С.К. Николаева<sup>1</sup>, Н.А. Манучарова<sup>2</sup>, М.С. Чернов<sup>1</sup>

Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова,  
<sup>1</sup> геологический факультет, <sup>2</sup> факультет почвоведения.  
119234, Москва, Ленинские горы, д.1. E-mail: pvivanov@ya.ru

Вопросы роли микробиоты в структурообразовании грунтов изучены недостаточно. Тем не менее, биотические факторы следует признать важными при формировании и изменении структурных связей между твердыми грунтовыми частицами. Известно, что клетки бактерий могут адсорбироваться на твердых частицах грунта для извлечения необходимых питательных элементов [4] или формировать биоэлектростатические структурные связи за счет имеющегося у клеток заряда [2]. Мицелиальные клетки также могут плотно прикрепляться к частицам для потребления веществ или механически опутывать минеральные зерна [8]. Вещества, выделяющиеся в ходе метаболизма микроорганизмов, могут обладать склеивающими или поверхностно-активными свойствами, способствуя тем самым как образованию, так и разрушению контактов между твердыми структурными элементами грунта [9]. Разрушение цементирующих веществ и формирование биоцемента в результате жизнедеятельности микроорганизмов также являются важными факторами изменения микростроения грунтов [7].

Под воздействием микроорганизмов в грунтах формируются биотические структурные связи. Структурные связи биогенного происхождения мо-

гут быть различной природы – физической (биоэлектростатические), химической (кристаллизационные контакты за счет биоцемента), физико-химической (при взаимодействии клеток с частицами) и др. Таким образом, выделение биогенных структурных связей в одном ряду с физическими, химическими и физико-химическими нецелесообразно. Необходим иной подход к классифицированию биотических структурных связей. Следует отдельно рассматривать абиотические и биотические структурные связи, а среди последних выделять *биогенные* и *биогенно обусловленные*.

**Биогенными структурными связями** следует называть структурные связи, образованные при непосредственном участии клеток микроорганизмов за счет явлений различной природы – наличия заряда и формирования электростатических связей, физико-химической адгезии клеток к частицам грунта, механического спутывания частиц мицелиальными клетками и т.д. Под **биогенно обусловленными структурными связями** следует понимать структурные связи химической и физико-химической природы, сформированные за счет выделения различных продуктов метаболизма, в том числе, биоцемента.

В большинстве природных грунтов органическое вещество, необходимое для питания микроорганизмов, распространено в очень ограниченных количествах (до 1% по массе). Несмотря на существенную биомассу (в 1 г грунтов глубоких горизонтов содержится порядка  $10^6$  клеток бактерий [3]), микроорганизмы в них чаще всего находятся в неактивном состоянии. Микроорганизмы крайне чувствительны к изменениям условий жизнедеятельности и могут быстро подстраиваться под новые параметры среды обитания. При этом изменяется их численность, интенсивность жизнедеятельности, образуются иные продукты метаболизма, тем самым, меняется влияние организмов на грунт. Так, антропогенное загрязнение веществами, которые могут служить питательным веществом, приводит к развитию микробного сообщества в целом или отдельных его представителей, активизации микробиологических процессов и изменению состава, строения и свойств грунтов.

Авторами экспериментально изучалось формирование и морфология биотических структурных связей в дисперсных грунтах при искусственной активизации их микробного комплекса раствором глюкозы. Исследования проводились на образцах грунтов различного генезиса, дисперсности и глубин залегания. Были изучены: аллювиальный суглинок четвертичного возраста, отобранный на I надпойменной террасе р. Москва на Звенигородской биостанции МГУ; морская глина юрского возраста, отобранная на площадке строительства ст. м. «Окская» в г. Москве; а также мелкий флювиогляциальный четвертичный песок, отобранный на площадке инженерных изысканий в г. Долгопрудный.

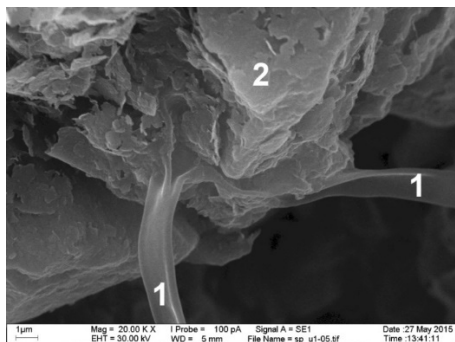
К воздушно-сухому порошку глинистых грунтов добавляли 0,1 н раствор глюкозы (опыт) или дистиллированную воду (контроль) до влажности оптимального уплотнения, пасту помещали в форму и уплотняли под нагрузкой 3 МПа в течение 5 минут. Песчаный грунт заливался 0,1 н раствором

глюкозы в количестве 1 мл на 10 г грунта. Полученные образцы хранились в эксикаторе над водой.

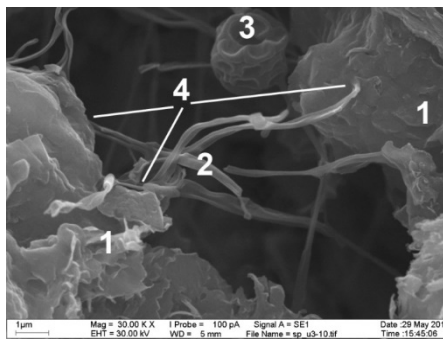
По результатам проведенных ранее исследований [5], увлажнение грунта раствором глюкозы приводит к активизации микробиологических процессов и росту микробной биомассы с отчетливым максимумом в период 7-14 суток после внесения питательного вещества. В этот период с помощью растрового электронного микроскопа (РЭМ) LEO 1450VP проводили изучение микростроения образцов.

На рис. 1 представлено РЭМ-изображение крупного агрегата аллювиального суглинка (2) и мицелиальной колонии (1) микроорганизмов. Нитевидные клетки глубоко проникают в глинистые агрегаты (или рубашки вокруг зерен породообразующих минералов). Такие мицелиальные колонии способны ветвиться, проникать в несколько твердых частиц, скрепляя их. Тем самым образуется биогенный контакт между твердыми частицами грунта (рис. 2). Нитевидные колонии опутывают твердые частицы и агрегаты, формируя макроагрегат (рис. 3, а). К одному зерну прикрепляются несколько различных видов колоний и клеток, соседние агрегаты оказываются скреплены десятками нитей (рис. 3, б).

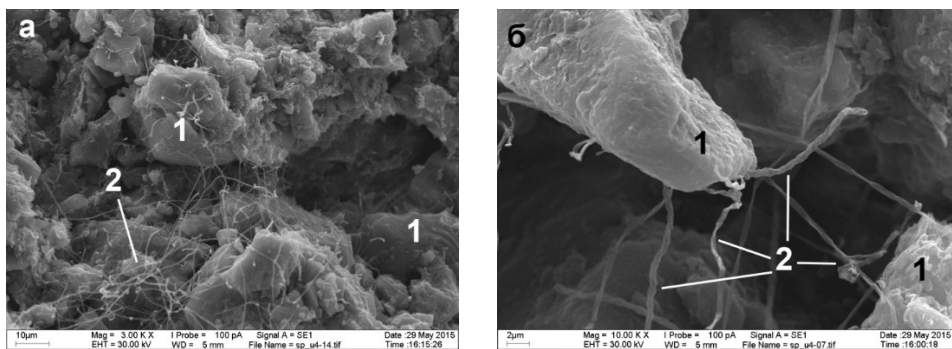
На 7 сутки после увлажнения глюкозой поверхность кварцевых зерен в песчаном грунте покрывается «матом» из колоний клеток различной формы, которые прикрепляются к глинистой рубашке зерна в отдельных точках (рис. 4, а). Колонии и клетки формируют крупные ветвящиеся нити (рис. 4, б), которые присоединяются к глинистой рубашке соседнего зерна, образуя биогенный контакт. Пространство между частицами заполняется неоднородным матриксом из биомассы и глинистого материала (рис. 4, в).



**Рис. 1. Взаимодействие мицелиальной колонии микроорганизмов (1) и крупного агрегата (2) в образце аллювиального суглинка на 7 сутки после увлажнения глюкозой. x20 000**

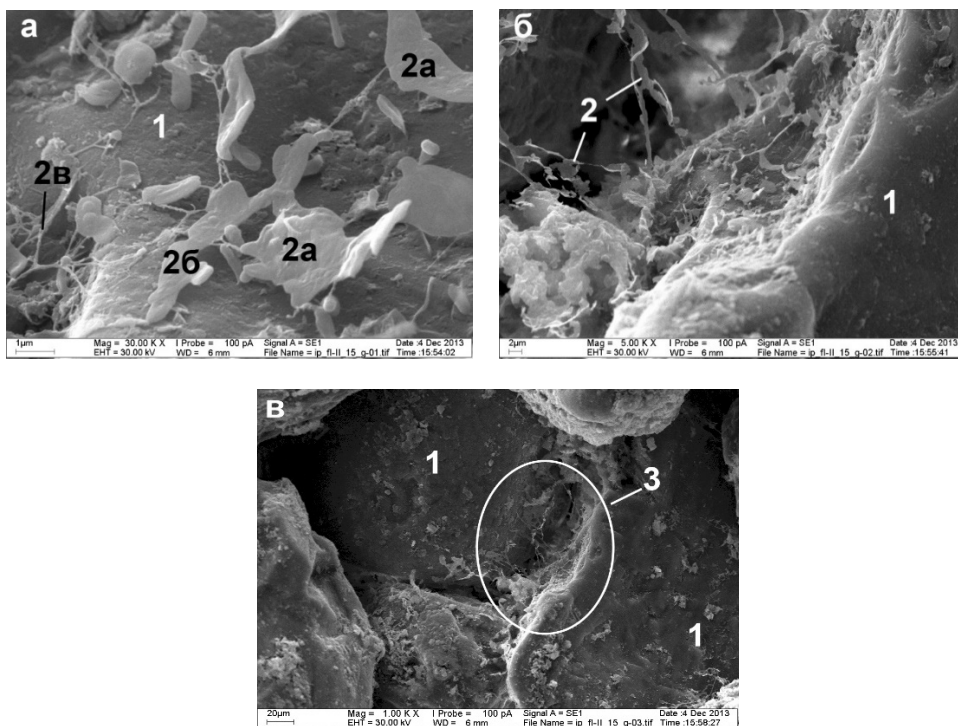


**Рис. 2. Общий вид биогенного контакта в образце морской глины юрского возраста на 7 сутки после увлажнения глюкозой: 1 – частицы грунта; 2, 3 – колонии клеток различной морфологии; 4 – места прикрепления клеток к частицам грунта. x30 000**



**Рис. 3. РЭМ-изображение структуры образца на основе аллювиального суглинка:**

*a* – крупные агрегаты из твердых частиц грунта и биомассы (x3000);  
*б* – крепление различных нитей микроорганизмов к одному зерну кварцевого состава (определен с помощью микрозонда при микроскопии) (x10 000):  
*1* – твердые частицы и агрегаты; *2* – нити микроорганизмов



**Рис. 4. РЭМ-изображение структуры природного мелкого флювиогляциального песка на 7 сутки после увлажнения глюкозой при различных увеличениях:**

*a* – 30 000; *б* – 5 000; *в* – 1 000: *1* – поверхность кварцевого зерна, покрытого «матом» из колоний и клеток (*2*) различной формы (*2a* – изометричные, *2б* – нитевидные, *2в* – мицелиальные), которые формируют био-генный контакт между соседними зёрнами (*3*)

Таким образом, в период высокой микробной активности в дисперсных грунтах исходные абиогенные контакты частично замещаются на биогенные. При этом зерна и агрегаты, которые изначально не контактировали между собой или соприкасались в одной точке, становятся связанными в нескольких точках многочисленными нитями микроорганизмов.

Биогенно обусловленные контакты невозможно четко различить на РЭМ-изображениях. Вероятно, часть связей внутри агрегатов формируется за счет органических продуктов метаболизма и выпадения биоцемента.

За счет формирования биогенных и биогенно обусловленных структурных связей в период высокой микробной активности происходит агрегация частиц грунта в макроагрегаты размером  $>0,25$  мм и микроагрегаты (0,1-0,05 мм). Увеличение содержания крупных агрегатов можно объяснить деятельностью мицелиальных организмов. Значительное увеличение содержания частиц фракции 0,1-0,05 мм следует связывать с адгезией клеток бактерий. Коэффициент агрегированности всех грунтов по И.М. Горьковой [1] уменьшился на 7-14 сутки, то есть, формирующиеся биогенные связи оказываются слабее, чем абиогенные у исходных грунтов. При уменьшении биомассы агрегаты частично распадаются, а частично удерживаются, вероятно, за счет биогенно обусловленных структурных связей [5].

Сопротивление искусственно уплотненных образцов одноосному сжатию в период высокой микробной активности за счет частичной замены абиогенных контактов биогенными и биогенно обусловленными оказывается на 20-30% ниже, чем у контрольных образцов.

Данные о прочности биогенных контактов в литературе практически отсутствуют. Существуют предположения, что они по свойствам отвечают гидрогелям, имеют модуль сдвига в диапазоне  $10^{-1} - 10^5$  Па [7]. Согласно теории прочности дисперсных грунтов [6], прочность грунта определяется количеством и прочностью индивидуальных контактов между частицами. Количество индивидуальных контактов между частицами при замене абиогенных связей на биогенные возрастает в несколько раз. Таким образом, стоит предполагать, что прочность индивидуального биогенного контакта в несколько раз меньше, чем у абиогенного.

Помимо формирования новых структурных связей в грунтах при протекании микробиологических процессов следует ожидать и их разрушения. Агрегаты, связанные непосредственно через живые клетки, будут распадаться при отмирании этих клеток. В процессе метаболизма микроорганизмы разлагают органические вещества, которые в исходном грунте могут быть фактором структурообразования. Разрушение цемента грунта, в частности, железистого, может происходить при непосредственном участии микробных клеток. Микроорганизмы получают необходимую энергию в ходе окислительно-восстановительных реакций, при которых нерастворимое трехвалентное железо переходит в растворимую двухвалентную форму, и цемент разрушается. С другой стороны, растворение цементирующих соединений возможно при участии побочных продуктов жизнедеятельности организмов (углекислого газа, агрессивных кислот, спиртов, хелатообразователей и других органиче-



ских веществ). Таким образом, стоит говорить не только о создании биогенных и биогенно обусловленных структурных связей в грунтах с высокой микробиологической активностью, но и о разрушении существующих структурных связей непосредственно за счет клеток микроорганизмов и побочных продуктов метаболизма.

*Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ 14-05-3157. Исследования проведены с применением оборудования, приобретенного в рамках реализации Программы развития Московского университета.*

#### Литература

1. Горькова И.М. Физико-химические исследования дисперсных осадочных пород в строительных целях. М.: Стройиздат, 1975. 151 с.
2. Грунтоведение / Под ред. В.Т.Трофимова. М.: Изд-во МГУ, Наука, 2005. 1024 с.
3. Дашко Р.Э., Власов Д.Ю., Шидловская А.В. Геотехника и подземная микробиота. Институт «ПИ Георекострукция». Санкт-Петербург, 2014. 280 с.
4. Звягинцев Д. Г. Почва и микроорганизмы. М.: Изд-во МГУ, 1987. 256 с.
5. Иванов П.В., Николаева С.К., Манучарова Н.А., Горшколепов О.И. Изменение микроагрегатного состава техногенного грунта при активизации функционального микробного комплекса // Инженерная геология. 2014. №5. С. 50-55.
6. Осипов В.И., Соколов В.Н., Румянцева Н.А. Микроструктура глинистых пород / Под ред. Е.М. Сергеева. М.: «Недра», 1989. 211 с.
7. Atekwana Est. A., Werkema D. D., Atekwana El. A. Biogeophysics: the Effects of Microbial Processes on Geophysical Properties of the Shallow Subsurface // Applied Hydrogeophysics. NATO Science Series. 2006. Vol. 71. pp 161-193.
8. Bearden B.N., Petersen L. Influence of arbuscular mycorrhizal fungi on soil structure and aggregate stability of a vertisol // Plant and Soil. 2000. 218. pp. 173-183.
9. Bronick C.J., Lal R. Soil structure and management: a review // Geoderma. 2005. 124. pp. 3-22.

### ПЛАСТИЧНОСТЬ ГЛИНИСТЫХ ГРУНТОВ В СВЕТЕ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКОЙ ТЕОРИИ ЭФФЕКТИВНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ

**Ф.С. Карпенко, В.Н. Кутергин, Р.Г. Кальбергенов,  
О.В. Сереброва**

Институт геоэкологии им. Е.М. Сергеева РАН, Уланский пер., 13, стр. 2,  
Москва, 101000, Россия; E-mail: vank@bk.ru

Основным свойством глин, выделяющих их среди других пород, является их пластичность. Показатели пластичности применяются для классификации глинистых грунтов, поэтому крайне важными являются методические вопросы их определения.

Определение пределов пластичности грунтов в отечественной практике базируется на научно-методических разработках П.А. Ребиндера [6] и регламентируется требованиями ГОСТ 5180-84. При проведении анализа определяются нижний ( $W_p$ ) и верхний ( $W_L$ ) пределы пластичности, также называемые соответственно пределом пластичности и пределом текучести. Определение  $W_p$  проводится методом раскатывания в шнур, определение  $W_L$  – методом конуса А.М. Васильева. По результатам определения рассчитываются число пластичности ( $I_p$ ) и показатель текучести ( $I_L$ ).

В зарубежной практике (регламентируется требованиями ISO/TS 17892-12:2004(E), NS 8003, ASTM D 4318-95a и BS 1377/1990) определение нижнего предела пластичности проводится аналогично российским нормам, а для определения верхнего предела применяются метод падения конуса и метод А. Casagrande. По результатам анализа определяются показатели LL (liquid limit) и PL (plastic limit). Расчетным путем определяется значения показателя PI (plasticity index).

Определение предела пластичности в различных нормативных документах проводится по одинаковой методике, соответственно и результаты испытаний практически идентичны. Отличия методик определения предела текучести приводит к существенным различиям результатов испытаний. Сопоставление результатов определения показателей пластичности, выполненных по различным нормативным методикам, было проведено и результаты подробно рассмотрены авторами ранее [5]. В целом, надо отметить, что значения пределов текучести, определенные по разным методикам, существенно различаются, при этом значение liquid limit (LL) всегда больше значения предела текучести ( $W_L$ ). Соотношение их величин меняется для различных регионов и разных видов грунтов, так что общего объективного сопоставления результатов не может быть проведено.

Для того чтобы понять сущность существующих разногласий, необходимо проанализировать, в чем заключается природа процессов, определяющих различное состояние грунтов. Прямого определения, что понимается под понятиями пределов пластичности, не существует. В общем смысле подразумевается, что нижний и верхний пределы пластичности соответствуют предельным значениям влажности глинистого грунта, при превышении которых грунт, соответственно, переходит из твердого в пластичное, и из пластичного в текучее состояние. Отсутствие четких критериев этих понятий приводит к тому, что на практике одна и та же по смыслу характеристика свойств глинистых грунтов, определяемая разными методами, имеет различные значения.

Определить смысл этих характеристик позволяют современные представления о строении и свойствах глин, сформулированные в физико-химической теории эффективных напряжений в грунтах, разработанной В.И. Осиповым [3, 4], объединившей и развивающей положения теории ДЛФО, теории контактных взаимодействий П.А. Ребиндера и теории расклинивающего действия граничных пленок Б.В. Дерягина. В соответствии с положениями этой теории, структурообразование глин происходит за счет образования контактов между минеральными частицами, формирующихся в

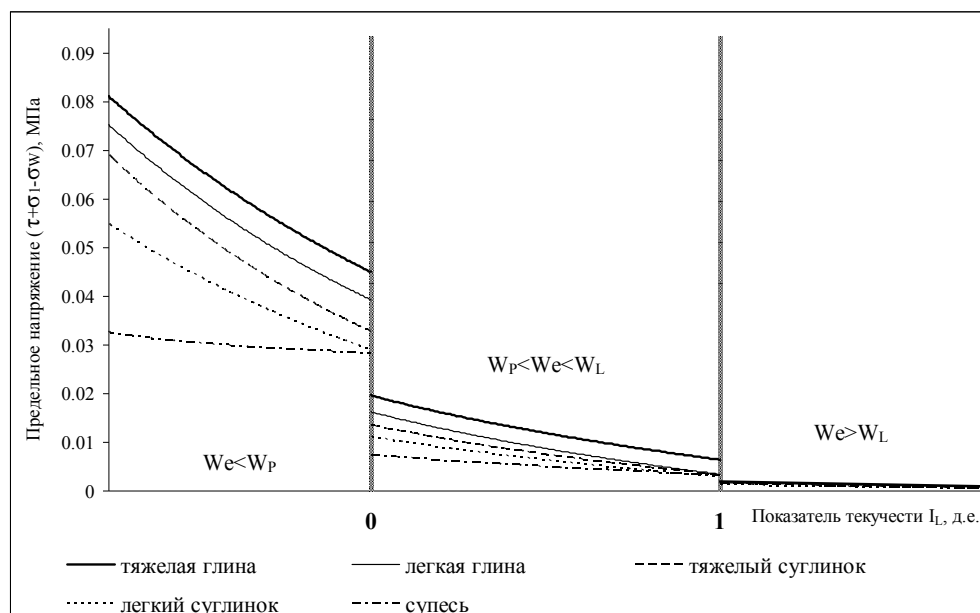
результате взаимодействия сил притяжения и отталкивания между частицами и расклинивающего действия их гидратных пленок. Преобладание каждого из типов контактов – дальнего коагуляционного, ближнего коагуляционного или точечного в структуре глины зависит от количества влаги и определяет ее агрегатное состояние – текучее, пластичное или твердое, соответственно. Внешние эффективные напряжения, действующие в грунте при воздействии нагрузок, передаются на структурные контакты и компенсируются расклинивающим действием гидратных пленок. Суммарное напряжение от внешних нагрузок, при котором происходит разрушение контакта, определяет его прочность. Каждый тип контактов характеризуется своей предельной прочностью; влажность грунта, при которой происходит изменение прочности присущих ему структурных контактов, определяет значения пределов пластичности, при которых происходит переход глины из текучего состояния в пластичное и твердое.

Оценить величину предельной прочности контактов позволяют испытания грунтов методом прямого или чистого сдвига (скашивания). Сущность этого метода заключается в приложении к образцу грунта сдвигающей нагрузки в условиях невозможности изменения объема грунта. При таких нагрузках не происходит нарушения целостности грунта и перемещения одной его части относительно другой, а деформации происходят только за счет перемещения частиц дисперсной фазы относительно друг друга при изменении формы образца. Сопrotивление грунта сдвигу в этом случае определяется не механической прочностью грунта, а именно прочностью его структурных связей. Приложенные нагрузки равномерно распределяются по всему объему испытываемого грунта, что позволяет утверждать, что максимальное общее эффективное напряжение в образце во время испытания соответствует сумме предельных напряжений на контактах в этом грунте.

Экспериментальные исследования, проведенные авторами, позволили оценить общие напряжения при разрушении по методу прямого сдвига для разновидностей глинистых грунтов и определить граничные значения влажности, при которых происходит резкое изменение напряжений. В качестве объекта исследований использовались глинистые грунты Московского региона (g II ms). Испытания проводились на искусственных монолитах, изготовленных из грунтовой пасты тяжелых и легких глин и суглинков и супесей различной влажности и заданной плотности с условием полного водонасыщения грунта. Проведенные исследования, результаты которых графически показаны на рис. 1, позволили определить основные закономерности зависимости предельных общих эффективных напряжений в глинистых грунтах от влажности.

Все исследованные разновидности глинистых грунтов испытывались в текучем состоянии, при влажности грунта ( $W_e$ ), превышающей предел текучести ( $W_e > W_L$ ), пластичном ( $W_p < W_e < W_L$ ) и твердом ( $W_e < W_p$ ). В соответствии с теорией эффективных контактных напряжений предельные общие эффективные напряжения определялись как сумма касательного ( $\tau$ ) и нормального ( $\sigma_1$ ) напряжений в момент разрушения структурных связей в образ-

це за вычетом порового давления ( $\sigma_w$ ). Поровое давление возникает в грунте при приложении к нему нормального напряжения и остается постоянным в течение всего испытания, что подтверждает неизменность объема образца при испытаниях по схеме прямого сдвига (скашивания). Величина предельного общего эффективного напряжения является постоянной для каждого грунта и не зависит от величины нормального напряжения. Проведенные испытания (всего около 1000 испытаний) подтверждают, что увеличение нормального напряжения при испытаниях прочности структурных связей глинистых грунтов методом скашивания приводит к закономерному снижению касательного напряжения и росту порового давления так, что суммарная величина эффективных напряжений при разрушении структурных связей грунта остается постоянной.



**Рис. 1. Зависимость предельных общих эффективных напряжений в глинистых грунтах от влажности**

Результаты проведенных исследований показали, что предельные общие эффективные напряжения в образце для каждой разновидности глинистых грунтов закономерно увеличиваются при понижении влажности грунта, что связано с уменьшением толщины гидратных пленок и, соответственно, снижению их расклинивающего давления. Для всех разновидностей грунтов отмечается два участка, где такое увеличение напряжений носит резкий, скачкообразный характер. Это происходит при влажности грунтов, равной влажности пределов текучести и пластичности, определяемых по отечественной методике.

Из приведенных материалов видно, что величина предельных напряжений закономерно снижается в ряду: тяжелые глины – легкие глины – тяжелые суглинки – легкие суглинки – супеси независимо от влажности грунта. Это обусловлено составом исследованных грунтов, а именно, количеством глинистых частиц в них, а, следовательно, и количеством структурных контактов.

Результаты экспериментальных данных отвечают положениям физико-химической теории контактных взаимодействий и соответствуют классификации глинистых пород по типу структурных связей В.И. Осипова [1, 2]. В соответствии с этими положениями, на стадии седиментогенеза и раннего диагенеза в глинах преобладают наименее прочные и устойчивые дальние коагуляционные контакты, что обуславливает их текучее состояние. На стадии среднего диагенеза в глинах формируются и преобладают в структуре более прочные ближние коагуляционные контакты, а глины приобретают пластичные свойства. На стадии позднего диагенеза и в начале катагенеза в строении глин преобладают точечные переходные контакты, имеющие наибольшую прочность, что соответствует твердому состоянию глин. Полученные результаты показывают, что выделенные границы соответствуют пределам текучести ( $W_L$ ) и пластичности ( $W_P$ ); на границе же liquid limit (LL), определяемой по иностранным методикам каких либо изменений напряжений в глинистых грунтах не происходит. Очевидно, это связано с тем, что при влажностях, соответствующих величине LL грунт заведомо находится в текучем состоянии, при этом отличие значения LL от значения влажности, при котором в грунте происходит резкое изменение предельных напряжений, вызванных изменением преобладающего типа структурных контактов, меняется в зависимости от самого грунта. Именно с этим и связана невозможность однозначного сопоставления результатов определений показателей LL и  $W_L$ , что уже отмечалось выше.

Приведенные данные позволяют утверждать, что границы предела текучести ( $W_L$ ) и предела пластичности ( $W_P$ ), определенные по отечественным методикам и нормам ГОСТ, действительно соответствуют предельным значениям влажности, при которых происходит изменение состояния глин из текучего в пластичное и твердое. Физико-химическая сущность показателя liquid limit, применяемого в методиках ASTM и близких ему ISO и BS, остается неопределенной.

Результаты проведенных исследований, кроме того, что позволяют судить об обоснованности методов определения показателей пластичности глинистых грунтов, имеют и другое важное практическое значение. Как уже было сказано выше, общие предельные эффективные напряжения в грунте при испытаниях по схеме прямого сдвига являются суммой предельных напряжений на всех структурных контактах в данном объеме грунта. Следовательно, определив величину расклинивающего действия гидратных пленок, на основе полученных данных можно охарактеризовать суммарную величину эффективных напряжений на контактах, а, определив количество и площадь контактов, – величину эффективных напряжений на единичном контакте для каждой разновидности грунта. Такие данные позволят экспериментально

обосновать основные положения физико-химической теории эффективных напряжений в грунтах.

#### Литература

1. *Осипов В.И.* Природа прочностных и деформационных свойств глинистых пород. М.: Издательство Московского университета, 1979, 232 с.
2. *Осипов В.И.* Литогенез и формирование свойств грунтов. Тр. 27-й сессии Международного геологического конгресса. Т. 17 // Инженерная геология. 1984. С. 45-51.
3. *Осипов В.И.* Физико-химическая теория эффективных напряжений в грунтах. М.: Учреждение ИГЭ РАН, 2012. 74 с.
4. *Осипов В.И., Соколов В.Н.* Глины и их свойства. Состав, строение и формирование фвойств. М.: ГЕОС. 2013. 576 с.
5. *Осипов В.И., Карпенко Ф.С., Кальбергенов Р.Г., Кутергин В.Н.* Гармонизация отечественного и зарубежных стандартов по классификации дисперсных грунтов. Геоэкология. Инженерная геология. Гидрогеология. Геокриология. 2012, № 2. С. 102-125.
6. *Рибиндер П.А., Семенов Н.А.* О методике погружения конуса для характеристики структурно-механических свойств пластично-вязких тел. Доклады АН СССР, т. 64, 1949.

### ХАРАКТЕРИСТИКА СОСТАВА ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ ОЗЕРА СЕЛИГЕР И ИВАНЬКОВСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА

**Н.В. Коломийцев<sup>1</sup>, Б.И. Корженевский<sup>1</sup>, Т.И. Аверкина<sup>2</sup>, Е.Н. Самарин<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> Всероссийский научно-исследовательский институт гидротехники и мелиорации имени А.Н. Костякова, 127550, г. Москва, ул. Большая Академическая, 44, корп. 2,  
E-mail: kolomiytsev@vniigim.ru

<sup>2</sup> МГУ им. М.В. Ломоносова, геологический факультет, кафедра инженерной и экологической геологии, 119991, г. Москва, ГСП-1, Ленинские горы, д. 1, E-mail: averkina@geolmsu.ru

Исследование донных отложений (ДО) является важнейшим аспектом изучения экологического состояния водных объектов. ДО наиболее адекватно отражают их современное состояние и несут информацию о загрязнении вследствие инженерно-хозяйственной деятельности на данной территории. Состав поступающих в грунты тяжелых металлов определяется видом антропогенной деятельности. Городское строительство и коммунальное хозяйство, промышленность, горные разработки, сельское хозяйство и др. способствуют поступлению и аккумуляции загрязняющих веществ в ДО близлежащих поверхностных водотоков.

Верхняя часть литосферы (почвы, горные породы, донные отложения поверхностных водотоков и водоемов) играет роль аккумулятора и трансформатора техногенного воздействия и является индикатором его уровня. Практически для всех освоенных территорий в аквальных ландшафтах происходит формирование литогеохимических аномалий в ДО. Спецификой этих

аномалий является тонкодисперсный состав осадков, их повышенная пластичность, наличие частиц техногенного происхождения, маслянистость.

В качестве объекта исследования было выбрано озеро Селигер, являющееся естественным регулятором стока верхней Волги. Озеро имеет постоянный сток в Волгу. Оно образовалось после Валдайского оледенения. Его возраст составляет примерно 12 тыс. лет. Озеро имеет сложную лопастную конфигурацию, расчленено на многочисленные плесы, соединенные между собой протоками различной длины и ширины. Самые крупные плесы – Осташковский (Городской или Слободской), Полновский, Кравотынский, Селижаровский и Березовский. Каждый плес характеризуется своими собственными гидрохимическими условиями и имеет собственный гидрологический режим, что находит отражение и в разнообразии ДО [2]. Это позволяет в рамках одного природного объекта изучить практически весь спектр озерных ДО данной природно-климатической зоны. Озеро Селигер во многом определяет экологическое состояние верхней Волги на участке Селижарово – Ржев – Тверь – Ивановское водохранилище, которое также являлось объектом исследований. При выполнении полевых работ было отобрано 26 проб ДО озера Селигер и 24 пробы ДО Ивановского водохранилища. Для определения степени загрязнения ДО тяжелыми металлами была использована германская методика [1], в основе которой лежит выделение из каждой пробы ДО «сорбирующей фракции» размером менее 0,020 мм.

Почвы изученного района в целом характеризуются слабой дифференциацией щелочно-кислотных условий: значения pH варьируются в пределах 7,0-8,5. Этим во многом объясняется слабая подвижность и растворимость соединений тяжелых металлов. Содержание наиболее интересующих нас элементов – 1-го класса опасности (кадмий, свинец, ртуть и цинк) в основных депонирующих средах (почвы, снег, подземные воды и донные отложения фоновых участков) показывает, что ртуть практически не определяется, т.е. ее содержание ниже точности определения, а другие элементы содержатся на уровне фоновых значений. Подземные воды преимущественно гидрокарбонатные магниевые-кальциевые и кальциевые не загрязнены указанными выше металлами. Воды верхней Волги и озера Селигер также не загрязнены. Значения концентраций Cd и Pb находятся на пределе точности определения всеми известными методами. Высокие значения pH способствуют закреплению тяжелых металлов в водовмещающих породах, почвах и ДО. Таким образом, основное загрязнение ДО верхней Волги от истока до Ивановского водохранилища связано со сбросом сточных вод промышленных зон и городских очистных сооружений. В последние годы все большее значение приобретает поступление загрязняющих веществ с неорганизованным поверхностным стоком (смыв с городских территорий и эрозионное поступление взвешенных веществ). Район верхней Волги является рекреационной зоной, где расположены многочисленные турбазы и дома отдыха; «дикие стоянки» автотуристов также являются одной из главных причин несосредоточенного поступления загрязняющих веществ. Значительное количество горюче-смазочных материалов попадает в воды водохранилищ и озера Селигер от

маломерного водного транспорта, который используют рыбаки, охотники и туристы.

Авторами выполнены детальные работы по определению гранулометрического и микроагрегатного составов ДО озера Селигер и Иваньковского водохранилища с притоками, проведены минералогические исследования, определены удельная поверхность проб и содержание органического вещества. Произведен сравнительный анализ состава ДО озера Селигер и Иваньковского водохранилища. Дополнительно отрабатываются методические вопросы и приемы определения состава ДО, что позволит обоснованно рекомендовать их для включения в общую методику изучения загрязнения ДО водных объектов.

Изучение минерального состава донных отложений проводилось методом рентгеновской дифрактометрии. Минеральный состав ДО озера Селигер достаточно однороден и вполне соответствует продуктам переработки четвертичных ледниковых отложений. В песчаной фракции осадков преобладает кварц, в значительно меньшей степени представлены полевой шпат (микроклин), роговая обманка и альбит. Глинистая составляющая представлена иллитом, гидрослюдой, каолинитом и хлоритом. Исследования показали повышенное содержание рентгеноаморфного вещества, значения которого в озере Селигер достигают 76%.

Минеральный состав ДО Иваньковского водохранилища также однороден. В песчаной фракции преобладает кварц; альбит, микроклин и доломит входят в состав песчаной и пылевой фракции; глинистая фракция представлена смектитом, каолинитом, иллитом и хлоритом. Рентгеноструктурный анализ показал, что содержание рентгеноаморфного вещества достигает 39%.

Сравнивая минеральный состав ДО озера Селигер и Иваньковского водохранилища необходимо отметить некоторые различия между ними. Озеро Селигер «вложено» в ледниковые отложения, продукты переработки которых формируют минеральный состав ДО. В Иваньковском водохранилище в состав ДО вносят вклад не только продукты размыва ледниковых отложений, но и эродированных р. Волгой юрских глин и отложений каменноугольной системы.

Изучение микроагрегатного состава на образцах с естественной влажностью проводилось пипеточным методом, с предварительным замачиванием по методу Н.А. Качинского (ГОСТ 12536-79). В результате построения интегральной кривой микроагрегатного состава определялось содержание «сорбирующей» фракции (менее 0,020 мм) в каждой пробе. Исследование гранулометрического состава ДО также проводилось на образцах с естественной влажностью пипеточным методом с предварительной подготовкой грунта по методике П.Ф. Мельникова (диспергация путем растирания с пирофосфатом натрия). Также было проведено исследование гранулометрического состава минеральной части осадков, при котором органическую составляющую грунта предварительно отмывали, растворяя ее 1%-м раствором щелочи (NaOH).

В результате проведенных исследований установлено, что гранулометрический и микроагрегатный составы ДО озера Селигер и Иваньковского во-



доохранилища не столь однообразны и существенно изменяются по площади и глубине водоемов. На Селигере по грансоставу минеральной части исследованные образцы варьируются от песка связного до суглинка среднего (по классификации Н.А. Качинского). В микроагрегатном составе преобладает песчаная фракция (более 0,050 мм). Содержание «сорбирующей» фракции изменяется в образцах очень сильно – от 4 до 46%. При этом во всех пробах эта фракция сложена преимущественно пылеватыми частицами.

В ДО Иваньковского водохранилища исследованные образцы по гранулометрическому составу варьируются в широких пределах от песка рыхлого до глины средней (по классификации Н.А. Качинского), причем песчаные разности приурочены либо к притокам, либо к небольшим глубинам водохранилища. Отметим, что на Селигере ни один из образцов не попал в категорию глин, а среди образцов из водохранилища таких довольно много.

Микроагрегатный состав исследуемых образцов варьируется в широком диапазоне: песчаная фракция (более 0,050 мм) составляет от 10 до 99%, пылеватая (0,050 – 0,001 мм) – от 6 до 81% и глинистая фракция – от 0 до 15%. Содержание «сорбирующей» фракции изменяется весьма значительно от 1 до 66%, при этом во всех пробах эта фракция сложена преимущественно пылеватыми частицами.

Выявленная зависимость на Иваньковском водохранилище хорошо согласуется с известными закономерностями осадконакопления (по Д.И. Наливкину). По этим данным зональность озер представлена в общем случае: у линии прибоя – линией береговых валов и дюн, ниже – сравнительно узкой полосой галечников и песков, глубже следует сравнительно широкая зона смешанных осадков – глинистых песков, песчаных глин, алевритов; большая часть ДО озера представляет собой зону илов. Рассматривая водохранилище как участок реки, схожий по своим чертам с медленной большой равнинной рекой, необходимо отметить, что по имеющимся научным данным, в руслах рек подобного типа преобладают тонкозернистые пески, алевриты и глины. Вместе с тем, косая слоистость, характерная для отложений быстрых рек, в реках рассматриваемого типа часто отсутствует, либо становится более полой.

Содержание органического вещества определялось оксидиметрическим методом в соответствии с ГОСТ 23740-79. Результаты проведенных опытов показали, что содержание органического вещества в ДО озера Селигер изменяется в значительных пределах – от 3,4 до 27,5%, а в ДО Иваньковского водохранилища варьируется от 1,1 до 8,8%.

Содержание органического вещества в ДО приплотинной части водохранилища меняется от 3,7 до 8,8% и в целом увеличивается с глубиной, хотя эта зависимость не очень четкая. Подобную картину можно объяснить влиянием техногенных факторов. Известно, что с глубокими частями водохранилища связан фарватер, движение судов по которому, а также периодическая чистка, нарушают естественный режим седиментации.

В обоих случаях минимальные содержания органического вещества соответствуют песчаным разностям осадков. Наиболее гумусированные образ-

цы в Иваньковском водохранилище приурочены, главным образом, к приплотинной части. На Селигере не выявлены четкие закономерности в распределении органического вещества.

#### Литература

1. Коломийцев Н.В., Корженевский Б.И., Ильина Т.А., Аверкина Т.И., Самарин Е.Н., Иванов Г.Н., Мюллер Г., Яхья А. Загрязнение водных экосистем озера Селигер тяжелыми металлами // Мелиорация и водное хозяйство, 2004, № 5, с. 43 – 46.

2. Косов В.И., Косова И.В., Левинский В.В., Иванов Г.Н., Хильченко А.И. Исследование распределения тяжелых металлов в донных отложениях оз. Селигер // Водные ресурсы, 2004, том 31, № 1, с. 51-59.

## ОСОБЕННОСТИ ОЦЕНКИ ПОВЕДЕНИЯ ГРУНТОВ В ОСНОВАНИИ ИНЖЕНЕРНЫХ СООРУЖЕНИЙ С УЧЕТОМ ТЕХНОГЕННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ

Э.К. Кузахметова

Московский государственный университет путей сообщения (МИИТ)  
Москва, ул. Образцова, дом 9, стр. 9. E-mail: Kuzahmet-m@mail.ru

В настоящее время все больше внимания при назначении конструкции инженерных сооружений уделяется учету работы системы «сооружение – грунт». Создание «совместного» расчета (индивидуальное проектирование) взамен «раздельного» расчета сооружения и его грунтового основания (типовое проектирование) оказало стимулирующее влияние на развитие многих направлений исследований поведения грунтов в зоне действия сооружения. Учеными были предложены теоретически обоснованные методы расчетов конструкции сооружений, позволяющие учитывать влияние на деформации грунтов в основании таких внешних факторов, как нагрузки, геометрии сооружения и темпов его строительства и др., и таких внутренних факторов, как предыстория нагружения, состояние и свойства грунтов, нелинейность их механических свойств и т.д. Их внедрение обеспечивалось разработкой нормативных документов по инженерным изысканиям и проектированию зданий и сооружений, а также автомобильных и железных дорог.

Исследования автора посвящены изучению характера вертикальных деформаций грунтового массива в активной зоне сжатия. Сжатие грунта предопределяется, с одной стороны, его исходной структурой, составом, состоянием и свойствами; с другой стороны, новым напряженно-деформированным состоянием, вызванным возведением сооружения, изменениями температурного, водного режимов и условиями фильтрации поровой воды. При этом нарушение равновесного состояния грунтов влечет за собой нарушение их

природной структуры и создание новой – техногенной со своими особенностями.

В связи с отмеченным, автор проанализировала правомочность использования методик определения показателей физико-механических свойств грунтов и расчетов, разработанных на базе классической механики грунтов. В настоящее время используются следующие критерии начала сжимаемости грунта и фильтрации поровой воды: структурная прочность грунта на сжатие и начальный градиент фильтрации.

Напомним, что структурная прочность грунта на сжатие ( $\sigma_{стр}$ ) делит всю толщу на две области уплотнения. Для полностью водонасыщенных грунтов: область, в которой практически отсутствует деформации (пассивная зона), и область интенсивного уплотнения за счет отжатия поровой воды (активная зона). Для неполностью водонасыщенных грунтов: область незначительного сжатия за счет смыкания микротрещин и отжатия воздуха (пассивная зона) и область интенсивного уплотнения за счет частичного отжатия воды и вязких деформаций скелета грунта (активная зона).

Кроме  $\sigma_{стр}$ , существенно влияет на сжимаемость фильтрационная способность грунта, которая в настоящее время определяется на основе закона фильтрации Дарси. В соответствии с его уточнением, фильтрация воды может начаться при создании градиента напора в поровом пространстве больше начального градиента фильтрации ( $J_0$ ). Следует обратить внимание на то, что закон фильтрации Дарси с поправкой на начальный градиент фильтрации выведен для условия движения воды при неподвижном скелете грунта, т.е. при неизменной его пористости. При прогнозе осадки грунтовой толщи мы имеем дело с уплотнением грунта, то есть с изменением его пористости. Для анализа вышеуказанных различий обратимся к схемам испытаний на фильтрацию и на компрессию.

Схема испытаний на фильтрацию: вода фильтрует через образец грунта (цилиндрической формы в жесткой обойме) полностью водонасыщенного за счет разности напоров, создаваемых водой в трубах фильтрационного прибора. Схема испытаний на компрессию и консолидацию: вода отжимается из образца грунта (цилиндрической формы в жесткой обойме) в результате приложения нагрузки через жесткий штамп компрессионного прибора.

В первой схеме давление столба воды испытывает одна фаза грунта (жидкая), что вызывает ее движение в порах неподвижного скелета. Во второй схеме давление через жесткий штамп перераспределяется на все фазы грунта (жидкая, твердая, газообразная), что вызывает их взаимное перемещение и отжатие воды, следствием чего является уменьшение пористости грунта.

Видим, что испытание на фильтрацию, если испытывается образец грунта ненарушенной структуры, моделирует условия движения воды в грунтовой толще в ее природном состоянии. Современные нормы предусматривают испытания на фильтрацию и уплотненных образцов грунта под той или иной нагрузкой. Но в этом случае в порах грунта может иметь место остаточное поровое давление. Не совсем ясно, что же тогда принимать за начальный

градиент фильтрации. Этот вопрос требует отдельного рассмотрения. Видим, что испытание на компрессию образца грунта ненарушенной структуры моделирует сжатие грунта в основании под нагрузкой от веса сооружения.

Из проведенного анализа сущности рассматриваемых процессов можно сделать следующие выводы:

1) коэффициент фильтрации и начальный градиент фильтрации должны использоваться при решении фильтрационных задач для грунтового массива;

2) для инженерных задач, связанных с оценкой сжимаемости грунтов и фильтрации поровой воды под нагрузкой от веса сооружения, то есть в результате техногенного воздействия, должны применяться иные критерии начала сжатия грунта и начала отжатия из него поровой воды.

Последнее весьма важно для слабых грунтов, которые, как правило, являются сильно сжимаемыми и находятся в полностью водонасыщенном состоянии.

На основании теоретических и экспериментальных исследований осадки слабых грунтов в основании земляного полотна автомобильных дорог автор в качестве критерия начала фильтрационно-консолидационного процесса предлагает «нагрузку начала фильтрационной консолидации» ( $\sigma_{\phi}$ ). Физическая сущность критерия  $\sigma_{\phi}$  заключается в том, что при превышении возникающими от веса сооружений напряжений в грунте ( $\sigma_{zi}$ ) его значения, преодолевается структурная прочность грунта на сжатие (если грунт обладает таким свойством) и в поровой воде создается градиент напора, достаточный для ее отжатия. Таким образом,  $\sigma_{\phi}$  позволяет выделить в грунтовой основе активную зону сжатия и такую ее часть, в которой создаются условия для отжатия и фильтрации поровой воды, т.е. условия открытой системы. Но могут быть и такие случаи, когда нагрузка от веса сооружения не обеспечит превышение  $\sigma_{\phi}$ , т.е. не будут созданы условия для отжатия поровой воды в какой-то части активной зоны сжатия. Значит грунт в такой части будет работать в условиях закрытой системы. Подобное уточнение условий фильтрации воды в зоне действия сооружения, безусловно, повышает точность прогнозирования осадки. Ведь для открытой и закрытой системы испытания и расчетные формулы различны. Следовательно, и полученные результаты будут существенно отличаться друг от друга.

Важным в предложенном автором подходе является еще и уточнение определения пути фильтрации отжимаемой из толщи воды. В соответствии с общепринятой в настоящее время методикой прогноза осадки, путь фильтрации принимается равным толщине слоя при односторонней фильтрации и половине – при двусторонней. Значит его величина диктуется условиями дренирования в природном состоянии до возведения сооружения. При использовании нового критерия условий сжимаемости грунтового основания ( $\sigma_{\phi}$ ) путь фильтрации предопределяется частью слоя в активной зоне сжатия, работающей в открытой системе. Значит его величина диктуется условиями работы грунта в основании под влиянием сооружения. При реализации на практике такого подхода для испытаний по открытой системе может быть

использована гостированная методика испытаний на компрессию и консолидацию.

Что касается формул для расчета осадки, то, как показали дальнейшие исследования автора физико-механических процессов, происходящих в грунте при его уплотнении, они должны быть изменены. Обратимся к фазовой модели грунта Н.М. Герсеванова. Согласно этой модели, объем жидкой и газообразной фазы равен разности объема единицы измерения (куба) и объема твердой фазы, которая предопределяется геометрическими размерами. В действительности же при уплотнении происходит сложное по природе взаимодействие жидкой, твердой и газообразной фазы. В результате некоторые поры оказываются замкнутыми. В связи с этим поровое пространство правильнее делить на активную и пассивную пористость. Понятия «активной» и «пассивной» пористости учеными рассматриваются при исследованиях структуры грунтов (к примеру, А.К.Ларионов) и строения кристаллической решетки скелета грунта (В.И. Осипов). Автор сочла необходимым ввести эти понятия при оценке сжимаемости грунтов, что так же, как и новые критерии сжатия и фильтрации, направлено на повышение точности прогноза возможной деформации грунтового основания.

Активная пористость проявляется в испытаниях на компрессию. Её величина предопределяется соотношением состояния грунта и величины приложенного давления. Поэтому по результатам каждого конкретного испытания грунтов по компрессионной кривой можно судить о влиянии на сжимаемость именно «активной» пористости, а не общей геометрической. Сравнительные расчеты осадки, выполненные автором для нескольких разновидностей связных грунтов, показали следующее. Для минеральных грунтов разница в величинах осадки, рассчитанных исходя из геометрической пористости и активной, не превышает точности прогноза осадки. В аналогичных условиях (высота насыпи, толщина слоя в основании) для органоминеральных и органических грунтов разница в величинах осадки значительно превышает точность прогноза, и с этим, разумеется, необходимо считаться.

Поэтому автором были уточнены формулы для прогнозирования осадки слабых грунтов в активной зоне сжатия в основании под нагрузкой от веса сооружения:

$$V_{\phi} = K_{\phi} \frac{\partial(u/\rho_w)}{\partial z} \quad (1)$$

$$s = \frac{e_1 - e_{\text{акт}}}{1 + e_1} \times H \quad (2)$$

где  $V_{\phi}$  – (фазовая) скорость перемещения воды при уплотнении грунта;

$K_{\phi}^1$  – коэффициент фильтрации при одномерной консолидации;

$$\frac{\partial(u/\rho_w)}{\partial z}$$

– изменение давления в поровой воде;  $s$  – осадка;  $e_1$  – начальный коэффициент пористости,  $e_{\text{акт}}$  – коэффициент активной пористости,

$H$  – толщина слабого слоя.

Из вышеизложенного вытекает обоснованный вывод, что техногенное воздействие на грунты в основании инженерных сооружений обязывает анализировать правомочность применения общепринятых понятий, параметров, методик испытаний и расчетных формул с целью повышения точности прогнозирования поведения грунтов в новом напряженно-деформированном состоянии. Сделанный вывод дает основание разделить показатели физико-механических свойств связных грунтов на две группы: природно-ситуационные и техногенно-ситуационные. «Ситуационные» (по М.Н. Гольдштейну) означает привязку к конкретным условиям строительства. Исследования свойств и поведения грунтов последней группы можно считать техногенным направлением в прикладной механике грунтов. В качестве иллюстрации приведена табл. 1.

Таблица 1

**Параметры свойств грунтов в существующем и предлагаемом подходах**

| № п/п | Параметр в существующем подходе   | Параметр в предлагаемом подходе |   |
|-------|---|---------------------------------|---|
|       |   | Природный                       | Техногенный   |
| 1     | Начальный градиент фильтрации $J_0$   | $J_0$                           | Нагрузка начала фильтрационной консолидации $\sigma_\phi$   |
| 2     | Путь фильтрации воды (при одностороннем дренировании) в активной зоне сжатия $H_\phi$ | $H_\phi$                        | Часть активной зоны сжатия, работающая в условиях открытой системы $H'_\phi$ (при одностороннем дренировании) |
| 3     | Коэффициент фильтрации по Дарси $K_\phi$  | $K_\phi$                        | Рассчитанный коэффициент фильтрации из опыта на консолидацию $K'_\phi$  |
| 4     | Коэффициент пористости $e$  | $e$                             | Коэффициент активной пористости $e_{акт}$   |

Таким образом, в процессе инженерно-геологических изысканий должны определяться природные и техногенные показатели физико-механических свойств грунтов с сохранением генетического подхода Е.М. Сергеева.

Часть из вышеописанных разработок по оценке поведения слабых грунтов и прогнозу их осадки в условиях одномерного сжатия с помощью новых критериев используется для практических расчетов и изложена в отраслевых документах. По некоторым позициям и положениям теоретические и экспериментальные исследования продолжаются.

**Литература**

1. Гольдштейн М.Н. «Механические свойства грунтов». М.: Стройиздат, 1973
2. Кузахметова Э.К. «Новый подход к прогнозу деформаций системы «сооружение-слабый грунт» с учетом современных тенденций в строительстве» // Транспортное строительство №10, 2004.
3. Кузахметова Э.К. «Учет взаимодействия инженерного сооружения и грунта на основе критериев сжимаемости и фильтрации». Труды XVI Международного конгресса по механике грунтов и геотехническому строительству. Япония, 2005.

4. Кузахметова Э.К. «Глинистые грунты повышенной влажности в дорожном строительстве». Обзорная информация. М.: Информавтодор, №5, 2008.
5. Кузахметова Э.К. «Усовершенствование методики прогноза осадки системы «сооружение – слабое основание» // Основание, фундаменты и механика грунтов. 2011, 6.
6. Кузахметова Э.К. «Усовершенствование методологии прогноза осадки системы «сооружение – грунтовое основание» в сложных инженерно-геологических условиях». Международная конференция «Новые дороги России». Пензенский Государственный Университет архитектуры и строительства. 14-17 ноября 2011, г. Пенза.
7. Кузахметова Э.К. «Пути повышения надежности строительства автомобильных дорог в современных условиях» 7-й Российский международный конгресс по интеллектуальным транспортным системам. 21 октября 2015, г. Москва, МИИТ.
8. Ларионов А.К. «Инженерно-геологическое изучение рыхлых осадочных пород». М.: Недра, 1966.
9. Осипов В.И. «Плотность глинистых минералов» // Основания, фундаменты и механика грунтов. 2011. № 6.
10. Сергеев Е.М., Голодковская Г.А., Зиангиров Р.С. Грунтоведение. М.: МГУ, 1983.

## **ИЗМЕНЕНИЕ СОСТАВА И СВОЙСТВ ЛЕССОВЫХ ГРУНТОВ ПРИ ТЕХНОГЕННОМ ЗАМАЧИВАНИИ**

**Н.А. Ларионова**

Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Ленинские горы, дом 1.  
E-mail: nin.larionowa@yandex.ru

Лессовые грунты – специфический, с инженерно-геологических позиций, тип природных образований. Они характеризуются определенными особенностями, в том числе высокой пористостью (46-50%), рыхлым сложением, наличием макропор, небольшой естественной влажностью и низкой водопрочностью. В их составе частиц крупнее 1 мм, как правило, нет, преобладают пылеватые фракции. Пылеватые частицы представлены кварцем, полевым шпатом с включением слюд и карбонатов, а также агрегатами тонкодисперсных частиц кварца.

В глинистой фракции присутствуют высокодисперсные минералы – гидрослюда, каолинит, монтмориллонит, а также гидроокислы железа, подвижные гидроокислы, тонкодисперсный кварц и другие. Высокодисперсные минералы присутствуют преимущественно во фракции <5 мкм. Среди глинистых минералов преобладают гидрослюды (до 85%), присутствуют смешаннослойные минералы. В естественном состоянии большая часть глинистых частиц прочно агрегирована.

Содержание карбонатов кальция и магния в лессах составляет 5-15%, достигая иногда 30-45%. Гипс присутствует в среднем в количестве 2-4%, в отдельных случаях – 7-10%. Содержание легкорастворимых солей (хлоридов и сульфатов) колеблется от 0,5 до 5%. Емкость обмена изменяется от 9-12 до 25-30 мг-экв на 100 г, среди поглощенных катионов преобладает

кальций. Эти показатели химико-минерального состава являются достаточно важными при разработке способов улучшения их свойств.

Прочность структур лессовых грунтов зависит от их влажности и резко понижается (в 5 и более раз) уже при капиллярном водонасыщении. Агрегативный тип структуры оказывается более стойким, чем зернисто-пленочный, что обусловлено меньшей пористостью и большей глинистостью грунтов, преобладанием в них гидрофильных минералов и присутствием большего количества водопрочных агрегатов. При полном водонасыщении ( $S_r=0,92-0,93$ ) критическая нагрузка зернистой и агрегативной структур падает до  $0,15-0,19$  МПа [1].

С особенностями структуры тесно связана плотность лессовых грунтов. Грунты, обладающие зернисто-пленочной либо пылевато-пленочной структурой, имеют значительно меньшие значения плотности скелета, чем лессовидные породы с зернисто-агрегативной или агрегативной структурой.

В лессовых грунтах различают два вида контактов по их роли в формировании структурной связности: межагрегатные и внутриагрегатные контакты. Межагрегатная связность лессовых грунтов обусловлена контактами коагуляционного и псевдоконденсационного вида, которые легко ослабляются при увлажнении. Внутриагрегатные связи значительно более стойкие и прочные. Внутриагрегатная связность нередко обеспечивается контактами кристаллизационно-конденсационного вида [3]. В составе цементирующего агрегата вещества обычно присутствуют глинистые минералы, карбонаты, аморфный кремнезем и гидроксид железа индивидуально или в различных сочетаниях. В зависимости от соотношения основных показателей структур лессовых грунтов изменяются их свойства.

Водопроницаемость лессовых грунтов изменяется в пределах от  $0,001$  до  $8,5$  м/сут., причем ее значение выше при фильтрации в вертикальном направлении. Грунты с агрегативной мезоструктурой характеризуются меньшей проницаемостью, чем грунты с зернистым строением. Коэффициент фильтрации грунтов уменьшается с повышением плотности. Коэффициент сжимаемости лессовых грунтов при нагрузке  $0,1-0,2$  МПа изменяется в пределах от  $0,005$  до  $0,067$  см<sup>2</sup>/кг и резко возрастает при увлажнении. Их величина сцепления колеблется от  $10$  до  $40$  кПа в зависимости от влажности и плотности, а угол внутреннего трения – от  $5$  до  $31^\circ$  [3].

Наиболее типичным и специфическим свойством лессовых грунтов является их просадочность, которое выражается в способности при увлажнении уменьшать свой объем под нагрузкой.

Замачивание лессовых грунтов происходит с поверхности за счет инфильтрации атмосферных осадков, таяния снега, неупорядоченного полива растительности, неисправностей в коммуникациях, утечек из ирригационных каналов и водохранилищ, а снизу за счет подъема уровня грунтовых вод, а также вследствие изменения тепловлажностного режима, что характерно для населенных пунктов при асфальтировании поверхностей и др.

При воздействии воды на лессовые грунты протекает комплекс физико-химических процессов. В результате этих процессов существенно изменяют-



ся их физико-механические свойства. Характер и степень их изменения зависят от внешних и внутренних факторов. К внешним факторам следует отнести интенсивность фильтрационного потока, количество поступающей воды, длительность ее воздействия. К внутренним факторам относятся структурно-текстурные особенности лессовых грунтов, их химико-минеральный состав, количество и состав присутствующих минеральных солей.

В зоне увлажнения происходит значительная перестройка структуры и изменение пористости грунтов. Вода, поступающая в лессовые грунты по активным порам и трещинам, ослабляет и разрушает неводостойкие структурные связи и микроагрегаты. При этом резко уменьшается капиллярное давление, что также ведет к снижению сцепления между частицами грунта. Одновременно происходит разрушение неводостойких мезо- и макроагрегатов, составляющих основу неводостойкой системы лессовых грунтов. В них сохраняются пылеватые и мелкопесчаные частицы и водостойкие микроагрегаты. Насыщение грунтов водой приводит к быстрой потере структурного сцепления ( $C=2-5$  кПа) и снижению угла внутреннего трения на  $4-8^{\circ}$ , к размоканию и уплотнению [3].

При длительном увлажнении в лессовых грунтах происходит процесс растворения и выноса водорастворимых солей ( $\text{NaCl}$ ,  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ,  $\text{CaCl}_2$ ,  $\text{MgSO}_4$ ,  $\text{MgCl}_2$ ,  $\text{NaNO}_3$ ,  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ). Ранее проведенными исследованиями установлено, что в течение первых 8-10 дней наиболее интенсивно растворяются и выносятся легкорастворимые соединения, а затем преобладает вынос среднерастворимых солей – гипса. Водные вытяжки лессового грунта, фильтруемого в течение 60 дней, содержали солей в два раза меньше начального их количества [4].

При длительном искусственном замачивании лессовых грунтов, проведенном в натуральных условиях на больших полигонах, выявлен механизм протекающих при этом процессов и изменение содержания в них водорастворимых солей. Установлено, что в процессе замачивания влажность грунта увеличивается (до 26-28%), а количество водорастворимых соединений уменьшается. По данным анализа водных вытяжек, величина сухого остатка грунта после замачивания уменьшилась в 5 раз, по сравнению с исходным, и достигала 0,1-0,2 г/100 г грунта. Уменьшение содержания водорастворимых солей происходит преимущественно за счет выноса ионов  $\text{Cl}^-$  и  $\text{Na}^+$ , и в меньшей мере за счет ионов  $\text{SO}_4^{2-}$  и  $\text{Mg}^{2+}$  [5].

В большей степени выщелачивание проявляется в условиях гидротехнического и гидроэнергетического строительства, т.е. при интенсивной фильтрации воды сквозь толщу лессовых пород под действием гидростатического напора или гравитационных сил. При этом в массиве образуются ослабленные зоны с повышенной пористостью и даже полости различного размера. Смыкание таких полостей, а также дополнительная осадка пород ослабленных зон обуславливает уплотнение грунта и последующие изменения рельефа поверхности массива лессовых пород и деформацию возведенных сооружений.

Относительная осадка за счет выщелачивания солей может быть определена по формуле [2]:  $h_c = \frac{p(\gamma_{ск} \beta \ell)}{100\gamma_z}$ , а длительность выщелачивания солей определяется по формуле:  $t = \frac{p\ell}{CK_n I}$ , где:  $p$  – начальная засоленность грунта, %;  $\gamma_{ск}$  – плотность скелета грунта, г/см<sup>3</sup>;  $\beta$  – выщелоченность, доли единицы от начального засоления;  $\ell$  – толщина слоя засоленного грунта, дм;  $\gamma_z$  – плотность солей (гипса), г/см<sup>3</sup>;  $C$  – масса солей, перешедших в раствор 1 дм<sup>3</sup> воды, г;  $K_n$  – начальный коэффициент фильтрации, дм/с;  $I$  – градиент фильтрации.

Скорость выщелачивания различна и зависит от многих факторов, в том числе, от интенсивности фильтрационного потока, длительности воздействия, количества солей и их состава. Ослабляются и разрушаются кристаллизационные связи, сформировавшиеся в результате цементации легко- и среднерастворимыми солями. В процессе фильтрации воды через лессовые грунты происходит химическая суффозия, а при достаточно высоких градиентах имеет место механическая суффозия за счет выноса коллоидных и тонкодисперсных частиц. В массиве образуются разуплотненные зоны. Особенно предрасположены к этому процессу лессовые породы с зернисто-пленочной структурой и высокой пористостью. Наибольшие изменения состояния лессовых пород отмечается при долгосрочном, средне- и высоконапорном воздействии воды.

В процессе выщелачивания солей из лессовидного суглинка хлоридно-сульфатного засоления и нарушенной структуры значение коэффициента фильтрации постоянно меняется. Наибольшие колебания  $K_f$  обнаруживаются вначале, в период наиболее интенсивного выщелачивания солей. Впоследствии колебание значений  $K_f$  становится более спокойным, и их показания снижаются в 3-4 раза. Изменение  $K_f$  в процессе выщелачивания солей обусловлено нарушением солевых цементационных связей. Так как растворение и вымыв различных солей, происходит не одновременно и неравномерно, в грунте наблюдается временная дезагрегация и переупаковка частиц и агрегатов, что влияет на водопроницаемость грунта. Роль структурного сцепления в общей прочности лессовых пород относительно более высокая, чем в других связных грунтах [3].

Просадочность является главной особенностью лессовых массивов. Изучению природы и механизма просадочности уделялось большое внимание широкого круга специалистов. Эти вопросы рассмотрены в монографиях Н.Я. Денисова, Н.И. Кригера, Ю.М. Абелева, М.Ю. Абелева, В.П. Ананьева, А.К. Ларионова, В.Т. Трофимова и др. Особую значимость изучение и прогноз проявления просадочности приобретает на застроенных территориях. В результате техногенного замачивания лессовых оснований в условиях напряженного состояния массива под сооружениями возникают дополнительные осадки. Развитие чрезмерных и неравномерных осадков приводит к образованию трещин в сооружениях, деформации, а иногда полному или частичному их разрушению.

На основе учета способности лессовых грунтов при промачивании самоуплотняться под действием собственного веса базируется и используется метод предварительного замачивания, в виде спровоцированных просадочных явлений. Уплотнение толщи замачиваемого лессового грунта в общем случае объясняется потерей связности структуры грунта вследствие разрушения водно-коллоидных и цементационных связей. Просадка в лессовых грунтах может возникать сразу же после замачивания или по истечении некоторого времени с момента поступления воды. Продолжительность процесса связана с характером разрушения водостойких связей и агрегатов и зависит от многих факторов: состава цементирующих веществ, структуры порового пространства, минерального состава грунта, особенностей физико-химического и гидродинамического влияния воды, разрушающей структурные связи и структуру грунта в целом. Скорость просадки, как показывают опыты пробными нагрузками с замачиванием, зависит от степени просадочности грунтов и может изменяться от 5 до 25 мм/сут [6].

В результате уплотнения просадочных грунтов предварительным замачиванием происходит повышение плотности скелета грунтов в нижних слоях до состояния, соответствующего напряженному состоянию от собственного веса грунта. Одновременно с увеличением плотности грунтов при предварительном замачивании повышаются их прочностные характеристики, и снижается сжимаемость [3, 6].

Способ предварительного замачивания имеет своеобразный недостаток, связанный с тем, что лессовые грунты имеют в своем составе гидрофильные глинистые частицы, способные набухать и связывать значительное количество воды. Поэтому в ходе промачивания толщи по периметру замачиваемого котлована или канала формируется зона слабопроницаемого грунта, и инфильтрация воды из котлована прекращается. Для увеличения эффективности метода при замачивании большой толщи просадочных грунтов бурятся скважины, через которые пропускают воду, иногда для большей надежности скважины заполняются водой под напором. Устройство дренажных скважин сокращает время промачивания толщи грунта в 1,3-1,6 раза, приводит к увеличению просадок грунтов в 1,1-1,4 раза и ускоряет снижение влажности в верхней части после прекращения замачивания грунтов [6].

Метод замачивания лессовых грунтов сравнительно прост, но он имеет ряд особенностей и ограничений: а) проведение замачивания лессов необходимо за 5-6 месяцев до строительства; б) проведение работ по замачиванию возможно только в летнее время при наличии воды и водопровода, причем требуется большое количество воды (на 1 м<sup>2</sup> необходим 1 м<sup>3</sup> воды); в) метод применим только на открытых незастроенных площадках; неравномерное уплотнение, сравнительно небольшая глубина уплотнения и образование трещин; г) для полного устранения просадочных свойств грунтов предварительное замачивание применяется в комбинации с другими методами, например с уплотнением тяжелыми трамбовками, устройством грунтовых подушек и другими мероприятиями [3].

И.М. Литвиновым разработан ускоренный метод глубинного уплотнения лессовых грунтов предварительного замачивания с применением энергии взрывов. Но такие методы могут использоваться только в качестве предпостроечных мероприятий.

#### Литература

1. *Ананьев В.П.* Минералогический состав и свойства лессовых пород. – Ростов-на-Дону.: Изд-во Ростовского университета, 1964. – 144 с.
2. *Балаев Л.Г., Богданов И.Я., Воляник Н.В., Молодых И.И.* Инженерно-геологические процессы в районах распространения лессовых пород // Современные проблемы инженерной геологии лессовых пород. – М.: Наука, 1989. – 119 с.
3. *Воронкевич С.Д.* Основы технической мелиорации грунтов. – М.: Научный мир, 2005. – 504 с.
4. *Кириллов А.А.* Исследование уплотняемости лессовых грунтов при дальнейшей фильтрации через них воды // Инженерно-геологические свойства горных пород и методы их изучения. – М.: Изд-во АН СССР, 1962. – 187 с.
5. *Кригер Н.И.* Лесс. Формирование просадочных свойств. – М.: Наука. 1986. – 132 с.
6. *Крутов В.И.* Основания и фундаменты на просадочных грунтах. – Киев.: Будівельник, 1982. – 224 с.

### СВОЙСТВА ГРУНТОВЫХ КОМПОЗИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ ЦЕМЕНТА С УГЛЕРОДНЫМИ НАНОТРУБКАМИ

**Т.Г. Макеева \*, А.Я. Хавкин\*\*, Ю.М. Егоров\*\*\***

\* Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова,  
Москва, Ленинские горы, МГУ, д.1, лаборатория «Исследование влияния геологических факторов на физико-химическое закрепление грунтов».

E-mail: makeeva13new@yandex.ru

\*\*Нанотехнологическое общество России, г. Москва, г. Зеленоград,

E-mail: aykhavkin@yandex.ru

\*\*\* Машиностроительное конструкторское бюро «Горизонт»,

E-mail: egor2707@mail.ru

Одной из проблем материаловедения является создание и разработка новых материалов, обладающих комплексом уникальных физических и физико-механических свойств, необходимых для длительной работы в экстремальных условиях. В настоящее время научные достижения позволяют создавать как конструкционные, так и функциональные материалы с заданными свойствами. При этом технология их создания сводится не только к выбору химического состава, а, в первую очередь, к формированию определенной морфологии их компонентов и их структуры на различных уровнях. Особое место среди новых материалов занимают многокомпонентные системы, на-

ходящиеся в аморфном, нано-, микрокристаллическом состояниях. Особенности создания таких материалов определяются условиями их эксплуатации, которые происходят в зоне техногенного воздействия и, в связи с этим, выдвигают на первый план задачу повышения прочности и долговечности композитов на основе грунтов, их стойкости к воздействию положительных и отрицательных температур, различного вида агрессивным средам, в том числе и динамическим воздействиям.

Разработка композитных материалов, которые могут служить покрытиями и покрытиями, техногенно-геохимическими барьерами, экранами и т.д., защищающими от электромагнитного излучения, от техногенного загрязнения с рекордными эксплуатационными свойствами является актуальной задачей.

Методика исследований композитов включала экспериментальные и расчетные работы. Эксперименты состояли из серии опытов: 1) изучение состава и свойств грунтов разной дисперсности, свойств цемента, и углеродных нанотрубок; 2) создание цементных композитов на основе грунтов разной дисперсности и углеродных трубок разной структуры; 3) изучение прочностных показателей и диэлектрических свойств композитных материалов; установление корреляционных зависимостей между диэлектрическими и прочностными свойствами композитов расчетным путем [1,2]. Данные по диэлектрическим свойствам композитов получены экспериментальным путем на приборах – диэлькометрах на частотах 2450 МГц с применением техники измерения методом стоячих волн. Методика, приборы и программное обеспечение разработаны Ю.М. Егоровым [3].

Для исследования были выбраны грунты разной дисперсности, представленные песком пылеватым, супесью твердой, супесью пластичной, суглинком легким песчанистым и суглинком тяжелым пылеватым по ГОСТ 25100-95. При этом были использованы добавки цемента в количестве 10% от массы сухого скелета грунта разного состава и свойств. В качестве вяжущего вещества были использованы цементы разной марочной прочности: портландцемент (ОАО «Верхнеабаканский»), бездобавочный, класс прочности 42,5 нормально твердеющий. Минералогический состав высокотемпературного клинкера представлен: алитом ( $C_3S$ ) – 63,9%, белитом ( $C_2S$ ) – 13,1%, трехкальциевым алюминатом ( $C_3A$ ) – 7,9%, четырехкальциевым алюмоферритом ( $C_4AF$ ) – 11,7%, количество гипса – 2,5-3,0 %; наноцемент (ОАО «Московский ИМЭТ») – «Сухая механоактивированная смесь» (смесь СМС-90 – со сниженным содержанием клинкерной части до 90% масс). Низкотемпературный клинкер представлен новыми хлорсодержащими минералами – алинитом и хлоралюминатом, а также известными кислородными соединениями – белитом и двухкальциевым ферритом, при вариации состава, % масс.: алинит –  $(Ca_{21}Mg[Si_{0,75-0,80}Al_{0,20-0,25}]O_4)O_4Cl_2$  – 55-65%; белит –  $(\beta - Ca_2SiO_4)$  – 35-25%; хлоралюминат кальция –  $(Ca_6Al_7O_{16}Cl)$  – 7-3; двухкальциевый

феррит – ( $Ca_2Fe_2O_5$ ) до 5 [4]. Углеродные наноструктуры представлены многостенными и одностенными углеродными трубками.

Композитные материалы на основе дисперсных грунтов и цемента с углеродными нанотрубками были изготовлены по стандартной методике в специальных формах диаметром 1,65 см<sup>2</sup> при уплотнении 3 МПа при разных водоцементных соотношениях: В/Ц = 0,9 и В/Ц = 1,5 при сухом способе введения УНТ. Содержание углеродных нанотрубок составляло 0,01% и 0,1% от массы цемента. Сформированные композиты хранились в воздушной, воздушно-влажной и кислых средах. Испытания на одноосное сжатие образцов были проведены с помощью прибора П-12 М по стандартной методике после хранения в различных средах.

Одной из актуальных проблем в области создания материалов является разработка теоретических и методических основ наноструктурных материалов с заданными свойствами на основе органических и неорганических соединений дисперсных грунтов. В качестве минеральных вяжущих традиционно используются портландцементы, известь и зола уноса. Портландцементы и известь до сих пор остаются основными минеральными вяжущими при создании материалов на основе этих соединений.

Анализ литературных источников позволил провести обобщение и систематизацию экспериментальных данных о способах синтеза углеродных наноструктур (УНС), также о методах создания многокомпонентных грунтовых композитов с участием углеродных наноструктур и цемента [3,5-7].

Установлены характеристики активности изученных углеродных наноструктур (УНС) (интенсивность, наноразмерный интервал, поверхностная энергия) и изучены свойства одностенных и многостенных трубок (дисперсность, микроструктура, температура начала экзотермического эффекта, конфигурация и интервал температурных структурных разностей углеродных НТ, диэлектрические свойства). Влияние углеродных НТ на композит существенным образом зависит от состава и свойств компонентов композита. В связи с этим, изучено влияние активных добавок различных наноструктур (УНС) в композит на основе грунтов и цемента, а также установлены функциональные зависимости диэлектрических свойств многокомпонентных композитов с участием углеродных наноструктур на основе разных видов цемента от состава и свойств грунтов.

Установлен состав новообразований, морфологические особенности, структура в композитах на основе цемента разного состава и грунтов разного генезиса с углеродными трубками разной структуры по данным рентгеноструктурного и микроскопического анализа. Различия в микроструктуре определяют прочностные свойства композитов на основе грунтов разной дисперсности и цемента разного состава с углеродными трубками. Наличие углеродных нанотрубок в композитах из цемента и грунта приводит к структурным изменениям, оказывающим значительное влияние на физико-механические свойства композитов. С изменением концентрации и вида углеродных доба-

вок, а также марочной прочности цемента изменяются диэлектрические и прочностные свойства композитов на основе грунтов разной дисперсности.

Выделены классификационные признаки микростроения композитов трех уровней: классы, типы и виды [8]. Составлена классификация микростроения грунтовых композитов на основе цемента разного состава с углеродными трубками. Установлена взаимосвязь микроструктуры и свойств грунтовых композитов на основе цементов разного состава с углеродными трубками разной структуры, что является основой для направленного синтеза материалов на основе цемента разного состава и грунтов разной дисперсности с заданными свойствами. Получены данные по поглощению электромагнитной энергии (частоте 2450 МГц) грунтовых композитов на основе цементов разного состава с углеродными трубками разной структуры. Установлены структурно-энергетические закономерности цементных композитов с углеродными нанотрубками на основе грунтов разной дисперсности. Выявлены особенности этих закономерностей в зависимости от химико-минерального состава, дисперсности грунтов, от содержания и структуры углеродных трубок, а также от содержания и вида цемента.

Анализ полученных результатов по созданию цементных композитов на основе грунтов разной дисперсности с углеродными НТ показал, что требованиям ГОСТ 23558-94 по прочности на сжатие удовлетворяет: композит на основе цемента 10 % ЦЕМ I 42,5 и суглинка легкого с 0,01% концентрации разных структур МНТ и ОНТ (*при воздушно-влажном хранении*); композит на основе цемента 10 % ЦЕМ I 42,5 и суглинка легкого с многослойной НТ при всех концентрациях 0,1 % и 0,01% и видах структур УНТ (*при воздушно-влажном хранении*); композит на основе цемента 10 % ЦЕМ I 42,5 и суглинка легкого при концентрации 0,01% с однослойной НТ. Повышение марочной прочности цемента до СМС 90 (10%) в цементных композитах с дисперсными грунтами (суглинки легкие и суглинки тяжелые) показало, что требованиям ГОСТ 23558-94 удовлетворяют все концентрации и виды углеродных трубок при воздушно-влажном хранении. А также композит на основе того же цемента СМС 90 (10%) и супеси пластичной при концентрациях 0,01% многослойной и однослойной НТ при воздушно-влажном хранении.

Наиболее ярко активность углеродных нанотрубок проявляется в цементных композитах на основе дисперсных грунтов со значительным содержанием связанной воды. Цементы как и дисперсные грунты являются энергетически неоднородными системами и обладают высокой концентрацией электронов и спин-поляризованных электронов (связанная вода) и это позволяет регулировать их электронные состояния. Использование активных добавок различных наноструктур (УНС) в композит на основе местного сырья и цемента способствует участию наноструктур в физико-химических реакциях с образованием дополнительных структурных элементов, а также армированию материала наноструктурами. Это позволяет повысить магнитную восприимчивость, коррозионную устойчивость, механическую прочность, а также расширить ассортимент дорожно-строительных материалов.

## Литература

1. *Макеева Т.Г., Егоров Ю.М.* Диэлектрические свойства композитных материалов на основе цемента разного генезиса // *Естественные и технические науки*, 2013, № 6, с.64-72.
2. *Макеева Т.Г., Егоров Ю.М.* Прочностные свойства композитов на основе грунтов разного генезиса // *Мат-лы годичной сессии Научного совета РАН по проблемам геоэкологии, инженерной геологии и гидрогеологии. «Сергеевские чтения»*. М.: ГЕОС, 2014. Вып.16. С. 57-62.
3. *Гончарова Л.В., Макеева Т.Г., Егоров Ю.М.* Диэлектрические свойства дисперсных грунтов и минералов и фазовые переходы связанной воды. М.: Университетская книга, 2012. 422 с.
4. *Бикбау М.Я.* Нанотехнологии в производстве цемента. М.: ОАО «Московский институт материаловедения и эффективных технологий», 2008. 768 с.
5. *Хавкин А.Я.* Наноявления и нанотехнологии в добыче нефти и газа // М.-Ижевск: НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика», Институт компьютерных исследований. 2010. 692 с.
6. *Комохов П.И.* Золь-гель как концепция нанотехнологии цементного композита // *Строительные материалы*. 2006, № 9, с. 14-15.
7. *Пухаренко Ю.В., Стареверов В.Д.* Особенности применения углеродных наночастиц фуллероидного типа в цементных композитах // *Сухие строительные смеси*. 2010, № 1, с.41-45
8. *Макеева Т.Г.* Классификационные признаки микростроения композитов на основе песка и цемента // *Мат-лы V Межд. конф. «От наноструктур, наноматериалов и нанотехнологии к наноиндустрии»*. Ижевск. 2-3 апреля ИжГТУ, 2015. С. 114-115.

## ПОТЕНЦИАЛ ИЗМЕНЕНИЯ ДИСПЕРСНОСТИ ЛЁССОВЫХ ГРУНТОВ

**Т.П. Мокрицкая, К.А. Самойлич**

Днепропетровский национальный университет имени О. Гончара,  
49050 Украина, Днепропетровск, пр. Гагарина, 72. E-mail: mokritska@i.ua

**Введение.** Изучение причинно-следственных связей – традиционный метод геологических исследований. В работах И.В. Попова [10], Г.А. Голодковской [4], В.Т. Трофимова [13], В.М. Шестопалова [14], Т.Г. Рященко [11] описаны принципы поиска связей между обстановками формирования отложений, современным состоянием и прогнозным поведением, широко используемые при региональных и локальных прикладных геологических исследованиях. Лессовые и лессовидные отложения, по особенностям их происхождения, являются специфическими образованиями [2,6]. Способность к катастрофическим преобразованиям их структуры (просадочность) связывали с нарушением устойчивости частиц и агрегатов, растворением солей, влиянием давления, влаги. В.А. Приклонский, А.К. Ларионов [7], Н.Я. Денисов [5] экспериментально изучали влияние особенностей минерального и химического состава частиц грунта, строения пор, агрегатов на величину просадочности. На микроуровне свойства дисперсных (глинистых и лессовых) грунтов подробно изучены [3, 9].



А.К. Ларионов высказывал предположение о связи между деформациями просадки и агрегированностью лессовых отложений в зоне неполного водонасыщения [см. 7]. В реальных условиях разрушение агрегатов в зоне неполного водонасыщения происходит на протяжении длительного интервала времени [8]. Процесс распада микроагрегатов приводит к изменению дисперсности, структуры и других свойств среды, что указывает на необходимость изучения геологической среды и ее элементов как сложной системы, способной к эволюционным преобразованиям. Описание эволюции динамических систем возможно, если определен аттрактор – конечная область состояний, к которой стремится динамическая система [1]. Известно, что форма аттрактора процесса деградации просадочных свойств зависит от генетических особенностей грунта, хаотичность деградации лессовидных суглинков выражена лучше [см. 8].

В работах [11, 12] показано, что оценки дисперсности и агрегированности лессовых грунтов отличаются в зависимости от способа подготовки образца к испытанию в лабораторных условиях. Состояние с наивысшей дисперсностью и минимальной агрегированностью является предельным. Дисперсность, полученная при применении иных способов подготовки образца к анализу, может рассматриваться как состояние, предшествующее предельному. На координатной плоскости граница области возможных состояний грунта будет указана как упорядоченная последовательность средних содержаний фракций – точек с координатами  $x_i; x_{i+1}$ . Индекс указывает предшествующее или предельное состояние по интенсивности распада микроагрегатов. Форма траектории (упорядоченной в порядке уменьшения размера частиц последовательности точек) в первом приближении позволит определить вид аттрактора.

**Результаты исследований.** Выполнены определения комплекса физических и механических свойств образцов лессовидных (удайский *vd P<sub>III</sub> ud*; днепровский *vd P<sub>II</sub> dn*) и палеопочвенных (дофиновский *e P<sub>III</sub> df*; витачевский *e P<sub>III</sub> vt*) горизонтов, широко распространенных в зоне влияния городской природно-техногенной системы. Т.Г. Рященко и В.В. Акулова рекомендуют выполнять гранулометрический анализ с использованием трех способов подготовки образцов: дисперсного, агрегатного и полудисперсного. Стандартное представление результатов гранулометрического анализа в виде кумулятивной кривой затрудняет анализ агрегатного состава (рис. 1 а, б).

Общий вид кривых грунтов разного генезиса сходен, но результаты определения содержаний отдельных фракций отличаются более чем в 10 раз (таблица 1). Построены траектории вероятного изменения фракционного состава (аналогов фазового портрета динамической системы) и выполнен их анализ. Выводы не противоречат полученным ранее выводам об особенностях деградации свойств просадочных лессовидных грунтов в зоне влияния города [см. 8].

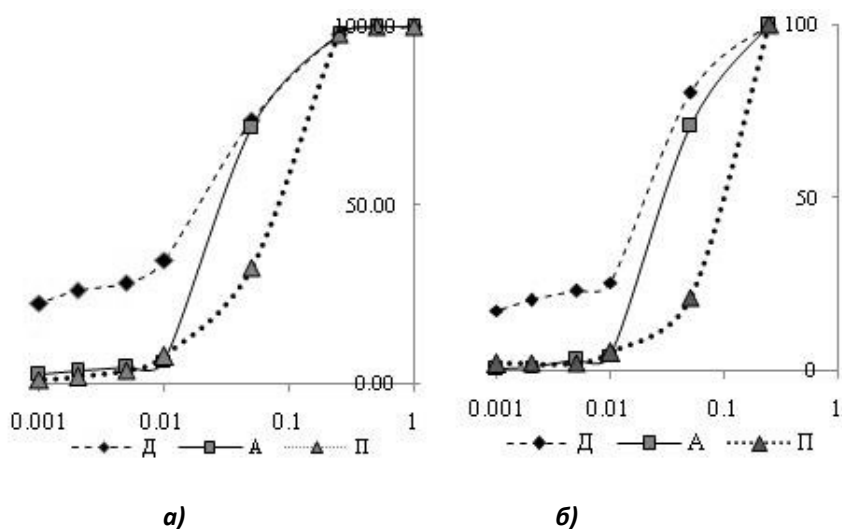
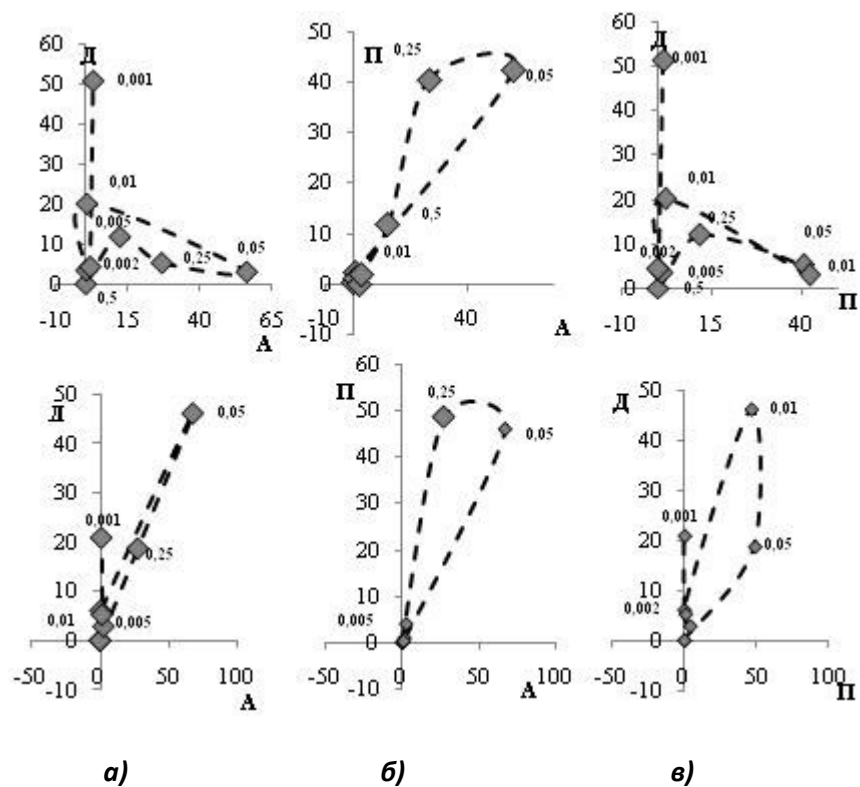


Рис. 1. Гранулометрический состав грунтов Витачевского палеопочвенного горизонта (а) и Удайского лессовидного горизонта (б) при дисперсном (Д), агрегатном (А), полудисперсном (П) способах подготовки образца. По оси ординат приведены размеры фракций в логарифмическом масштабе. По оси абсцисс указано суммарное содержание частиц

Таблица 1  
Расхождение в содержании частиц фракций при дисперсной (Д), агрегатной (А), полудисперсной методиках подготовки

| Способы подготовки          | Индекс горизонта      | Расхождение средних содержаний фракций по данным гранулометрического анализа, выполненного при трех способах подготовки образцов, %. |              |               |                |                |                |
|-----------------------------|-----------------------|--|--------------|---------------|----------------|----------------|----------------|
|                             |                       | 0,25-0,05 мм   | 0,05-0,01 мм | 0,01-0,005 мм | 0,005-0,002 мм | 0,002-0,001 мм | менее 0,001 мм |
| Дисперсный – агрегатный     | vd P <sub>II</sub> dn | -8,49  | -21          | 5,52          | 0,21           | 3,73           | 19,99          |
|                             | e P <sub>III</sub> vt | 18,85  | -45,8        | 5,58          | 1,86           | 3,45           | 16,08          |
| Полудисперсный – дисперсный | vd P <sub>II</sub> dn | 29,93  | -0,09        | -6,03         | 1,12           | -4,28          | -20,64         |
|                             | e P <sub>III</sub> vt | 38,19  | -10,3        | -4,26         | -1,89          | -5,31          | -16,48         |
| Полудисперсный – агрегатный | vd P <sub>II</sub> dn | 21,43  | -21,1        | -0,51         | 1,33           | -0,54          | -0,65          |
|                             | e P <sub>III</sub> vt | 57,05  | -56,1        | 1,32          | -0,03          | -1,86          | -0,4           |



**Рис. 2. Характерные траектории распада микроагрегатов дофиновского и днепровского горизонтов**

Условные обозначения:

◆ 0,25 – содержание фракции 0,05-0,25 мм по данным гранулометрического анализа при разных способах подготовки, указанных в наименовании осей.

а) траектория изменений содержания фракций при переходе из состояния А (агрегатный способ подготовки) в состояние Д (дисперсный способ); б) то же, при переходе из состояния А в состояние П (полудисперсный способ подготовки); в) то же, при переходе из состояния П в состояние Д.

Верхний ряд – траектории распада микроагрегатов дофиновского горизонта; нижний ряд – траектории днепровского горизонта.

Траектории замыкаются, определяя область состояния грунта на определенной ступени процесса распада агрегатов. Положение точек с координатами  $(x_1; x_2)$  определено потенциалом изменения дисперсности – содержанием фракции при двух способах подготовки (агрегатном (А) и (или) дисперсном (Д) и (или) полудисперсном (П)). Начальное состояние в каждой паре задавалось так, чтобы диаграмма характеризовала распад микроагрегатов. На диаграммах присутствуют линейные участки, замкнутые области, пересечения, что указывает на хаотичность процесса и соответствующий тип ат-

трактора. Диаграммы, построенные в координатах (А, П) имеют сходную форму, в других вариантах выбора начальных и конечных состояний, траектории изменений дисперсности палеопочвенных (дофиновский) и лессовых (днепровский) горизонтов различны. Анализ диаграмм показывает, что при движении в координатах (А, Д) будет возможен распад микроагрегатов размерами 0,01-0,05 мм и 0,05-0,25 мм на частицы размером 0,001 мм как в лессовых, так и в палеопочвенных отложениях. При движении в координатах (П, Д) в глинистых палеопочвенных отложениях вероятен распад агрегатов с размерами 0,01-0,05 и агрегатов с размерами 0,005-0,01 мм, а в лессовидных – в основном, фракции размерами 0,01-0,05 мм.

#### **Выводы:**

- анализ траекторий вероятного изменения фракционного состава, построенных по результатам лабораторных испытаний, подтверждает хаотический характер процесса распада микроагрегатов;
- процессы деградации лессовых и палеопочвенных горизонтов обладают сходством или различием в зависимости от стадии процесса;
- область состояний лессовидных отложений в процессе деградации больше, чем палеопочвенных.

#### **Литература**

1. *E. V. Nikulchev, O. V. Kozlov. Identification of Structural Model for Chaotic Systems // Journal of Modern Physics, 2013, 4, 1381-1392.*
2. *Абелев Ю.М. Основы проектирования и строительства на макропористых грунтах. – Л: Строймориздат, 1948. – 263 с.*
3. *Григорьева И. Ю. Микростроение лессовых грунтов. – М.: Наука, 2001 – 141 с.*
4. *Голодковская Г.А., Елисеев Ю.Б. Инженерная экология и эколого-геологическое картирование (идеи И. В. Попова и их развитие на современном этапе) // Проблемы инженерной геологии. – М.: Наука, 1991. – С.24-35.*
5. *Денисов Н.Я. Природа прочности и деформаций грунтов – М.: Стройиздат, 1972. – 279 с.*
6. *Кригер Н.А. Лёсс, его свойства и связь с географической средой. – М.: Наука, 1965. – 296 с.*
7. *Ларионов А. К., Приклонский В. А., Ананьев В. П., Лёссовые породы СССР и их строительные свойства, Ч. 1. – Л., 1959. – 367 с.*
8. *Мокрицкая Т.П. О хаотичности процесса деградации просадочных свойств грунтов при техногенезе // Вестник ВГУ. – В.: ВГУ, 2013. – №2. – С. 40-46.*
9. *Осипов В. И., Соколов В. Н., Румянцева Н. А. Микроструктура глинистых пород / Под ред. академика Е.М. Сергеева. – М.: Недра, 1989. – 211 с.*
10. *Попов И.В. Инженерная геология: Учебник. 2-е изд. – М.: Изд-во МГУ, 1959. – 510 с.*
11. *Рященко Т.Г. Региональное грунтоведение (Восточная Сибирь). – Иркутск: ИЗК СО РАН, 2010. – 287 с.*
12. *Рященко Т.Г. Грунты юга Восточной Сибири и Монголии: монография / Т.Г. Рященко, В.В. Акулова. – Новосибирск: СО РАН, 1998. – 156 с.*
13. *Трофимов В.Т. Основные законы инженерной геологии и ее научных направлений // Труды международной научной конференции «Теоретические проблемы инженерной геологии». – М.: МГУ, 1999. – С. 32-34.*
14. *Климчук Л.М. Сучасні інженерно-геологічні умови України як складова безпеки життєдіяльності / Л.М. Блинов П.В., В.Ф. Величко, С.И. Примушко, В.М. Шестопалов. – К.: ВПЦ «Експрес». – 2008. – 224 с.*

## АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЙ ОБРАЗЦОВ КЕРНА ГЛУБОКОЙ СКВАЖИНЫ НА ОДНОЙ ИЗ ПЛОЩАДОК СТРОИТЕЛЬСТВА САНКТ-ПЕТЕРБУРГА

Л.П. Норова

Национальный минерально-сырьевой институт «Горный», 199106, Санкт-Петербург,  
21 линия, д.2. E-mail: lartisanorova@rambler.ru

**Введение.** В последние годы в крупных мегаполисах, в том числе и в Санкт-Петербурге, строятся высотные здания, активно используется подземное пространство. Соответственно, в зону интенсивного техногенеза вовлекаются все более глубокие элементы геологического разреза, в том числе дочетвертичные породы, к которым в центральной и северной части Санкт-Петербурга относятся наиболее древние платформенные образования венда, залегающие на кристаллическом фундаменте. Последний располагается обычно на глубинах более 150 м.

Породы венда образуют котлинский горизонт, делящийся на нижне- и верхнекотлинскую подсвиты. Эти отложения имеют исключительно важное значение для Санкт-Петербурга, так как нижнекотлинская подсвита – песчаники тонко и мелкозернистые с прослоями глин мощностью 50-90 м – вмещают крупнейший напорный водоносный горизонт (бывший "гдовский"), а в верхнекотлинской свите располагаются перегонные тоннели и подземные вестибюли метрополитена и другие заглубленные инженерные сооружения. Верхняя котлинская подсвита отражает период осадконакопления, характеризующий переход к максимуму трансгрессии котлинского цикла, и по литологическому строению подразделяется на две пачки. Первая (нижняя) пачка представлена переслаиванием в разном соотношении тонко- и мелкозернистых песчаников и тонкодисперсных алевроитовых глин зеленовато-серой окраски и завершает разрез нижнекотлинского водоносного горизонта. Вторая (верхняя) пачка верхнекотлинской подсвиты (ламинаритовые глины) имеет глинистый состав.

**Объект и методы исследования.** На территории Санкт-Петербурга бурение инженерно-геологических скважин глубиной свыше 100,0 м до 2007 г. проводилось в небольших объемах. На момент начала инженерно-геологических изысканий по объектам высотного строительства механические характеристики пород, залегающих на таких глубинах, были изучены недостаточно. Соответственно, при бурении глубоких скважин на площадках высотного строительства в процессе инженерно-геологических изысканий появляется возможность получения дополнительной информации о рассматриваемой толще дочетвертичных пород. Актуальным остается вопрос выявления степени однородности глинистой толщи, текстурно-структурных особенностей, физического состояния и свойств внутри верхней пачки верхнекотлинской подсвиты.

На одной из площадок высотного строительства для более детального изучения несущего горизонта, было отобрано 25 образцов керна скважины, изготовлено 10 шлифов. Литологический анализ образцов производился профессиональным литологом С.Б. Шишловым. Выполненные работы включали совокупный анализ данных литологических исследований, гранулометрического состава, физико-механических свойств и результатов геофизических работ. Определение механических свойств рассматриваемых образцов проводилось на настольном прессе ПРГ-50.

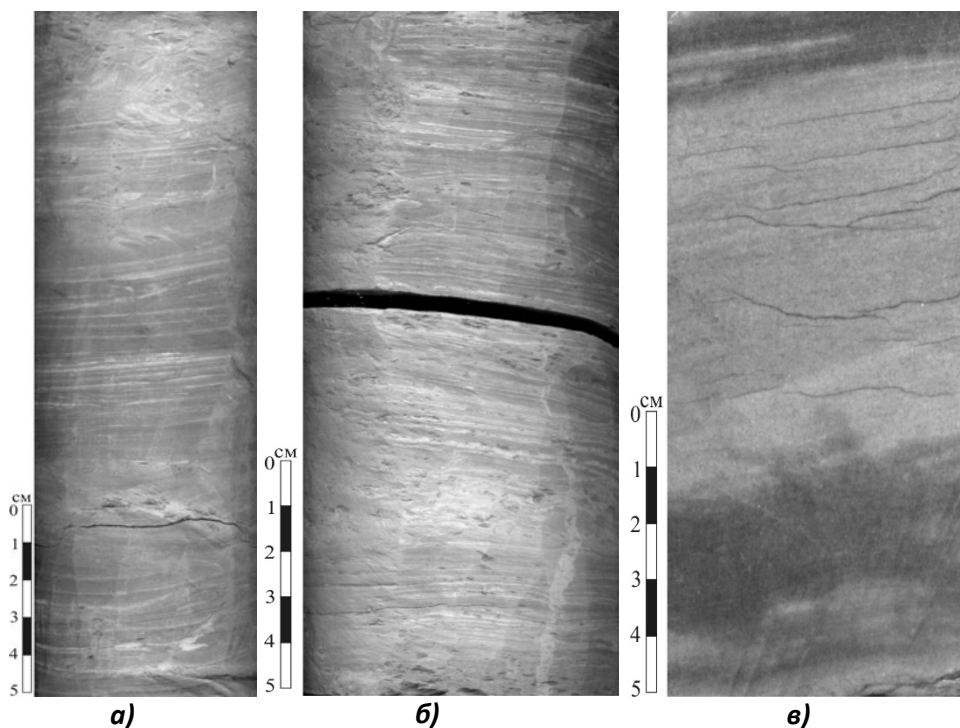
**Внешние признаки, текстура и структура пород.** Внешний облик, окраска и некоторые текстурные признаки верхекотлинских глин весьма характерны и очень устойчивы на всей площади их распространения. Это преимущественно плотные аргиллитоподобные глины с подчиненным количеством алевролита и песка, имеющие, как правило, серо-зеленоватую окраску и тонкослоистое сложение. Слоистость неоднородна. Микротекстура глинистой толщи венда тонкополосчатая, полосчато-сланцеватая, реже массивная. По минеральному составу тонкодисперсной части вендские глины являются каолинитово-гидрослюдистыми, обладают низкой обменной способностью и по содержанию поглощенных катионов являются кальциевыми глинами.

Результаты исследования образцов керна скважины позволили выделить три литогенетических типа (ЛГТ) пород, выделенных по обстановкам осадконакопления. Каждый ЛГТ имеет одинаковый комплекс первичных признаков (вещественный состав, структура, цвет, текстура, органические остатки), которые отражают условия седиментации. Внешний облик образцов выделенных литогенетических типов показан на фото (рис.1).

*Литотип 1* – глина зеленовато-серая глубоководная (рис.1а). По особенностям вторичных изменений может характеризоваться как дислоцированная и недислоцированная. Отложения этого типа установлены в 9 образцах; образовались в условиях низкой гидродинамики (накопление пелитов), которые иногда сменяли эпизоды проявления умеренной силы возвратно-поступательных (волнений) движений придонных вод (накопление псаммит-алевритовых прослоев). Восстановительные свойства среды отражает зеленовато-серая окраска глин. Отложения этого литогенетического типа в скважинах доминируют в верхней части разреза.

*Литотип 2.* Отложения этого типа установлены в 15 образцах с различных глубин; это отложения склона; образовались в зоне слабого, но достаточно частого воздействия волнений. При этом во времени и пространстве происходила контрастная многократная смена медленного осаждения пелитов в застойной слабо восстановительной среде, кратковременными эпизодами быстрого накопления алевро-псаммитового материала на локальных участках дна с относительно высокой динамикой слабо окислительных придонных вод. На фото (рис. 2б) видно тончайшее линзовидно-полосчатое чередование глины зеленовато-серой и песчаника тонкозернистого белого. Породы 2 ЛГТ доминируют в интервале глубин от 70-75 до 100-120 м. В верхней части этого глубинного интервала они иногда переслаиваются с отложениями 1 ЛГТ, а в нижней с отложениями 3 ЛГТ.

*Литотип 3* – алеврито-песчаные мелководные отложения (2 образца); слабо сцементированы глинисто-гидрослюдистым веществом, иногда заполняющим поры. В текстурах доминирует субгоризонтальная слоистость, волнистая, линзовидная. Зерна хорошо сортированы и окатаны. Отложения, образовавшиеся в зоне умеренного по силе, но постоянного воздействия волнений. Присутствие сульфидов указывает на восстановительные свойства растворов. Породы этого литотипа доминируют с глубины 120м.

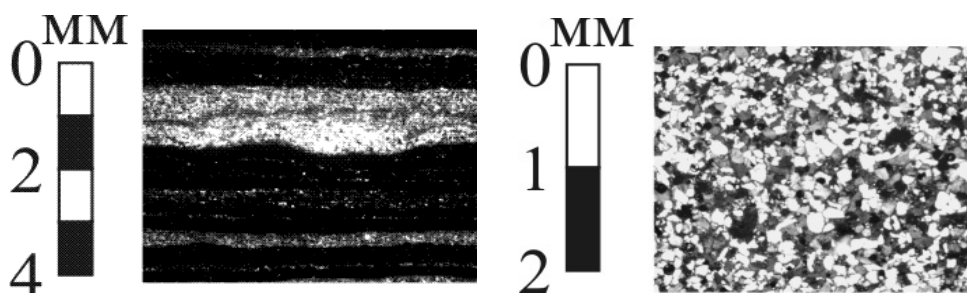


**Рис. 1. Внешний облик образцов различных зон глинистой толщи (фото С.Б. Шишлова):**

*а* – литотип 1, гл. 87,5м; *б* – литотип 2, гл. 113,5 м; *в* – литотип 3, гл. 137,0 м

Установленные литотипы могут занимать площадь в десятки км<sup>2</sup>. К центру бассейна следует ожидать увеличения доли глинистых отложений литотипа 1, а по направлению к берегу – песчаников литотипа 3.

Наглядно видны структурно-текстурные особенности рассматриваемых коренных глин венда в шлифах. Так, отчетливое линзополосчатое чередование глины зеленовато-серой (доминирует) и алевролита кварцевого белого с поровым глинисто-гидрослюдистым цементом видно на рис. 2а (литотип 2). Второй шлиф на рис.2б отражает текстурные особенности и минеральный состав породы литотипа 3 – песчаник мелкозернистый светло-серый полевошпатово-кварцевый.



**Рис. 2. Структурно-текстурные особенности коренных пород венда (фото С.Б. Шишлова):**  
*a* – литотип 1, 68,5 м; 2,5x10, николи +; литотип 3, 131,5 м; 5x10, николи +

**Грансостав, физические и механические свойства.** Согласно опубликованным данным, верхнекотлинские глины относятся к типично пылеватым (алевритовым) разностям, в этом отношении весьма однородны. Однако из таблицы 1 видно, при переходе от литотипа 1 к литотипу 3 уменьшается содержание глинистых частиц и увеличивается количество крупной пыли и тонкопесчаной фракции.

*Таблица 1*

**Гранулометрический состав глинистых пород венда**

| Литотип | Содержание фракций, в %; размер фракций в мм |          |           |            |             |
|---------|--|----------|-----------|------------|-------------|
|         | более 2,0                                    | 2,0-0,05 | 0,05-0,01 | 0,01-0,002 | менее 0,002 |
| 1а      | -  | 5        | 25        | 37         | 33          |
| 1б      | -  | 9        | 24        | 36         | 31          |
| 2       | -  | 7        | 40        | 24         | 29          |
| 3       | -  | 9        | 44        | 35         | 12          |

*Примечание:* данные гранулометрического анализа (25 образцов) пипеточным методом.

*Таблица 2*

**Физические свойства глинистых пород венда**

| Порода     | Влажность, % | Плотность, г/см <sup>3</sup> | Коэффициент пористости, д.е. | Показатель консистенции, д.е. |
|------------|--------------|------------------------------|------------------------------|-------------------------------|
| Литотип 1а | 0,185        | 2,14                         | 0,501                        | полутвердые                   |
| Литотип 1б | 0,150        | 2,18                         | 0,459                        | твердые                       |
| Литотип 2  | 0,137        | 2,22                         | 0,392                        | твердые                       |
| Литотип 3  | 0,111        | 2,33                         | 0,366                        | твердые                       |

*Примечание:* по данным 25 образцов.



В вертикальном разрезе глинистой толщи относительное содержание глинистых и пылеватых фракций изменяется. Рассматриваемые литологические типы глин характеризуются близкими параметрами физических свойств с тенденцией к увеличению плотности, уменьшению влажности, коэффициента пористости (табл. 2).

Испытания по оценке прочности образцов в лабораторных условиях показали значительный разброс результатов, который может быть объяснен особенностями данных грунтов (табл. 3, 4, 5).

Таблица 3

**Механические свойства глинистых пород венда (литотип 1)**

| № п/п | Глубина, м | Е <sub>о</sub> , МПа | Параметры прочности |         |        | Характер разрушения                    |
|-------|------------|----------------------|---------------------|---------|--------|--|
|       |            |                      | Рсж, МПа            | φ, град | С, МПа |  |
| 1     | 42,0-42,2  | 20,9                 | 0,57                | 14      | 0,22   | Хрупкий тип деформирования             |
| 2     | 48,0-48,2  | 21,4                 | 0,52                | -       | -      | -“-                                    |
| 3     | 51,0-51,2  | 15,5                 | 0,47                | 14      | 0,18   | Хрупко-пластический тип деформирования |
| 4     | 49,5-49,7  | 20,6                 | 0,42                | 12      | 0,17   | -“-                                    |

Таблица 4

**Механические свойства глинистых пород венда (литотип 2)**

| № п/п | Глубина, м  | Е <sub>о</sub> , МПа | Параметры прочности |         |        | Характер разрушения        |
|-------|-------------|----------------------|---------------------|---------|--------|----------------------------|
|       |             |                      | Рсж, МПа            | φ, град | С, МПа |                            |
| 1     | 88,0-88,2   | 51,4                 | 0,78                | 20      | 0,27   | Хрупкий тип деформирования |
| 2     | 91,0-91,2   | 34,3                 | 0,73                | 20      | 0,25   | -“-                        |
| 3     | 97,0-97,2   | 30,0                 | 0,73                | 20      | 0,25   | -“-                        |
| 4     | 110,0-110,2 | 33,7                 | 0,73                | 26      | 0,23   | -“-                        |

Таблица 5

**Механические свойства глинистых пород венда (литотип 3)**

| № п/п | Глубина, м | Е <sub>о</sub> , МПа | Параметры прочности |         |        | Характер разрушения        |
|-------|------------|----------------------|---------------------|---------|--------|----------------------------|
|       |            |                      | Рсж, МПа            | φ, град | С, МПа |                            |
| 1     | 144,8      | 82,2                 | 1,26                | 16      | 0,85   | Хрупкий тип деформирования |
| 2     | 156,0      | 92,8                 | 1,43                | 14      | 0,56   | -“-                        |
| 3     | 159,0      | 75,8                 | 1,32                | 17      | 0,55   | -“-                        |
| 4     | 169,0      | 286,5                | 2,44                | -       | -      | -“-                        |

Значительные колебания экспериментальных данных связаны с существенной литологической неоднородностью разреза вендских глин. Неравномерное чередование глинистых и алевроитовых прослоев, наличие прослоев песчаника, присущая этим грунтам микротрещиноватость, оказывают существенное влияние на результаты определений механических свойств.

**Заключение.** Анализируя состояние глинистой толщи на основании литологических исследований, параметров грансостава, физических и механических свойств, можно сделать вывод, что разрез толщи верхнекотлинских глин характеризуется значительной изменчивостью по глубине. Соответственно, для выделения инженерно-геологических элементов в разрезе верхнекотлинских глин целесообразно проведение комплексных исследований, включающих полевое описание керна литологом, лабораторные исследования, проведение полевых опытных работ, геофизические методы и др.

Данные изучения параметров сопротивления сдвигу говорят о закономерном изменении угла внутреннего трения от 12 до 20°, свидетельствующее о переслаивании достаточно пластичных разностей (литотип 1) с менее пластичными (литотип 3). По лабораторным испытаниям сцепление варьирует в достаточно широком пределе – от 0,17 до 0,85 МПа. Модуль деформации таких пород также характеризуется разбросом значений. Минимальные его значения составляют 15 МПа, максимальные достигают 286 МПа. Отмечается тенденция к изменению этих отложений по площади.

При оценке несущей способности пород и выборе наиболее подходящего по экономическим и техническим критериям фундамента, определяющим фактором является трещиноватость. Зональность строения толщи и интенсивность ее трещиноватости освещены в работах Дашко Р.Э.[1]

#### Литература

1. Дашко Р.Э. Особенности инженерно-геологических условий Санкт-Петербурга / Р.Э. Дашко, О.Ю. Александрова, П.В. Котюков, А.В. Шидловская // Развитие городов и геотехническое строительство. 2011. №13. С.25-71.

## ИССЛЕДОВАНИЯ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ГОРНЫХ ПОРОД АЙНСКОГО ЗОЛОТОРУДНОГО МЕСТОРЖДЕНИЯ И ОЦЕНКА УСТОЙЧИВОСТИ В БОРТАХ КАРЬЕРОВ

**В.Е. Ольховатенко, Е.Г. Прянишников**

Томский государственный архитектурно-строительный университет,  
г. Томск, пл. Соляная, 2. E-mail: igg@tsuab.ru

Айнское золоторудное месторождение расположено на о. Уруп Курильского района и приурочено к краевой части вулcano-тектонической структуры. При разработке Айнского золоторудного месторождения откры-

тым способом важное значение приобретает проблема устойчивости бортов карьеров, решение которой зависит в значительной степени от состава, состояния и физико-механических свойств горных пород. В геологическом строении месторождения принимают участие вулканогенно-осадочные отложения рыбаковской свиты, а также вулканические образования и отложения фрегатской толщи. Среди них наибольшее влияние на разработку месторождения будут оказывать породы стратиграфо-генетического комплекса рыбаковской свиты, субвулканические образования рыбаковского вулканического андезитного комплекса и гидротермально измененные породы, представленные кварцитами, аргиллизитами и тектонической брекчией. В состав рыбаковской свиты входят туффиты. Субвулканические образования рыбаковского вулканического андезитового комплекса представлены андезитами, базальтами, диоритами, дацитами.

Характеристика физико-механических свойств пород выделенных типов приведена в таблице 1.

*Туффиты псефитовые* пользуются довольно широким распространением и имеют мощность 2-10 м. Плотность пород колеблется в пределах 2,00-2,50 г/см<sup>3</sup> при среднем значении 2,21 г/см<sup>3</sup>, предел прочности при одноосном сжатии изменяется от 1,38 до 26,80 МПа.

*Туффиты псаммитовые* характеризуются более высокими прочностными показателями. Так, среднее значение предела прочности при сжатии составляет 11,38 МПа, растяжении 1,89 МПа. Выше на 3° оказался и угол внутреннего трения псаммитовых туффитов по сравнению с псефитовыми (таблица 1).

*Алевро-псаммитовые туффиты* имеют мощность 10-13 м и характеризуются самой высокой прочностью по сравнению с предыдущими типами пород. Предел прочности при одноосном сжатии этих пород колеблется от 1,79 до 19,09 МПа. Угол внутреннего трения равен 35°, а удельное сцепление 4,56 МПа.

*Туффиты аргиллизированные* наибольшим распространением пользуются в разрезе и имеют мощность 16 м. Плотность данного типа пород составляет 2,30-2,36 г/см<sup>3</sup>, предел прочности при одноосном сжатии 3,96-16,88 МПа, при среднем значении 11,33 МПа.

*Аргиллизиты по туффитам* также пользуются широким распространением на месторождении, а их мощность колеблется от 8,0 до 22,8 м. Плотность пород изменяется от 2,07 до 2,59 г/см<sup>3</sup>, предел прочности при одноосном сжатии в среднем составляет 6,31 МПа, растяжения 1,32 МПа, угол внутреннего трения 33°, а удельное сцепление 1,72 МПа.

*Аргиллизиты по псефитовым туффитам* характеризуются более низкими значениями прочностных показателей по сравнению предыдущим типом пород. Так предел прочности при одноосном сжатии оказался ниже на 3,0 МПа, а при растяжении на 0,79 МПа. Ниже оказался угол внутреннего трения и удельное сцепление, которое в среднем составляет 32° и 0,86 МПа.

Таблица 1

**Физико-механические свойства горных пород Айнского  
золоторудного месторождения**

| №<br>п/п | Типы пород                                  | Физико-механические свойства |                     |                  |               |                  |
|----------|---|------------------------------|---------------------|------------------|---------------|------------------|
|          |   | $\rho$ , г/см <sup>3</sup>   | $\sigma_{сж}$ , МПа | $\sigma_p$ , МПа | $\phi$ , град | C, МПа           |
| 1        | Туффиты<br>псефитовые                       | <u>2,00-2,50</u>             | <u>1,38-26,80</u>   | <u>0,23-4,50</u> | <u>22-35</u>  | <u>0,37-8,00</u> |
|          |   | 2,21                         | 8,23                | 1,39             | 30            | 2,28             |
| 2        | Туффиты<br>псаммитовые                      | <u>2,05-2,27</u>             | <u>1,80-36,0</u>    | <u>0,30-6,00</u> | <u>27-42</u>  | <u>0,50-2,25</u> |
|          |   | 2,17                         | 11,38               | 1,89             | 33            | 1,58             |
| 3        | Туффиты<br>алевро-<br>псаммитовые           | <u>2,37-2,68</u>             | <u>1,79-36,4</u>    | <u>0,29-6,07</u> | <u>34-36</u>  | <u>0,42-8,70</u> |
|          |   | 2,52                         | 19,09               | 3,18             | 35            | 4,56             |
| 4        | Туффиты<br>аргиллизиро-<br>ванные           | <u>2,30-2,36</u>             | <u>3,96-16,88</u>   | <u>0,66-2,81</u> | <u>30-38</u>  | <u>0,75-5,00</u> |
|          |   | 2,34                         | 11,33               | 1,88             | 32            | 3,18             |
| 5        | Аргиллизиты<br>по туффитам                  | <u>2,07-2,59</u>             | <u>1,48-21,0</u>    | <u>0,24-5,32</u> | <u>25-45</u>  | <u>0,60-5,80</u> |
|          |   | 2,24                         | 6,31                | 1,32             | 33            | 1,72             |
| 6        | Аргиллизиты<br>по псефитовым<br>туффитам    | <u>2,18-2,42</u>             | <u>0,72-6,19</u>    | <u>0,12-1,26</u> | <u>29-36</u>  | <u>0,18-1,75</u> |
|          |   | 2,32                         | 3,25                | 0,59             | 32            | 0,86             |
| 7        | Аргиллизиты<br>по псаммито-<br>вым туффитам |                              | <u>0,72-5,33</u>    | <u>0,12-0,75</u> | <u>32-34</u>  | <u>0,18-1,50</u> |
|          |   | 2,36                         | 3,02                | 0,43             | 33            | 0,84             |
| 8        | Продвинутые<br>аргиллизиты                  | <u>1,94-2,53</u>             | <u>2,60-21,50</u>   | <u>0,43-3,50</u> | <u>30-43</u>  | <u>0,60-4,30</u> |
|          |   | 2,25                         | 8,76                | 1,47             | 35            | 2,00             |
| 9        | Андезиты                                    | <u>2,39-2,70</u>             | <u>8,13-27,81</u>   | <u>2,32-8,61</u> | <u>34-40</u>  | <u>2,00-7,00</u> |
|          |   | 2,26                         | 18,68               | 4,19             | 35            | 4,85             |
| 10       | Дациты                                      | <u>2,31-2,40</u>             | <u>2,10-6,72</u>    | <u>0,35-1,12</u> | <u>27-33</u>  | <u>0,62-1,75</u> |
|          |   | 2,36                         | 3,99                | 0,79             | 31            | 1,04             |
| 11       | Кварцевые ме-<br>тасоматиты                 | <u>2,18-2,32</u>             | <u>2,56-22,37</u>   | <u>0,43-3,71</u> | <u>38-40</u>  | <u>0,55-6,00</u> |
|          |   | 2,24                         | 12,69               | 2,20             | 39            | 2,68             |
| 12       | Тектоническая<br>брекчия                    | <u>2,47-2,63</u>             | <u>2,30-6,60</u>    | <u>0,60-1,10</u> | 39            | <u>0,50-1,50</u> |
|          |   | 2,55                         | 4,45                | 0,85             |               | 1,0              |
| 13       | Вторичные<br>кварциты                       | <u>2,12-2,25</u>             | <u>14,7-24,10</u>   | <u>2,40-4,00</u> | 35            | <u>4,00-7,00</u> |
|          |   | 2,18                         | 19,40               | 3,20             |               | 5,50             |

*Аргиллизиты по псаммитовым туффитам* имеют мощность 6-10 м и практически не отличаются по своим физико-механическим свойствам от предыдущего типа пород. Плотность этих пород оказалась выше на 0,04 г/см<sup>3</sup>, предел прочности при одноосном сжатии на 0,23 МПа, а при растяжении на 0,16 МПа ниже.

*Продвинутые аргиллизиты* пользуются широким распространением, а их мощность изменяется от 3,6 м до 21,6м. По сравнению с другими типами аргиллизитов они характеризуются самой высокой прочностью, имея средний предел прочности при одноосном сжатии 8,76 МПа, а растяжения 1,47 МПа.

Угол внутреннего трения в среднем равен  $35^{\circ}$ , а удельное сцепление 2,0 МПа (таблица 1).

*Андезиты* наибольшим распространением пользуются в разрезе скважины 283, где их мощность составляет 36,0 м. По своим прочностным свойствам они существенно отличаются от всех рассматриваемых выше типов пород. Предел прочности при одноосном сжатии андезитов изменяется от 8,13 до 27,81 МПа, при среднем значении 18,68 МПа, а предел прочности при растяжении от 2,32 до 8,61 МПа, с средним значением 4,19 МПа. Средний угол внутреннего трения равен  $35^{\circ}$ , а среднее значение удельного сцепления составляет 4,85 МПа.

*Дациты* пользуются в разрезе незначительным распространением и характеризуются низкими значениями прочностных характеристик. Так, среднее значение предела прочности при одноосном сжатии составляет 3,99 МПа, а растяжения 0,79 МПа. Плотность дацитов изменяется от 2,31 до 2,40 г/см<sup>3</sup>.

*Кварцевые метасоматиты* встречаются практически в разрезах всех инженерно-геологических скважин и имеют мощность 10-15 м. Плотность данного типа пород колеблется от 2,18 до 2,31 г/см<sup>3</sup>, предел прочности при одноосном сжатии от 2,56 до 22,37 МПа, а предел прочности при растяжении от 0,43 до 3,71 МПа.

*Тектоническая брекчия* представляет собой псефо-агломератовые туффиты тектонической зоны. Данный инженерно-геологический элемент пользуется ограниченным распространением и характеризуется низкими значениями прочностных показателей. Средний предел прочности при одноосном сжатии равен 4,45 МПа, растяжении 0,85 МПа. В отличие от других типов пород тектоническая брекчия имеет высокий угол внутреннего трения ( $39^{\circ}$ ), что обусловлено особенностями состава и структуры.

*Вторичные кварциты* встречаются в разрезе на глубине 113,5 м и имеют мощность 7,0 м. Данный тип пород обладает самой высокой прочностью. Предел прочности при одноосном сжатии составляет в среднем 19,40 МПа, при растяжении – 3,20 МПа, а удельное сцепление изменяется от 4,00 до 7,00 МПа, при среднем значении 5,50 МПа.

Из приведенной характеристики пород Айнского золоторудного месторождения можно сделать вывод, что наиболее устойчивыми в бортах карьера окажутся туффиты алевро-псаммитовые, андезиты и вторичные кварциты, которые отличаются самой высокой прочностью. Менее устойчивыми будут аргиллизиты по псефитовым и псаммитовым туффитам. Промежуточное положение занимают псаммитовые и аргиллизированные туффиты, а также продвинутые аргиллизиты. Следует отметить, что прочностные характеристики в массиве будут отличаться от прочностных характеристик в куске. Поэтому при расчётах устойчивости бортов в расчетное значение удельного сцепления вводится коэффициент структурного ослабления сцепления, который, получается, по данным натуральных испытаний или рассчитывается методом Г.Л. Фисенко [1].

С использованием полученных результатов исследований были обоснованы нормативные и расчётные характеристики пород и проведены рас-

четы устойчивости бортов карьера методом логарифмической спирали (таблица 2).

Таблица 2

**Результаты расчетов устойчивости бортов карьеров  
Тополихинского участка Союзного месторождения графита**

| Борта карьера | Разведочные линии | Глубина, м | Угол наклона, град | Коэффициенты устойчивости |                       |
|---------------|-------------------|------------|--------------------|---------------------------|-----------------------|
|               |                   |            |                    | без учета сейсмичности    | с учетом сейсмичности |
| правый        | 82                | 100        | 24                 | 1,59                      | 1,20                  |
| левый         |                   | 110        | 31                 | 1,62                      | 1,22                  |
| правый        | 90                | 80         | 21                 | 1,92                      | 1,41                  |
| левый         |                   | 95         | 24                 | 1,60                      | 1,21                  |

Выполненные расчеты показали, что при заданных параметрах бортов карьера полученные расчетом коэффициенты устойчивости бортов выше нормативных значений. Отсюда можно сделать вывод, что устойчивость бортов карьера на весь период отработки золоторудного месторождения будет обеспеченной при нормальной его эксплуатации.

**Литература**

1. Техничко-экономическое обоснование параметров временных разведочных кондиций и подсчет запасов золота и серебра Айнского месторождения Западно-Гетяевского участка Сахалинской области. Книга 1. – М.: ООО «Курилгео», 2008. – 211 с.
2. Фисенко Г.Л. Устойчивость бортов карьеров и отвалов. – М.: Недра, 1965. – 260 с.

**ОЦЕНКА ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ФУНКЦИЙ СОВРЕМЕННЫХ  
ЗОЛОВЫХ ПЕСЧАНЫХ МАССИВОВ БАЙКАЛЬСКОГО РЕГИОНА**

**М.Н. Рубцова**

Институт земной коры СО РАН, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 128. E-mail: rubtsova83@inbox.ru

Современные золотые песчаные массивы Байкальского региона рассматриваются в качестве геологического пространства как среда обитания и инженерно-строительной деятельности человека (ресурсная функция), среда развития природных и техногенных геологических процессов (геодинамическая функция), а также среда возможного загрязнения (геохимическая функция) [11].

Особенность исследуемых объектов заключается в их экологической значимости, так как одни из них располагаются в пределах особо охраняемых

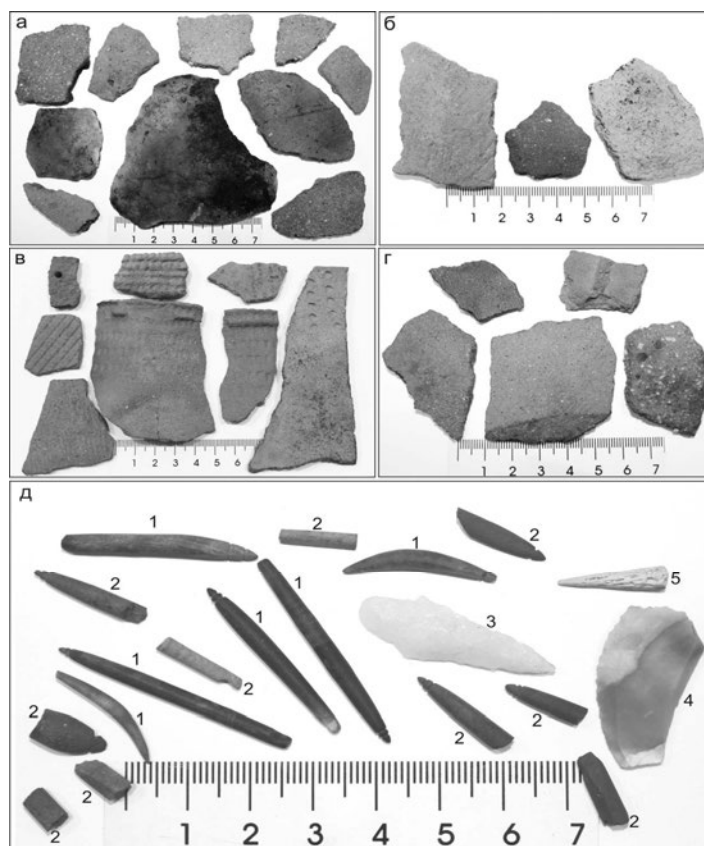
территорий (Баргузинский заповедник, Прибайкальский, Забайкальский и Тункинский национальные парки), другие – являются памятниками природы (Чарский песчаный массив), поэтому любая деятельность, включая инженерно-строительную, должна обеспечивать оптимизацию (минимизацию) техногенных нагрузок. В связи с этим оценка экологических функций современных эоловых песчаных массивов региона имеет особое значение.

Оценка ресурсного потенциала эоловых песчаных отложений выполнена на базе комплексной инженерно-геологической информации об их составе, состоянии и свойствах, что позволило определить степень устойчивости их к природно-техногенным воздействиям [7]. В результате установлено, что данные образования относятся к наиболее чувствительному компоненту геологической среды региона и являются слабоустойчивыми в природных и техногенных условиях. В значительной степени это обусловлено их генетическими особенностями, а именно: природной недоуплотненностью, структурной неустойчивостью и легкой подвижностью.

Геодинамическая экологическая функция современных эоловых отложений реализуется через развитие эоловых процессов, проявляющихся в дефляции и аккумуляции рыхлого материала, и сопровождающихся воздействием на экосистемы и инженерные сооружения [1, 8]. На масштабы развития эоловых процессов в регионе указывают многочисленные засыпанные древние поселения, которые чаще всего вскрываются в днищах котловин выдувания и коридорах продува. Это служит подтверждением того, что удобные прибрежные участки заливов использовались человеком с древности для поселений. Погребенные культурные слои свидетельствуют о том, что около 5 тыс. лет назад началось возобновление эоловых процессов и аккумуляции эоловых песков [2, 3, 5, 6, 9]. Так, в песках заливов о. Ольхон (Сарайский залив) и восточного побережья оз. Байкал (Чивыркуйский залив, бухта Безымянная, окрестности пос. Горячинск) нами обнаружены фрагменты керамики и каменных орудий труда первобытного человека раннего неолита (рис. 1).

Наиболее ярко геодинамический потенциал эоловых отложений проявляется во время песчаных бурь, определяющих развитие современных процессов опустынивания. При сильных ветрах эоловый материал перемещается, засыпая на своем пути различные постройки, сооружения и коммуникации. Однако, в большей степени, активизация эоловых процессов проявляется в результате хозяйственной деятельности человека, способствующей резкому возрастанию подвижности песков (строительство зданий и сооружений, распашка полей, вырубка лесов и т.д.).

Геохимическая экологическая функция покровных отложений отражает оценку степени их загрязнения. Отличительной чертой этой функции является медико-санитарная ориентированность [11]. С целью установления возможного загрязнения современных эоловых песчаных отложений региона методом рентгенофлуоресцентного анализа (РФА) выполнено исследование химического состава, как основных порообразующих элементов, так и микроэлементов.



**Рис. 1. Артефакты, представленные керамикой (а – г) и каменными изделиями (д) древнего человека, обнаружены на поверхности эоловых песков в нишах и котловинах выдувания:**

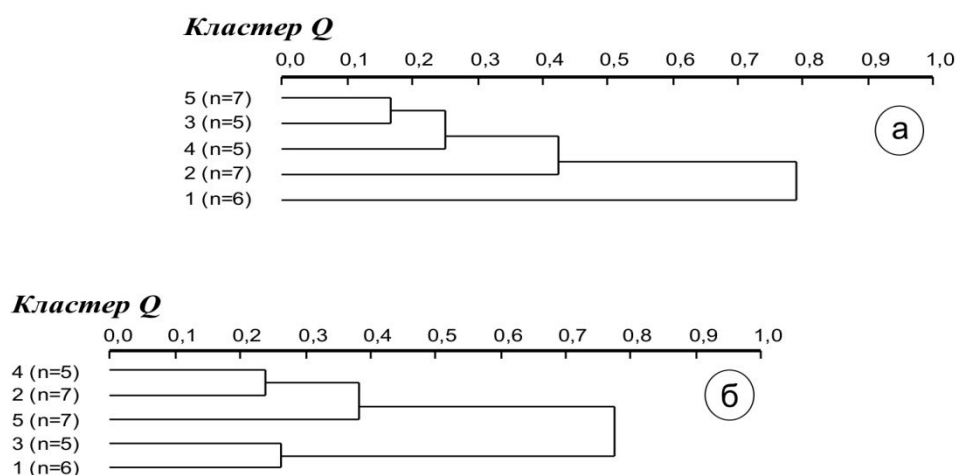
*а* – бухта Безымянная, *б* – Чивыркуйский залив, *в* – Сарайский залив, *г* – окрестности пос. Горячинск; 1 – рыболовные крючки; 2 – обломки рыболовных крючков; 3 – наконечник стрелы; 4 – лезвие ножа; 5 – обломок костяной иглы.  
 Определения выполнены д.и.н. Г.И. Медведевым, ИГУ

Результаты статистического анализа указывают на однородное распределение таких оксидов, как  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  и  $\text{MgO}$ , имеющих соответствующие значения коэффициентов вариации 10–24%. Остальные компоненты химического состава ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ ,  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{P}_2\text{O}_5$ ,  $\text{MnO}$ ) отличаются существенной изменчивостью (коэффициенты вариации составляют 32–53%).

С помощью кластер-анализа (Q-тип) проведено группирование исследуемых эоловых отложений по степени сходства их химического состава (рис. 2а). Четко выделился только один кластер (эвклидово расстояние 0,17–0,25), включающий пески суходольных впадин (Чарской, Тункинской и Баргузинской), характеризующихся близким химическим составом. Отмечено



однородное распределение средних содержаний большинства основных оксидов (%): SiO<sub>2</sub> (76,6), Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (13,08), Na<sub>2</sub>O (3,31), Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (1,57), MgO (0,56), TiO<sub>2</sub> (0,34) и P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (0,08), коэффициенты вариации которых составили 4–26%. Для остальных оксидов (K<sub>2</sub>O (2,92), CaO (2,81), MnO (0,04)) отмечена повышенная изменчивость (коэффициенты вариации 34–41%). Эоловые пески аквальных впадин (восточное побережье оз. Байкал и о. Ольхон) характеризуются индивидуальными особенностями химического состава (эвклидово расстояние 0,42 и 0,78). Так, пески восточного побережья оз. Байкал отличаются минимальным содержанием SiO<sub>2</sub> (68,83) и максимальными – Na<sub>2</sub>O (4,39), K<sub>2</sub>O (4,31), P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (0,13), а пески о. Ольхон – максимальными содержаниями SiO<sub>2</sub>, (84,40), Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (3,43), TiO<sub>2</sub> (0,52), MnO (0,08) и минимальными – Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (6,26), Na<sub>2</sub>O (1,22), K<sub>2</sub>O (0,81), P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (0,04). Все вышеизложенное может указывать на то, что химический состав современных эоловых массивов региона отражает особенности их формирования в суходольных и аквальных впадинах.



**Рис. 2. Группирование современных эоловых песчаных отложений региона по данным химического (а) и микроэлементного (б) состава (использовались средние значения):**

1-5 – районы исследований: 1 – о. Ольхон; 2 – восточное побережье оз. Байкал; 3 – Тункинская долина; 4 – Баргузинская долина; 5 – Чарская впадина; n – количество образцов

Изучение микроэлементного состава эоловых отложений представляет отдельный этап в исследовании их геохимической экологической функции. Выполнены определения 18 элементов (V, Cr, Co, Ba, Ce, S, Cl, As, Ni, Cu, Zn, Pb, Sn, Nb, Zr, Y, Sr, Rb). В качестве общих особенностей эоловых отложений региона можно отметить существенное (> 100 мг/кг) присутствие таких элементов, как Ba (858), Sr (523), Zr (114) и Cl (105). Средние концентрации ос-

тальных элементов распределяются следующим образом (мг/кг): Rb (80), S<sub>(общ)</sub> (59), Ce (51), V (42), Zn (34), Cr (29), Pb (17), Y (15), Cu (12), Ni (11), Nb (8), As (7), Co (6), Sn (3). Часть элементов (Cl, V, Pb, Cu, As, Y, Sn) имеют однородное распределение (коэффициенты вариации 9–29%), остальные характеризуются широкой изменчивостью (коэффициенты вариации 33–54%).

Проведенный кластер-анализ (Q-тип) песчаных образований по данным элементного состава выявил следующую особенность (рис. 26). Во-первых, выделилось две самостоятельные группы эоловых отложений, существенно отличающиеся друг от друга (эвклидово расстояние 0,78). Причем, одна включала эоловые массивы о. Ольхон и Тункинской долины, характеризующиеся более тесным сходством элементного состава (эвклидово расстояние 0,27), другая – пески Чарской и Баргузинской впадин, а также отложения восточного побережья оз. Байкал (эвклидово расстояние 0,26–0,39). Установлено, что песчаные массивы о. Ольхон и Тункинской впадины отличаются пониженными содержаниями (мг/кг): Ba (520), Sr (400), Rb (40) и относительно повышенными концентрациями Zn (47), Cr (42), Cu (14), Ni (14), As (8,5). Отложения Чарской и Баргузинской впадин, восточного побережья оз. Байкал, наоборот, характеризуются максимальными содержаниями Ba, Rb, Ce, Cl и минимальными – S, Zn, Cu, Ni, Pb, Y, Cr.

Далее нами была выполнена оценка степени загрязнения отложений с выделением класса состояния [10]. Данная оценка основана на дифференцированном подходе к анализу содержаний тяжелых элементов с учетом класса их опасности. Проведено сопоставление содержаний тяжелых металлов первого (As, Pb, Zn), второго (Co, Ni, Cu, Cr,) и третьего (V) классов опасности [4]. В результате установлено, что класс состояния эоловых отложений Чарской и Баргузинской впадин, а также восточного побережья оз. Байкал соответствует норме, поскольку концентрации всех тяжёлых элементов ниже ПДК. А вот пески о. Ольхон и Тункинской впадины относятся к классу состояния риска, потому что концентрации As и Zn (компоненты 1-го класса опасности) находятся на уровне ПДК. Объяснить такую ситуацию можно повышенными техногенными воздействиями на геологическую среду отдельных территорий о. Ольхон и Тункинской впадины.

Таким образом, оценка экологических функций современных эоловых песчаных массивов Байкальского региона выявила решающую роль техногенеза в трансформации их ресурсного, геодинамического и геохимического потенциала, что позволяет рассматривать данные образования в качестве фактора геоэкологического состояния территории.

#### Литература

1. Агафонов Б.П., Акулов Н.И., Рубцова М.Н. Восходящие песчаные потоки на Ольхоне и их воздействие на лесные массивы // Труды Прибайкальского национального парка. Вып. 2. Иркутск: Изд-во ИГУ, 2007, с. 302-317.
2. Акулов Н.И., Агафонов Б.П., Краснощёков В.В. Эоловые отложения, покрывающие стоянки древнего человека // Литология и полезные ископаемые. 2008. № 2, с. 209-222.

3. *Выркин В.Б.* Современное экзогенное рельефообразование котловин Байкальского типа // Иркутск: Изд-во ин-та географии СО РАН, 1998.
4. *ГОСТ 17.4.1.02–83.* Почвы. Охрана природы. Классификация химических веществ для контроля загрязнения. М.: Госстандарт, 1983.
5. *Логачев Н.А.* Антропогенная система // Геология СССР. Бурятская АССР. М.: Недра, 1964. Т. XXXV, с. 267-281.
6. *Мац В.Д.* О возрасте золотых песков в береговой полосе озера Байкал // Геологические и гидрологические исследования озёр Средней Сибири. Лиственничное на Байкале. 1973, с. 51-53.
7. *Рубцова М.Н.* Инженерно-геологическая оценка золотых отложений Прибайкалья // Материалы XXV Всероссийской молодежной конференции «Строение литосферы и геодинамика». Иркутск: Институт земной коры СО РАН, 2013, с.128-129.
8. *Рубцова М.Н., Акулова В.В.* Эоловые отложения Прибайкалья: экологический аспект // Сергеевские чтения. Вып. 10. М.: ГЕОС, 2008, с. 70-74.
9. *Тайсаев Т.Т.* Эоловые процессы в Приольхонье и на о. Ольхон (Западное Прибайкалье) // Докл. АН СССР. 1982. Т. 265. № 4, с. 948-951.
10. Теория и методология экологической геологии / В.Т. Трофимов и др. под ред. В.Т. Трофимова. М.: Изд-во МГУ, 1997.
11. *Трофимов В.Т., Зилинг Д.Г.* Экологическая геология. М.: Геоинформмарк, 2002.

## **СОСТАВ И СВОЙСТВА СЕЛЕВЫХ ОТЛОЖЕНИЙ НА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОМ УЧАСТКЕ КОДАР – ЛЕПРИНДО (БАМ)**

**Т.Г. Рященко**

Институт земной коры СО РАН, 664033 Иркутск, ул.Лермонтова, 128.  
E-mail: ryashenk@crust.irk.ru

Селевые отложения изучались в рамках хоздоговорных работ при реконструкции железнодорожного участка (1658–1673 км) трассы БАМ на перегоне станций Кодар – Леприндо в связи с обеспечением селезащитных мероприятий (Забайкальский край). 27 июля 2001 г. здесь наблюдалось катастрофическое событие: с южного склона хребта Кодар из трех параллельно расположенных водотоков произошел сход селевой массы объемом около 1,5 млн м<sup>3</sup> [4].

Следует заметить, что изучение селевых отложений в Прибайкалье начиналось еще в 80-90-х гг. прошлого века, когда на основе комплексных материалов, полученных в районах Северо-Муйского и Байкальского тоннелей трассы БАМ, была разработана модель формирования твердой фазы селей, один из блоков которой включал показатели состава и свойств различных геолого-генетических комплексов четвертичных отложений – дисперсных грунтов [8, 9]. Необходимость селевой защиты заставила вернуться к этому вопросу.

В грунтоведческую группу лаборатории инженерной геологии и геоэкологии в июле 2015 г. переданы 50 образцов нарушенной структуры природных дисперсных грунтов, отобранных А.Ю. Оргильяновым, П.С. Бадминовым и И.Г. Крюковой, сотрудниками лаборатории гидрогеологии Института земной коры СО РАН, в период кратковременных полевых исследований на селеопасном участке БАМа.

**На первом этапе**, который является обязательным в разработанной методической схеме подготовки объектов для различных видов лабораторных исследований [7], в камеральных условиях выполнены просмотр и описание всех образцов с использованием лупы четырехкратного увеличения, выделены геолого-генетические комплексы (ГГК) дисперсных грунтов, в числе которых особую группу составили селевые отложения (sl), представленные различными дисперсными разновидностями, отобранными в пределах конусов выноса или основного селевого потока.

На основе визуального просмотра каждому образцу присвоен номер с указанием глубины отбора, м (1–0,2; 2–1,0; 3–0,8 и т.д.), приведено наименование грунта (песок крупнозернистый, дресвяный, связный – глинистый; суглинок; почвенный покров; дресвяно-щебенистый грунт и т.д.) и указана его генетическая принадлежность. Для определения генезиса учитывалось геоморфологическое положение места отбора образца: русло или конус выноса селевого потока – селевые отложения (sl); склон – современный делювий (dQ<sub>4</sub>); стенка отрыва дисперсной массы от скального грунта («цирк») – элювий (например, элювий гранитоидов – е/гр) и т.д. Затем был составлен каталог с указанием вида лабораторных определений в зависимости от визуального наименования объекта (табл. 1).

Таблица 1

**Виды анализов и количество образцов (n)**

| Виды анализов  | n  | Виды анализов   | N  |
|--|----|---|----|
| Гранулометрия (ситовой метод)                                  | 33 | Углы откоса на воздухе и под водой – $\varphi^1, \varphi^2$ | 34 |
| Гранулометрия (комбинированный метод)                          | 12 | Коэффициент фильтрации – $K_f$                              | 10 |
| Гранулометрия (метод пипетки – три способа подготовки образца) | 7  | Емкость катионного обмена – ЕКО                             | 10 |
| Плотность – $\rho_s$   | 28 | Содержание гумуса – $C_{орг}$                               | 10 |
| Седиментационный объем – $V, \text{см}^3$                      | 26 | Природная влажность – W                                     | 41 |
|  |    | Пластичность – $I_p$  | 4  |

Поскольку среди образцов преобладают пески (от дресвяных до мелкозернистых и глинистых – связных), то гранулометрический анализ проводился преимущественно ситовым методом, для некоторых объектов – комбинированным (после отсева для фракции < 0,5 мм применялся метод пипетки); для песков необходимо определить углы естественного откоса на воздухе и

под водой (важно знать различия этих углов) и коэффициент фильтрации; значения седиментационного объема позволяют оценить плавунную способность песчаных разновидностей (выделяются типы потенциальных плавуннов и их группы); плотность минеральной части отражает генетические различия и, соответственно, влияние содержания тяжелых компонентов в терригенной части грунтов.

Для почв, супесей и связных (глинистых) песков гранулометрический состав определялся методом пипетки с тремя способами подготовки образцов, затем рассчитывались параметры микроструктуры [7]. Определялись также содержание гумуса и физико-химическая активность этих образований (ЕКО – емкость катионного обмена) и пластические свойства.

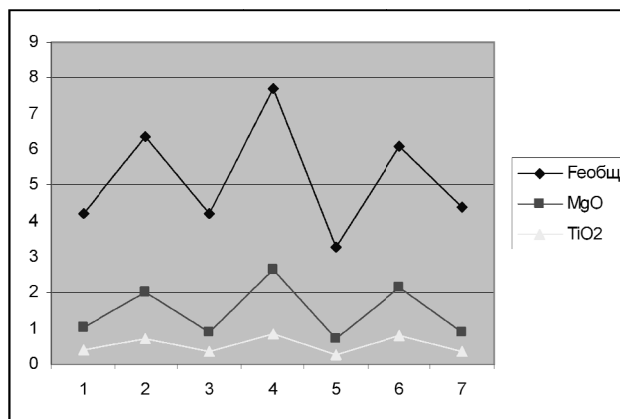
**На втором этапе** в соответствии с представленным каталогом проводятся лабораторные работы. По стандартным методикам определены гранулометрический состав грунтов (ситовой метод и комбинированный: рассев + пипетка), плотность минеральной части (пикнометрический метод), седиментационный объем, углы естественного откоса на воздухе и под водой, коэффициент фильтрации, число пластичности [1, 3]. Содержание гумуса определялось методом И.В. Тюрина [2], емкость катионного обмена – с применением красителя метиленового голубого [5].

Гранулометрический анализ методом пипетки проводился для почвы, супеси, суглинка, глинистого (связного) песка, при этом выполнялся с тремя способами подготовки образца с последующими расчетами микроструктурных параметров по методу «Микроструктура», из числа которых нас особенно интересовали количество и размеры агрегатов (степень агрегированности грунта), реальная глинистость и коэффициент свободы тонкоглинистой (< 0,001 мм) фракции [7].

Кроме того, в Аналитическом центре Института земной коры были исследованы семь образцов селевых отложений (sl) разреза 40 (мощность 1,0 м), в которых определялось содержание основных породообразующих оксидов и редких микроэлементов. Определения выполнены ведущим инженером Е.В.Худоноговой рентгенофлуоресцентным методом (РФА) на кристалл-дифракционном спектрометре S8 Tiger фирмы Bruker Nano GmbH (Германия) [6]. По этим данным были построены графики распределения исследованных компонентов в толще селевых накоплений. По содержанию общего железа, оксидов магния и титана (рис. 1), а также микроэлементов ванадия, кобальта, цинка, лантана, скандия, никеля, меди (рис. 2) установлена четкая ритмичность при формировании отложений (уменьшение – увеличение). Всего обнаружено семь циклов, которым соответствуют отрицательные и положительные пики на графиках.

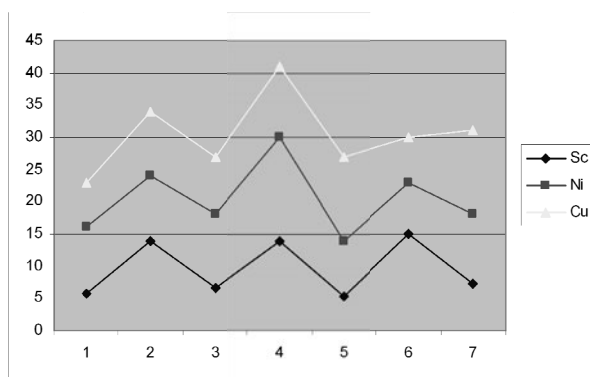
Эта ритмичность (цикличность) связана с разновременными периодами прохождения селевой массы, а также ее составом – при возрастании дисперсности материала увеличивается содержание компонентов – оксидов и микроэлементов и наоборот. При минимальных значениях содержания исследованных компонентов грунты, согласно стандартной классификации и визуальному описанию, представлены дресвяными песками и песками сред-

ней крупности, максимальном – связными песками, которые ранее были выделены в качестве особого (проблемного) типа грунтов [7].



**Рис. 1. Распределение породообразующих оксидов (%) в образцах селевых отложений (sl) разреза 40**

Горизонтальная ось – образцы (1–0,10 м; 2–0,25 м; 3–0,40; 4–0,62; 5–0,68; 6 –0,85; 7–0,90), вертикальная – содержание компонентов (%)



**Рис. 2. Распределение скандия, никеля, меди (ppm) в образцах селевых отложений (sl) разреза 40.**

Горизонтальная ось – образцы (рис. 1), вертикальная – содержание компонентов (ppm = 0,0001 %).

**На третьем этапе** проводится анализ полученных комплексных материалов с соответствующими выводами научно-практического характера. На основе визуального детального описания образцов с учетом зафиксированного в процессе полевых исследований места отбора выделены следующие геолого-генетические комплексы дисперсных грунтов, в том числе селевые отложения – sl, aQ<sub>4</sub>, dQ<sub>4</sub>, pQ<sub>4</sub>, fgQ<sub>3-4</sub>, e/гр, почва). Установлена низкая степень

дисперсности твердой составляющей селевых потоков исследованного района, связанная с преобладанием процессов физического выветривания «коренной основы», что определяется климатическим фактором. Значения коэффициента фильтрации (2,4–44,3 м/сут) подтвердили высокую, но разнородную водопроницаемость «грубых» грунтов, которые образуют твердую составляющую селевых потоков.

Впервые при изучении селевых отложений использованы геохимические методы (определены содержания породообразующих оксидов и микроэлементов), с помощью которых установлены семь циклов при накоплении толщи, которые фиксировались ритмичными изменениями содержания указанных компонентов.

Впервые применен метод «Микроструктура», с помощью которого установлена низкая степень агрегирования исследованных грунтов, при этом особые признаки выявлены для почвенных покровов (в том числе из солифлюкционного сплыва) и связных песков.

По результатам комбинированного гранулометрического анализа установлена очень важная особенность твердой составляющей селей (исследовано 12 образцов – делювий, флювиогляциальные отложения, элювий гранитоидов, селевые отложения) – практически здесь отсутствуют глинистые (< 0,002 мм) и пылеватые (0,05–0,002 мм) фракции.

Определение седиментационного объема исследованных образцов показало, что грунты относятся к потенциально плавунным разновидностям первого типа, которые не имеют структурных связей; исключением являются почвенные покровы и связные пески, агрегированные и с относительно повышенной реальной глинистостью.

Предложена своеобразная «гипотеза», объясняющая резкое снижение угла естественного откоса под водой для исследованных дресвяных песков и крупнообломочных дресвяных разновидностей: при отсутствии структурных связей главную роль играют силы трения между частицами, которые в водной среде уменьшаются, что вызывает плавунность материала, в результате угол откоса снижается на 11–20°. Слабая пластичность отмечена только в почвенном сплывшем покрове; селевые отложения этим свойством не обладали.

В заключение можно сделать три важных практических вывода.

Во-первых, рекомендуем на селеопасных участках проводить лабораторное изучение твердой составляющей селей по предложенной методической схеме, включающей три этапа.

Во-вторых, особенностью исследованного района является грубый состав селевого материала (в источниках его накопления и в перемещенных селевых массах), а также почти полное отсутствие глинистых и пылеватых фракций (исключением являются почвенные покровы и связные пески).

В-третьих, выявлена потенциальная плавунная способность грунтовых масс, обладающих только силами трения между частицами.

Следовательно, для данного района защита от селевых процессов требует разработки особых инженерных способов.

## Литература

1. ГОСТ 5180–84. Методы лабораторного определения физических характеристик грунтов. Изд-во стандартов, 1984.
2. Лабораторные работы по грунтоведению: Учебное пособие / Под ред. В.Т. Трофимова и В.А. Королева. М., Высшая школа, 2008.
3. *Ломтадзе В.Д.* Физико-механические свойства горных пород. Методы лабораторных исследований. Л.: Недра, 1990.
4. *Макаров С.А.* Сели Прибайкалья. Иркутск: Изд-во Института географии им. В.Б. Сочавы СО РАН, 2012.
5. Методические рекомендации по определению физико-химических свойств почв и грунтов при инженерно-геологических и почвенно-мелиоративных изысканиях / Под ред. Л.И. Кульчицкого. М.: Союзводпроект, 1977.
6. *Ревенко А.Г.* Физические и химические методы исследования горных пород и минералов в Аналитическом центре ИЗК СО РАН // Геодинамика и тектонофизика. 2014. Т. 5 (1), с. 101–114.
7. *Рященко Т.Г.* Региональное грунтоведение (Восточная Сибирь). Иркутск: Институт земной коры СО РАН, 2010.
8. *Рященко Т.Г., Макаров С.А.* Формирование твердой составляющей селей в Северном Прибайкалье // Геологические и экологические прогнозы. Новосибирск: Наука, 1984, с. 44–50.
9. *Riashchenko Tamara, Makarov Stanislav.* Debris-flow solid-phase formation // Debris-flow Hazards Mitigation: Mechanics, Prediction, and Assessment / Proceedings of First International Conf. New York: ASCE, 1997, p. 158–164.

## СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ СТАТИЧЕСКОГО И ДИНАМИЧЕСКОГО МОДУЛЕЙ УПРУГОСТИ ГРАНИТОВ И ГНЕЙСОВ АЛДАНСКОГО ЩИТА

**Ю.В. Фролова, Н.А. Патрушева**

МГУ имени М.В.Ломоносова, Геологический факультет. E-mail: ju\_frolova@mail.ru

**Введение.** Существуют два основных метода определения деформационных свойств горных пород – динамический и статический. Статический метод заключается в деформировании образца внешними фиксированными нагрузками с одновременным измерением возникающих в образце деформаций. При определении показателей деформируемости динамическим (сейсмоакустическим) методом нагрузка передается в виде импульсов различной частоты. В отличие от статического одноосного сжатия данный вид нагружения имеет иные количественные характеристики интенсивности и времени воздействия, а как следствие – существенно иные величины и характер возникающих деформаций. В частности, действующие напряжения и возникающие деформации на 2-6 порядков ниже, чем в статических условиях [2]. Значения упругих характеристик, получаемых двумя вышеуказанными методами, существенно различаются. Динамический модуль упругости обычно пре-



вышает статический модуль на величину в пределах от 20–30 до 80–100% и более, в зависимости от состава, структуры и текстуры породы [1]. В настоящее время динамический метод получает все большее распространение благодаря простоте, малой трудоемкости измерений и применению удобных в работе измерительных приборов. Поскольку метод статического нагружения образцов довольно трудоемкий, то возникает вопрос о взаимосвязи упругих свойств, полученных двумя разными методами, с возможностью дальнейшего расчета статического модуля упругости через динамический по корреляционной зависимости. В нормативных документах [5] и работе [3] приводится ряд формул пересчета динамических показателей деформационных свойств в статические. Однако единой взаимосвязи между статическим и динамическим модулями упругости нет, для разных пород предлагаются разные уравнения. Целью данного исследования является установление корреляционной взаимосвязи между статическим и динамическим модулями для пород плутоно-метаморфической формации архейско-протерозойского возраста Алданского щита.

**Методы исследования.** Измерения проводились на образцах керн с параллельными торцевыми поверхностями, с соотношением высоты к диаметру равным двум. Деформационные свойства определялись двумя методами – динамическим и статическим. Статический метод основан на измерении деформаций образцов исследуемых пород под нагрузкой. На прессе “Controls-1500” проводилось нагружение образцов в условиях одноосного сжатия до нагрузки, составляющей 50-60% от разрушающей, затем производилась разгрузка образца. В процессе нагружения и разгрузки с помощью автоматической записывающей аппаратуры (Datalog) велась непрерывная регистрация деформаций. Деформации (продольные и поперечные) измерялись потенциометрическими датчиками линейного перемещения (точность измерения 1 мкм).

*Динамический метод* определения деформационных свойств пород основан на измерении скоростей упругих волн, возбуждаемых в исследуемых образцах в диапазоне звуковых и ультразвуковых частот, по значениям которых рассчитывают упругие характеристики – коэффициент Пуассона  $\mu$  и динамический модуль упругости  $E_D$ :

$$\mu = (v_p^2 - 2 v_s^2) / (v_p^2 - v_s^2)$$

$$E_D = v_p^2 \rho (1 + \mu) (1 - 2\mu) / (1 - \mu)$$

где  $\rho$  – плотность грунта,  $v_p$  – скорость распространения продольных волн,  $v_s$  – скорость распространения поперечных волн.

Для измерений скоростей прохождения продольных и поперечных волн использовался прибор «Ультразвук» (частота импульса 250 кГц) [6].

В целях выявления взаимосвязи между показателями деформационных свойств, полученных статическим и динамическим методами, был проведен линейный регрессионный анализ с помощью программного комплекса «STATISTICA 6.0». Обработка данных проводилась по стандартной методике

для недетерминированной модели с использованием статистики  $t$  – Стьюдента [4].

Параллельно с измерением упругих характеристик по стандартным методикам были определены плотность ( $\rho$ ), пористость ( $n$ ), прочность на одноосное сжатие ( $R_c$ ) образцов [6]. Петрографические особенности исследованы с помощью прозрачных шлифов на оптическом микроскопе “Olympus-BX41”.

**Петрографическая характеристика и свойства пород.** Исследованные породы относятся к плутоно-метаморфической формации AR-PR и представлены гранитами, гранито-гнейсами и гнейсами. *Граниты* светло-серые до грязно-розового цвета с полнокристаллической, равномернозернистой, мелко-, среднезернистой структурой и однородной, массивной текстурой. Породообразующие минералы – K-Na полевые шпаты (до 65%), кварц (~25-30%), в меньших количествах (не более 10%) присутствуют биотит, роговая обманка, вторичный хлорит, рудные минералы. Средние значения свойств:  $\rho = 2,65 \text{ г/см}^3$ ,  $n=3\%$ ,  $R_c=112 \text{ МПа}$ . В зонах тектонического дробления и разгрузки напряжений породы характеризуются повышенной трещиноватостью. По трещинам наблюдается ожелезнение и развитие вторичных минералов, по полевым шпатам – пелитизация. Плотность и прочность пород снижаются. *Гранито-гнейсы* светло-серые до темно-розовато-серого цвета, с полнокристаллической, мелко-, среднезернистой структурой, гнейсовидной текстурой. Порода на 50–60% состоит из K–Na полевых шпатов и кварца (~ 30–40%), в меньших количествах присутствуют темноцветные минералы, карбонаты и рудные минералы (не более 10–15%). Средние значения свойств:  $\rho = 2,76 \text{ г/см}^3$ ,  $n = 3\%$ ,  $R_c = 109 \text{ МПа}$ . В зонах тектонического дробления в породах наблюдаются трещины параллельные гнейсованию, как открытые, так и заполненные вторичными минералами. *Гнейсы* от светло- до темно-серого цвета с полнокристаллической мелко-, среднезернистой структурой, гнейсовидной текстурой, выражающейся в чередовании лейкократовых и меланократовых прослоев. Преобладают полевошпатовые разности, реже встречаются биотит-роговообманковые и пироксеновые гнейсы с содержанием темноцветных минералов до 20%. К наиболее распространенным вторичным изменениям относятся пелитизация и серицитизация полевых шпатов. Средние значения свойств:  $\rho = 2,78 \text{ г/см}^3$ ,  $n=2,6\%$ ,  $R_c=99 \text{ МПа}$ . В зонах с повышенной трещиноватостью породы отличаются наличием трещин параллельных гнейсованию, как открытых, так и заполненных вторичными минералами.

Плутоно-метаморфический комплекс пород Алданского щита характеризуется сложным строением, обусловленным наличием разрывных нарушений, субвулканических тел и сложной дислоцированности. В связи с этим наблюдается широкая вариация степени вторичных изменений, структурно-текстурных особенностей пород, трещиноватости и физико-механических свойств даже в пределах одного петрографического типа. Как известно, одним из основных факторов, определяющим свойства пород и маркирующим разрывные нарушения, является трещиноватость. Ввиду данного обстоятельства было принято разделить породы на две группы по принадлежности к

зонам с разной степенью трещиноватости и сохранности пород. К первой группе были отнесены породы, связанные с зонами низкой степени трещиноватости (модуль открытой трещиноватости  $M_{тр} < 10$  тр/пог м, показатель качества пород  $RQD > 60\%$ ). Во вторую группу были объединены породы, связанные с зонами повышенной трещиноватости ( $M_{тр} > 20$  тр/пог и  $RQD < 50\%$ ), в частности, породы из зон тектонического дробления и зон разгрузки напряжений.

**Сравнение статического и динамического модулей.** С целью выявления взаимосвязи между данными показателями был проведен регрессионный анализ. Предварительно все породы были разбиты на две группы по принадлежности к зонам с различной степенью трещиноватости (на слаботрещиноватые породы и породы из зон повышенной трещиноватости) в связи с тем, что трещиноватость оказывает существенное влияние на деформационные свойства пород. Кроме того, предварительно проведенный регрессионный анализ между показателями деформационных свойств разных типов пород без учета трещиноватости показал слабую тесноту корреляционных связей (коэффициент корреляции  $r < 0,5$ ).

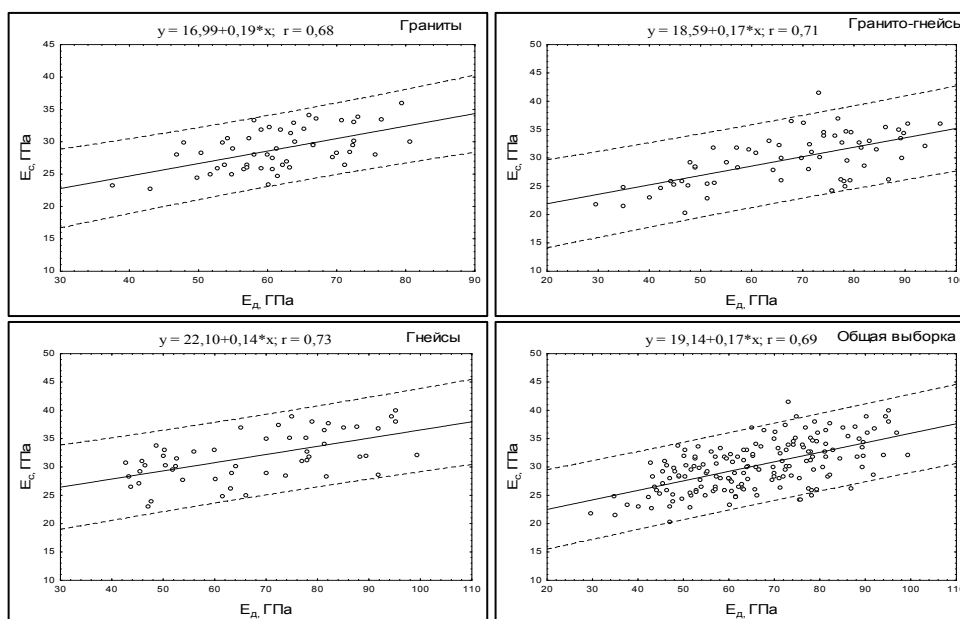
Таблица 1

**Результаты регрессионного анализа между статическим и динамическим модулем упругости пород Алданского щита**

| Порода   | Уравнение регрессии        | b                | a               | r    | Теснота корреляционной связи |
|--|----------------------------|------------------|-----------------|------|------------------------------|
| <i>Породы из зон пониженной трещиноватости</i> |                            |                  |                 |      |                              |
| Гранит   | $E_c = 16,99 + 0,19 * E_d$ | $16,99 \pm 2,57$ | $0,19 \pm 0,04$ | 0,68 | средняя                      |
| Гранито-гнейс                                  | $E_c = 18,59 + 0,17 * E_d$ | $18,59 \pm 1,92$ | $0,17 \pm 0,03$ | 0,71 | сильная                      |
| Гнейс  | $E_c = 22,10 + 0,14 * E_d$ | $22,10 \pm 2,02$ | $0,14 \pm 0,03$ | 0,73 | сильная                      |
| Общая выборка                                  | $E_c = 19,14 + 0,17 * E_d$ | $19,14 \pm 1,19$ | $0,17 \pm 0,02$ | 0,69 | средняя                      |
| <i>Породы из зон повышенной трещиноватости</i> |                            |                  |                 |      |                              |
| Граниты  | $E_c = 15,18 + 0,24 * E_d$ | $15,18 \pm 2,34$ | $0,24 \pm 0,04$ | 0,81 | сильная                      |
| Гранито-гнейсы                                 | $E_c = 12,72 + 0,30 * E_d$ | $9,72 \pm 2,56$  | $0,30 \pm 0,04$ | 0,80 | сильная                      |
| Гнейсы   | $E_c = 18,04 + 0,22 * E_d$ | $18,04 \pm 2,69$ | $0,22 \pm 0,04$ | 0,76 | сильная                      |
| Общая выборка                                  | $E_c = 14,14 + 0,25 * E_d$ | $14,14 \pm 1,51$ | $0,25 \pm 0,02$ | 0,77 | сильная                      |

В результате проведенного анализа получены уравнения линейной регрессии, а также параметры, характеризующие их репрезентативность (табл. 1, рис. 1). Полученные результаты свидетельствуют о достаточно тесной связи между статическими и динамическими показателями. Так, для слаботрещиноватых пород характерна сильная и средняя корреляционная связь между

статическим и динамическим модулями упругости. При этом коэффициент корреляции варьирует в очень узких пределах от 0,68 до 0,73. Регрессионный анализ взаимосвязи между статическим и динамическим модулями упругости пород из зон повышенной трещиноватости, показывает еще большую тесноту связи между показателями ( $r=0,76-0,81$ ). Отметим, что породы из зон с повышенной трещиноватостью, в целом, характеризуются большей теснотой корреляционной связи между статическим и динамическим модулями упругости.



**Рис. 1. Графическая интерпретация результатов регрессионного анализа между статическим и динамическим модулями упругости для пород из зон пониженной трещиноватости**

Полученные уравнения регрессии для двух групп пород (с повышенной и низкой степенью трещиноватости) заметно отличаются. Уравнения регрессии для пород из зон повышенной трещиноватости характеризуются большими значениями линейного коэффициента  $a$ , характеризующего угол наклона прямой регрессии к оси абсцисс, чем уравнения, связывающие показатели менее трещиноватых пород (табл. 1).

Среднее отношение  $E_d/E_c$  для всех типов пород составляет 2,2. Причем значение данного показателя для пород из зон с повышенной и пониженной степенью трещиноватости различается незначительно – 2,1 и 2,2 раза, соответственно.

**Выводы.** Сравнительная характеристика показателей деформационных свойств гранитов и гнейсов, полученных статическим и динамическим методами, показала достаточно тесную корреляционную связь между ними, причем более тесной связью характеризуются породы из зон повышенной трещиноватости. Как следует из регрессионного анализа, трещиноватость пород является одним из главных факторов, оказывающих значительное влияние на статические и динамические показатели упругих свойств и их количественное взаимоотношение. Полученные уравнения регрессии между статическими и динамическими показателями деформационных свойств заметно различаются для пород с повышенной и низкой степенью трещиноватости, в то время как внутри групп уравнения регрессии для разных петрографических типов пород варьируют незначительно. В среднем динамический модуль упругости выше статического в 2,2 раза.

#### Литература

1. Грунтоведение / Под ред. Е.М. Сергеева, 5-е изд. – М.: МГУ, 1983. – 388 с.
2. Лабораторные работы по грунтоведению / Под ред. В.Т. Трофимова, В.А. Королева. – Высш. шк., 2008. – 519 с.
3. *Никитин В.Н.* Основы инженерной сейсмологии. – М.: Изд-во МГУ, 1981. – 177 с;
4. *Самарин Е.Н., Бершов А.В., Фоменко К.И.* Курс лекций по методам статистической обработки инженерно-геологической информации: Учеб. пособие. – М.: Изд-во МГУ, 2004. – 196 с.
5. Свод правил по инженерным изысканиям для строительства СП 11-105-97 «Инженерно-геологические изыскания для строительства. Часть VI. Правила производства геофизических исследований». 2004.
6. *Фролова Ю.В.* Скальные грунты и методы их лабораторного изучения. – М.: КДУ. 2015. – 222 с.

### О ФОРМИРОВАНИИ СВОЙСТВ СОВРЕМЕННЫХ ГЛИНИСТЫХ ГРУНТОВ ГИДРОТЕРМАЛЬНОГО ГЕНЕЗИСА

**М.С. Чернов, В.Н. Соколов, Р.М. Белобородов, О.В. Разгулина,  
В.В. Крупская, А.Р. Алёшин**

Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, геологический факультет.  
119234, Москва, Ленинские горы, д.1. E-mail: chernov@geol.msu.ru

Гидротермальные глинистые грунты являются одним из наименее изученных типов глинистых грунтов. Тем не менее, и в нашей стране на Камчатке, и в ряде других стран (Исландия, Испания, Италия и др.) существуют районы с развитием таких грунтов, которые могут попадать в область инженерно-хозяйственной деятельности человека.

Гидротермальные системы в районах современного вулканизма формируются за счет взаимодействия близкого к поверхности эндогенного источника энергии (магматического очага или остывающего интрузивного тела) с подземными водами. При контакте с источником тепла подземные воды нагреваются и смешиваются с эндогенным флюидом, в результате чего образуется перегретая паро-газовая смесь. По мере подъема горячие гидротермы взаимодействуют с вмещающими породами и частично их растворяют или, взаимодействуя с магматическими минералами, образуют новые гидротермальные минеральные комплексы. Несмотря на постепенное продвижение перегретого флюида сквозь мощную толщу вулканогенных пород, наибольшие преобразования, вплоть до полной их аргиллизации, происходят вблизи дневной поверхности [1]. Воздействие высокотемпературных кислых растворов, расклинивающего давления водных пленок в тонких трещинах приводит к интенсивной аргиллизации скальных пород. Формирование новых глинистых минералов обуславливает повышение гидрофильности грунтов и при соответствующем подтоке флюида способствует увеличению их влажности и возрастанию площади поверхности взаимодействия порода-флюид. Все это способствует гидротермальному процессу образования новых частиц глинистых минералов.

Таким образом, можно сказать, что гидротермальные глинистые грунты – это первый от поверхности глинистый горизонт, формирующийся в результате гидротермальной переработки вулканогенных пород и развитый в пределах геотермальных полей – мест естественной разгрузки гидротермальных систем в районах современного вулканизма.

Толща гидротермальных глинистых грунтов образует сплошной покров мощностью 1,5-5 м в районе развития геотермальных полей, приуроченных к глубинным разломным зонам, по которым флюид поднимается к поверхности Земли. В толще гидротермальных глинистых грунтов сверху вниз можно четко выделить два горизонта: серно- и углекислотного выщелачивания, характеризующихся различным строением и минеральным составом [2].

Глинистые грунты в зоне сернокислотного выщелачивания имеют пеструю охристо-красную окраску и обладают брекчиевидной текстурой. В минеральном составе преобладает глинистый минерал каолинит. Грунты имеют блочное строение, между блоками присутствует налет ожелезнения либо тонкие корочки минералов кремнезема. Блоки разламываются с образованием раковистого излома. В выделенном горизонте присутствует большое количество псевдоморфоз по обломкам исходных пород.

Зона углекислотного выщелачивания сложена глинами зеленовато- и синевато-серого цветов. Она занимает большую часть толщи. В минеральном составе преобладают глинистые минералы группы смектита и смешанослойный минерал каолинит-смектит. В ней также присутствуют псевдоморфозы по обломкам материнских пород. Характерной особенностью выделенной зоны является наличие участков пропаривания. К ним приурочены скопления и сплошные корочки микрокристаллов пирита, марказита и кремнекислоты. Такие структуры обладают повышенной хрупкостью.

В гранулометрическом составе гидротермальных глинистых грунтов преобладают глинистая и пылеватая фракции (70-90%), причем содержание глинистой фракции иногда достигает 90%. Однако, в естественном сложении глинистая фракция таких грунтов полностью агрегирована, что связано с повышенной кислотностью среды. С увеличением глубины залегания грунтов содержание песчаной и пылеватой фракций увеличивается.

Специальные исследования ультрадисперсного состава показали, что во всех гидротермальных глинистых грунтах присутствуют минеральные наночастицы (фракции  $<0,1$  мкм), содержание которых в верхней части разрезов достигает 24-29% и к его основанию снижается до 4-9%. Изучение минерального состава ультрадисперсной фракции наноразмерных частиц, выявило присутствие во фракции не только собственно смектита и каолинита как дискретных глинистых минералов, но и смешанослойных минералов каолинит-смектит с различным содержанием смектитовых пакетов.

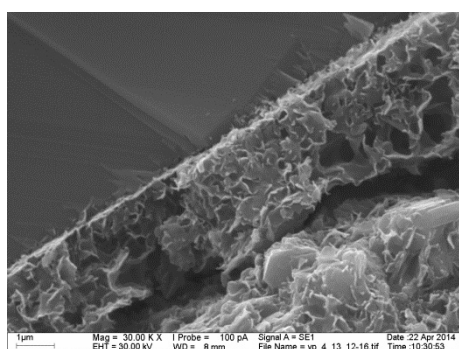
Вся толща гидротермальных глинистых грунтов обладает схожим, но неоднородным микростроением. В строении исследуемых грунтов преобладают микроstructures матричного и псевдоморфно-матричного типов. Глинистая матрица неориентированная, сложена микроагрегатами глинистых частиц и псевдоморфозами глинистых минералов по зернам материнской породы, в которые погружены новообразованные микрокристаллы пирита и минералов группы  $\text{SiO}_2$ , а также частично измененные микрокристаллы породообразующих минералов материнской породы. В основании толщи гидротермальных глин микроstructure имеет унаследованный характер, она относится к псевдоморфно-матричному типу и внешне неотличима от микроstructure андезита. Такой характер изменения микроstructure в толще глинистых грунтов обуславливает их уплотнение и упрочнение вниз по разрезу.

Процесс формирования микро- и наноструктур гидротермальных глинистых грунтов во многом определяется устойчивостью минералов к гидротермальному преобразованию. Вначале преобразуется вулканическое стекло, затем разрушается плагиоклаз и рудные минералы.

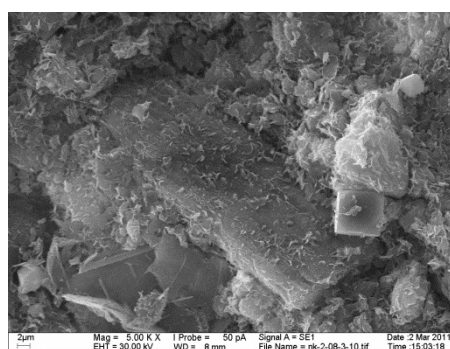
Замещение минералов материнской породы новообразованными глинистыми минералами происходит псевдоморфно. Поэтому в глинистой матрице присутствуют множественные включения и скопления псевдоморфоз глинистых частиц по глобулам вулканического стекла и по вытянутым микрокристаллам плагиоклазов.

Проведенные исследования показали, что вначале поверхность преобразуемого минерального зерна замещается глинистыми минералами, контактирующими по базальным поверхностям. Затем вокруг новообразованных глинистых минералов формируется гидратная пленка. Ее толщина постепенно увеличивается, что сопровождается возрастанием расклинивающего давления между глинистыми частицами. Со временем глинистые частицы отделяются от поверхности зерна и формируют сплошную высокопористую корочку на его поверхности (рис. 1). Описанные выше стадии повторяются, приводя к полному преобразованию исходного минерального зерна (рис. 2).

В настоящее время процесс гидротермальной переработки продолжается, и в исследуемых гидротермальных грунтах наряду с участками микроструктур, в которых между структурными элементами преобладают ближние коагуляционные контакты, сохраняются многочисленные участки глинистой матрицы и псевдоморфоз по зернам первичных минералов, между которыми преобладают фазовые контакты кристаллизационного типа. В итоге формируется грунт со смешанным типом контактов (фазовых и коагуляционных). Наличие фазовых контактов в грунте наряду с коагуляционными обуславливает повышенную структурную прочность гидротермальных глин и в ряде случаев определяет хрупкий и хрупкопластичный характер их разрушения при срезе и сжатии.



**Рис. 1. РЭМ-изображение контакта зерна плагиоклаза с «рубашкой» из глинистых частиц**



**Рис. 2. РЭМ-изображение псевдоморфозы по кристаллу плагиоклаза, полностью замещенного смешано-слоистыми минералами типа каолинит-сметтит**

С увеличением интенсивности гидротермальной переработки структурные элементы материнской породы полностью замещаются микроагрегатами глинистых минералов. В результате такого преобразования практически во всех изученных образцах наблюдается формирование участков, сложенных, в зависимости от минерального состава и морфологии наночастиц, минеральными наноструктурами доменоподобного, глобулярно-пластинчатого, губчатого, ячеистого и смешанного типов.

Все это приводит к резкому возрастанию количества контактов между минеральными частицами. За счет повышения дисперсности происходит увеличение пористости и возрастание удельной поверхности. Улучшается сорбционная способность и гидрофильность гидротермальных глинистых грунтов, повышается их пластичность.

Особенности микроструктуры и характер структурных связей напрямую влияют на значения показателей физических и физико-химических свойств и в значительной степени определяют величину и характер прочностных и деформационных свойств гидротермальных глинистых грунтов.



Изучение состава, строения и свойств гидротермальных глинистых грунтов, проводилось на коллекции более чем 100 образцов, отобранных из шурфов на 15 ключевых участках геотермальных полей Паужетской и Нижне-Кошелевской гидротермальных систем Южной Камчатки.

Исследования показали, что гидротермальные глинистые грунты характеризуются высокими значениями естественной влажности, которая убывает с глубиной от 116-84% в кровле до 60-38% в подошве толщи. Плотность грунта имеет тенденцию к увеличению с глубиной от 1,38-1,43 до 1,65-1,70 г/см<sup>3</sup>. Коэффициент пористости при этом изменяется от 2,38-3,42 до 1,24-1,73 соответственно. Число пластичности гидротермальных глинистых грунтов принимает значения в диапазоне от 2 до 55%, консистенция вниз по разрезу меняется от скрытотекучей ( $1,04 < I_L < 3,00$ ) до твердой ( $I_L < 0$ ).

По данным количественного анализа микроструктур по РЭМ-изображениям, проведенного с помощью ПО «STIMAN» [3], в поровом пространстве гидротермальных глинистых грунтов преобладают крупные (10-100 мкм) и мелкие межмикроагрегатные (1-10 мкм) микропоры. Их вклад в общую пористость значителен и достигает 70%. Межультрамикроагрегатные (0,1-1 мкм) и межчастичные (< 0,1 мкм) микропоры составляют 15-25% и 1-3% общей пористости, соответственно.

Большинство изученных образцов гидротермальных глинистых грунтов характеризуются высокой физико-химической активностью. Так, величина емкости катионного обмена достигает 110-140 мг-экв/100 г. Максимальная гигроскопическая влажность – 27-33%. Удельная поверхность – 270-300 м<sup>2</sup>/г.

Значения коэффициента сжимаемости, определенные при компрессии для интервала нагрузок 0,05-0,15 МПа изменяются от 10 до 0,6 МПа<sup>-1</sup>, что позволяет классифицировать гидротермальные глинистые грунты как сильносжимаемые по всей толще. Модуль общей деформации гидротермальных глин изменяется от 0,14 до 3,27 МПа.

При одноосном раздавливании образцы гидротермальных глинистых грунтов разрушаются как хрупкопластичные тела, при этом прочность на одноосное сжатие изменяется от 0,06 до 0,14 МПа. Значения сцепления гидротермальных глин при определении прочности на сдвиг изменяются в интервале 12-90 кПа, угла внутреннего трения – от 8 до 38°. Как правило, с увеличением глубины показатели прочностных и деформационных свойств грунтов несколько увеличиваются.

Анализ полученных данных о составе, строении и свойствах позволяют охарактеризовать гидротермальные глинистые грунты как высокопористые ультрадисперсные минеральные микро- и наносистемы, с преобладанием в них смешанного типа структурных связей.

*Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант 14-05-00708а). Исследования проведены с применением оборудования, приобретенного в рамках реализации Программы развития Московского университета.*

## Литература

1. *Bogie I., Lowless J.V., Rychagov S., Belousov V.* Magmatic-related hydrothermal systems: classification of the types of geothermal systems and their ore mineralization // Geothermal and mineral resources of modern volcanism areas. Petropavlovsk-Kamchatsky: OTTISK, 2005. P. 51-73.
2. *Рычагов С.Н., Соколов В.Н., Чернов М.С.* Гидротермальные глины геотермальных полей Южной Камчатки: новый подход и результаты исследований // Геохимия. 2012. № 4. С. 378–392.
3. *Соколов В.Н., Юрковец Д.И., Разгулина О.В.* Исследование микроструктуры грунтов с помощью компьютерного анализа РЭМ-изображений // Геоэкология. 2008. № 4. С. 377-382.
4. *Осипов В.И., Соколов В.Н., Румянцева Н.А.* Микроструктура глинистых пород / Под ред. академика Е.М. Сергеева. М.: Недра, 1989. 211 с.

### ЗАКОНОМЕРНОСТИ И ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ СВОЙСТВ ГЛИНИСТЫХ ГРУНТОВ В УСЛОВИЯХ ТЕХНОГЕНЕЗА (НА ПРИМЕРЕ ЭЛЕКТРОЛИЗНОГО И ГЛИНОЗЕМНОГО ПРОИЗВОДСТВА)

О.Ю. Ширинкин<sup>1</sup>, В.А. Елохин<sup>2</sup>

<sup>1</sup> ООО НПФ «ГеоС», г. Екатеринбург, ул. Основинская, 7. E-mail: shirinkin\_ku@mail.ru,

<sup>2</sup> УГГУ, кафедра ГлЗЧС, г. Екатеринбург, ул. Куйбышева, 30. E-mail: elokhin.v.a@mail.ru

Участок исследований приурочен к зоне развития эффузивных пород андезибазальтового состава среднедевонского возраста. Коренные породы в верхней части разреза разрушены до состояния дресвяно-щебенистого и глинистого материала, образуя, соответственно, обломочную и глинистую зоны коры выветривания материнских пород. На образованиях древней коры выветривания с угловым несогласием залегает толща гравийно-галечниковых и песчано-глинистых пород нижнемелового возраста, перекрытых маломощным чехлом аллювиально-делювиальных четвертичных отложений, скрывающихся под слоем современных техногенных грунтов.

Геолого-литологический разрез площадки до глубины 20 м слагают следующие разновидности грунтов (сверху-вниз).

1. Современные покровные образования представлены двумя подтипами техногенных грунтов:

– техногенный грунт (tQ) – распространен на всей территории с поверхности до максимальной глубины 6,0 м и представлен планомерно возведенными насыпями и отвалами перемещенных природных (почва, песок, глина) и антропогенно образованных (шлаки, отходы производств, строительный мусор) грунтов, а также асфальто-бетонными покрытиями поверхности;

– техногенно измененный грунт (tQ) – имеет локальное распространение на участке глиноземного производства, развит с поверхности до глубины

6,0 м и представляет собой природные глинистые разности аллювиально-делювиального происхождения, подвергнутые физико-химическому воздействию в условиях естественного залегания.

2. Аллювиально-делювиальные отложения четвертичного возраста (adQ) – представлены каолинит-гидрослюдистыми глинами и суглинками коричневого цвета от твердой до тугопластичной консистенции, с карбонатными стяжениями, с редкими включениями гравия и гальки кварца, участками с примесью органики; имеют площадное распространение с глубины 0,2-2,5 м мощностью слоя от 0,5 до 5,5 м.

3. Аллювиальные песчаные и гравийно-галечниковые отложения нижнемелового возраста (aK<sub>1</sub>) – залегают под четвертичными глинами. В верхней части разреза представлены песками желто-коричневого и серого цвета, полимиктового и кварцевого состава, от гравелистых до средней крупности, неоднородные, влажные и водонасыщенные; залегают выдержанным слоем мощностью от 0,3 до 0,7 м. В нижней части разреза пески подстилаются гравийно-галечниковыми грунтами желтовато-коричневого цвета полимиктового состава, слабоокатанными, влажными и водонасыщенными; мощность слоя от 1,0 до 5,0 м.

4. Аллювиальные глинистые отложения нижнемелового возраста (aK<sub>1</sub>) – представлены каолинитовыми глинами и суглинками желтовато-коричневого, охристого цвета, пестроцветными, от твердой до мягкопластичной, редко текучепластичной консистенции, с тонкими прослоями мелких и пылеватых песков, с включениями гальки кварца и конкреций лимонита; подстилают (иногда замещают) песчано-гравийные разности с глубины 2,4-7,0 м, мощность слоя от 0,4 до 9,1 м.

5. Элювиальные образования дисперсной зоны коры выветривания (eMZ) – представлены глинами и суглинками серо-голубого, синего, вишневого цвета, твердой и полутвердой (редко тугопластичной) консистенции, с дресвой и щебнем андезибазальтов от 10 до 40 %; встречены на глубине от 4,5 до 13,0 м, вскрытая мощность достигает 15,5 м.

6. Элювиальные образования обломочной зоны коры выветривания (eMZ), представлены дресвяно-щебенистыми обломками порфиритов зеленовато-серого цвета с глинистым заполнителем от 20 до 40%; встречены на глубине от 6,0 до 12,0 м, вскрытая мощность составила 1,5-5,0 м.

7. Скальные породы – андезибазальты среднедевонского возраста (D<sub>2</sub>) темно-зеленого цвета, порфировой структуры, массивной текстуры, выветрелые, трещиноватые, обводненные; залегают в основании разреза, встречены на глубине от 8,5 до 15,0 м, вскрытая мощность 16,0 м.

Период инженерно-хозяйственного освоения исследуемой территории и связанный с ним процесс техногенеза насчитывает более 50 лет. За этот период свойства глинистых пород, слагающих верхнюю часть разреза, претерпели существенные изменения в результате различных антропогенных воздействий.

К закономерным изменениям следует отнести изменения физико-механических свойств грунтов под воздействием на них внешних статиче-

ских и динамических нагрузок от заводских зданий и сооружений. В табл. 1 приводятся основные показатели физико-механических свойств глин и характер их изменения за последние 50 лет.

Характерные изменения основных параметров глин: общее уплотнение и дегидратация, снижение деформируемости и повышение прочности вполне согласуются с теоретическими положениями о закономерностях формирования свойств грунтов в процессе техногенеза.

Таблица 1

**Изменение показателей физико-механических свойств глин за период с 1963 по 2013 гг.**

| Наименование показателей              | Глина adQ |         | Глина aK |         | Глина eMZ |         |
|---------------------------------------|-----------|---------|----------|---------|-----------|---------|
|                                       | 1969 г.   | 2013 г. | 1969 г.  | 2013 г. | 1969 г.   | 2013 г. |
| Природная влажность, д.ед.            | 0,252     | 0,252   | 0,308    | 0,248   | 0,328     | 0,295   |
| Плотность грунта, г/см <sup>3</sup>   | 1,92      | 1,94    | 1,91     | 1,98    | 1,90      | 1,91    |
| Пористость, %                         | 43,8      | 42,3    | 48,2     | 41,5    | 47,4      | 47,4    |
| Коэффициент пористости, д.ед.         | 0,780     | 0,737   | 0,937    | 0,712   | 0,900     | 0,849   |
| Коэффициент водонасыщения, д.ед.      | 0,880     | 0,922   | 0,930    | 0,930   | 0,978     | 0,941   |
| Угол внутреннего трения, град.        | 21        | 20      | 19       | 18      | 24        | 26      |
| Удельное сцепление, МПа               | 0,026     | 0,039   | 0,028    | 0,049   | 0,042     | 0,053   |
| Модуль деформации компрессионный, МПа | 2,6       | 2,7     | 2,7      | 3,5     | 3,0       | 5,0     |

К особым, специфическим относятся изменения свойств грунтов, обусловленные воздействием на них теплового и электрического поля, замачиванием щелочными растворами и искусственным засолением в результате электролизного и глиноземного производства. В табл. 2. приводятся показатели физико-механических свойств четвертичных глинистых грунтов и характер их изменения в результате физико-химического воздействия.

Техногенное засоление грунтов оснований сооружений обусловлено инфильтрацией в них минерализованных технологических растворов. ореол засоления охватывает практически всю территорию глиноземного производства и маркируется до глубины 10 м. Засоление покровных глин отразилось на их физических свойствах (набухание, пучение и снижение несущей способности глинистых грунтов оснований), что явилось причинами неравномерных деформаций фундаментов зданий и сооружений. Преобладание того или иного процесса на различных участках связано с технологическими условиями конкретных производств [1].

Таблица 2

**Изменение показателей физико-механических свойств глинистых грунтов  
в результате физико-химического воздействия**

| Наименование показателей              | Суглинок adQ<br>природный<br>(незасоленный) | Суглинок t(ad)Q<br>техногенно измененный<br>(избыточно засоленный) |
|---------------------------------------|---|--|
| Степень засоленности, %               | $\frac{0,2-0,6}{0,4}$                       | $\frac{19,2-40,6}{29,4}$   |
| Природная влажность, д.ед.            | $\frac{0,161-0,292}{0,223}$                 | $\frac{0,286-0,404}{0,335}$  |
| Предел текучести, д.ед.               | $\frac{0,198-0,419}{0,327}$                 | $\frac{0,307-0,471}{0,362}$  |
| Предел раскатывания, д.ед.            | $\frac{0,126-0,281}{0,204}$                 | $\frac{0,191-0,275}{0,245}$  |
| Число пластичности, д.ед.             | $\frac{0,014-0,157}{0,127}$                 | $\frac{0,050-0,218}{0,117}$  |
| Показатель текучести, д.ед.           | $\frac{\leq 0,00-0,46}{0,12}$               | $\frac{0,27-2,47}{0,88}$   |
| Плотность грунта, г/см <sup>3</sup>   | $\frac{1,88-2,11}{1,98}$                    | $\frac{1,79-1,91}{1,85}$   |
| Пористость, %                         | $\frac{32,9-45,5}{40,1}$                    | $\frac{46,4-57,6}{51,6}$   |
| Коэффициент пористости, д.ед.         | $\frac{0,491-0,801}{0,669}$                 | $\frac{0,867-1,356}{1,008}$  |
| Коэффициент водонасыщения, д.ед.      | $\frac{0,651-1,000}{0,899}$                 | $\frac{0,788-0,975}{0,899}$  |
| Угол внутреннего трения, град.        | $\frac{13-28}{22}$                          | $\frac{16-29}{25}$   |
| Удельное сцепление, МПа               | $\frac{0,007-0,080}{0,034}$                 | $\frac{0,030-0,052}{0,037}$  |
| Модуль деформации компрессионный, МПа | $\frac{1,7-6,3}{3,6}$                       | $\frac{1,2-5,3}{2,8}$  |

*Примечание.* В числителе – предельные значения показателей; в знаменателе – средние значения показателей.

**Литература**

1. Ширинкин О. Ю., Елохин В. А. Факторы деформаций оснований зданий и сооружений на территории глиноземного и электролизного производства // Известия высших учебных заведений. Горный журнал. – 2015. – № 7. – С. 61-67.

## 2. ОЦЕНКА ОПАСНОСТИ И РИСКА ПРИРОДНЫХ И ПРИРОДНО-ТЕХНОГЕННЫХ ПРОЦЕССОВ

---

---

### КАРСТ НА ТЕРРИТОРИИ г. УФЫ И ЕГО АКТИВИЗАЦИЯ ПОД ВЛИЯНИЕМ ТЕХНОГЕНЕЗА

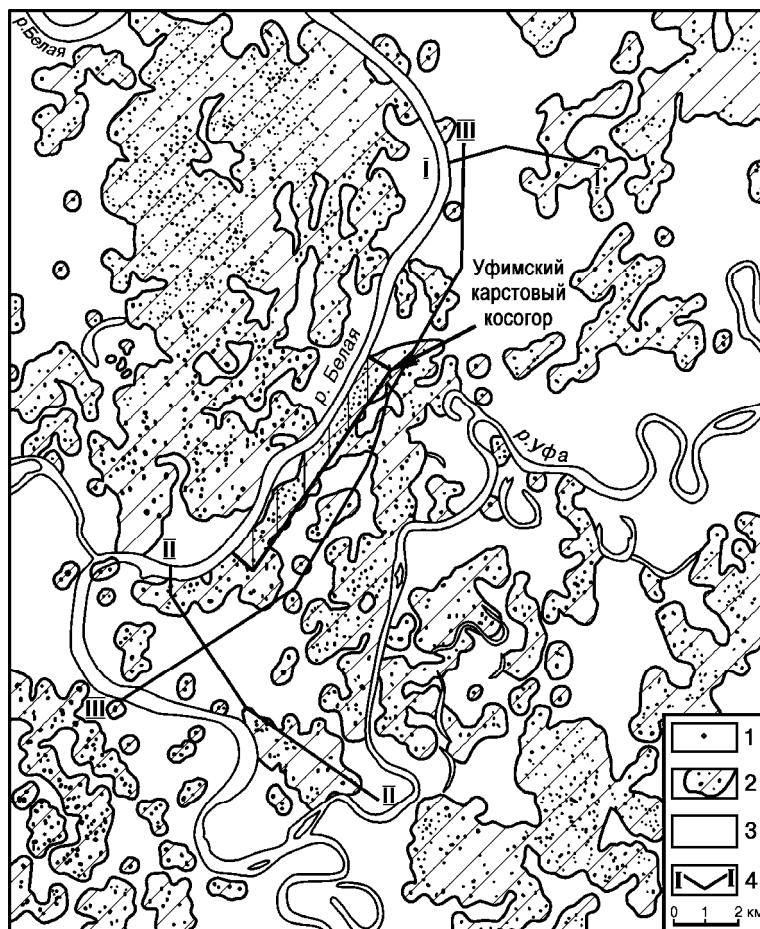
**Р.Ф. Абдрахманов**

Институт геологии УНЦ РАН. 450077, Уфа, К.Маркса, 16/2  
E-mail: hydro@ufaras.ru

Карст на территории г. Уфы и в ее окрестностях связан с кунгурскими гипсами и гипсоносными породами соликамского и шешминского горизонтов Уфимского яруса (рис. 1, 2).

Здесь развиты три класса карста: сульфатный, карбонатный и сульфатно-карбонатный. По степени защищенности сверху некарстующимися породами преобладают два подкласса – перекрытый (камский) в пределах долин Белой, Уфы и закрытый (русский) с участками голого на их междуречьях. Структурно-тектоническое положение кровли карстующихся пород является одним из основных факторов, определяющих неравномерное развитие карста на междуречьях. Установлено, что современный рельеф в пределах междуречий во многом был предопределен рельефом кровли гипсов, сформированных в неогеновое время.

Изысканиями последних лет выявлена тесная связь поверхностных карстопроявлений (воронки, провалы) и деформаций зданий, сооружений с погребенными формами палеогидросети. Как правило, вдоль бортов древней гидросети, заполненной в настоящее время неогеново-четвертичными глинисто-суглинистыми отложениями, встречаются погребенные карстово-суффозионные формы, а также провалы и оседания в современном рельефе. В пределах территории г. Уфы древняя эрозионная сеть была широко развита. Данные глубокого бурения и геофизические исследования позволяют проследить контуры переуглубленных (то есть наиболее глубоких) палеодолин и палеорусел в современных долинах рек Белой, Уфы, Сутолоки. Ширина палеодолины в пределах современной долины реки Сутолоки достигает 800–950 м. На Уфа-Бельском междуречье отмечены древние карстово-эрозионные котловины диаметром до 750–800 м, выполненные акчагыльскими глинами неоген-четвертичного возраста.

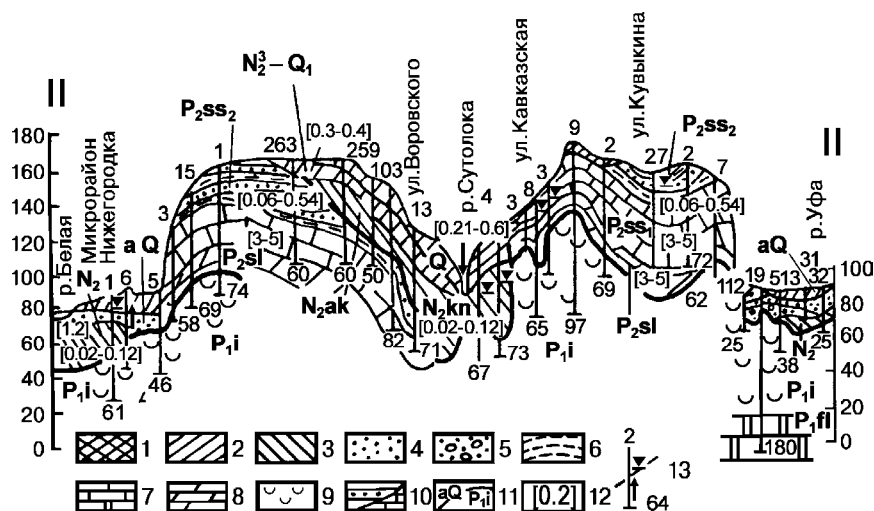


**Рис. 1. Карта закарстованности территории г. Уфы [2]:**

*1* – карстовые воронки и провалы (территории неустойчивые и очень неустойчивые для строительства); *2* – территории вокруг воронок (недостаточно устойчивые и несколько пониженной устойчивости); *3* – территории за пределами карстовых полей (относительно устойчивые); *4* – линия гидрогеологического разреза

Древние склоны долин, как и современные, сопровождаются сильной выветрелостью пород и трещинами бортового отпора, которые способствовали активному развитию карстового процесса вдоль них. После того как вся древняя эрозионная сеть была погребена под толщей преимущественно глинистых отложений (в период акчагыльской ингрессии моря), дренажная роль этих врезов сохранилась до настоящего времени. Подземные воды, встречая на пути своего движения препятствие в виде заполненных глинами палеодолин и других древних эрозионных форм, начинают вертикально-восходящую или вертикально-нисходящую фильтрацию с одновременным движением вдоль бортов в направлении современных дренажных систем

Белой и Уфы. Естественное увеличение напорных градиентов фильтрации (см. рис. 2) вдоль таких контактов вызывает перемещение тонкодисперсного материала в уже существующие или возникающие карстовые каверны и полости, то есть суффозию. Следствием этого является образование карстово-суффозионных оседаний со средней скоростью 1–2 мм в год и даже грандиозных карстовых провалов [2].



**Рис. 2. Гидрогеологический разрез по линии II-II.**

1-9 – водоносные породы: 1 – насыпной грунт, 2 – суглинки, 3 – глины, 4 – пески, песчаники, 5 – песчано-галечниковые отложения, 6 – глины аргиллитоподобные, 7 – известняки, доломиты, 8 – мергели, 9 – гипсы; 10 – литологическая граница; 11 – гидростратиграфическая граница; 12 – коэффициент фильтрации пород (м/сут); 13 – скважина: наверху – номер по первоисточнику, внизу – глубина скважины, справа – штрихами показан уровень грунтовых вод, стрелка соответствует напору вод

В настоящее время такой процесс продолжается, и его недостаток приводит к тому, что многие здания и сооружения в г. Уфе оказались построенными в прибортовых частях палеодолин (палеорусел) и других древних эрозионных врезов. Кроме естественных карстовых форм (воронки, котловины, пещеры и пр.) в пределах южной части «Уфимского полуострова» имеются многочисленные заброшенные открытые (карьеры) и подземные (штольни) горные выработки, где велась добыча гипса. Суммарная протяженность подземных выработок с входами в основании Пугачевской горы (правый берег р. Уфы) достигает нескольких километров.

Активному развитию карста на рассматриваемой территории способствует и гидрогеодинамическая обстановка. На Бельско-Уфимском междуречье наблюдается обратное соотношение уровней этажнорасположенных горизонтов с глубиной (уменьшение их абсолютных отметок), что является необхо-



димым условием возникновения нисходящих межпластовых перетоков. Градиент фильтрации здесь, в основном, имеет положительную ( $J > 0$ ) величину (за исключением долины р. Шугуровки). Такие условия, наряду с интенсивной трещиноватостью пород, особенно на склонах долин, способствуют переводу агрессивных по отношению к гипсоносным породам (дефицит насыщения достигает 1740–2049 мг/л) атмосферных осадков, поверхностных и подземных вод в глубину. На склонах долин, сложенных гипсами, это вызывает интенсивное развитие карста и суффозии.

Все существующие поверхностные карстопоявления и вновь образующиеся провалы находятся в определенной зависимости. Установлено, что все современные карстовые провалы образуются вблизи существующих поверхностных карстопоявлений. Чем ближе провалы к воронкам, тем они случаются чаще, чем дальше – тем реже, а на расстоянии более 250 м от воронок практически не наблюдаются [2].

Карстовые воронки обычно образуют скопления – карстовые поля. В г. Уфе и окрестностях установлено 63 карстовых поля, в пределах которых плотность воронок от 10–20 до 100 на 1 км<sup>2</sup> и редко более. Воронки, увеличиваясь в размере и сливаясь друг с другом, образуют котловины и овраги эрозионно-карстового происхождения.

Провалы, являющиеся показателем современной активности карста, наиболее часто происходят на Бельско-Уфимском междуречье. В общей сложности примерно за 100 лет здесь зафиксировано 318 карстовых провалов, то есть в среднем 3 провала в год. Обычно они образуются весной после снеготаяния и осенью в период длительных дождей.

Классическим объектом изучения условий развития карста на «Уфимском полуострове» стал Уфимский карстовый косогор (см. рис. 1). По данным [3] на косогоре сосредоточено около 300 карстовых форм (воронок, провалов, поноров, слепых оврагов). Плотность воронок составляет в среднем 36 на км<sup>2</sup>, коэффициент закарстованности – 0,28%. В пределах оврагов он достигает 3–13%, а на межовражьях не превышает 0,04%, то есть последние почти не затронуты карстом. Это же подтверждается распределением карстовых форм. Из 26 карстовых провалов, образовавшихся в период с 1976 по 1988 г., 14 (54%) приурочено к днищам оврагов, 4 (15%) образовались на склонах оврагов и в подножье косогора, по 2 (8%) – на железнодорожном полотне и межовражьях. Глубина провалов до 1,2 м, диаметр не превышает 1,7 м. Частота провалов 0,33 случая в год на 1 км<sup>2</sup>.

Многолетними исследованиями на территории «большой» Уфы установлено закономерное увеличение частоты провалов во времени [2]. При этом подавляющее большинство карстовых провалов (254) образовалось на склонах, во много раз меньше (47) в долинах и незначительное количество (12) в присклоновых условиях и на междуречье. Наибольшие диаметры провалов характерны для долинных условий 6,0±0,9 м. На склонах размеры провалов колеблются от 0,5 до 8,2 м; средние значения в нижней части склона 3,4±0,2 м; в верхней части – несколько меньше – 2,3±0,1 м (в среднем 2,8±0,4 м), что обусловлено ведущей ролью карбонатного карста в верхней

части склонов. В присклоновых условиях расчетный диаметр провалов  $6,1 \pm 0,9$  м.

Рост города и освоение территорий, ранее считавшихся непригодными для градостроительных целей, неизбежно сопровождается серьезным воздействием человека на геологическую среду. Это ведет к значительному изменению рельефа, уничтожению поверхностных микроформ, почвенного покрова, нарушению глинисто-суглинистого чехла покровных отложений, к изменению физико-механических свойств грунтов и гидрогеологической обстановки. В конечном счете все это часто вызывает активизацию опасных геологических процессов, и в особенности – карста и суффозии. К числу факторов, способствующих развитию карстово-суффозионных процессов относятся: 1) нарушение водоупорных свойств покровных отложений; 2) возникновение техногенных источников формирования подземных вод (различного рода утечки из водонесущих коммуникаций); 3) механическое воздействие производственно-технологических процессов (забивка свай, вибрационные нагрузки от механизмов и др.); 4) загрязнение атмосферного воздуха, поверхностных и подземных вод агрессивными выбросами промышленных предприятий.

Активизации карста способствуют многочисленные заброшенные открытые (карьеры) и подземные (штольни) выработки, где велась добыча гипса для получения алебаstra. Кроме того, сохранились очаги открытой и подземной кустарной добычи известняков во многих районах города.

Одним из наиболее существенных факторов активизации карста являются утечки из водонесущих коммуникаций (водопровод, канализация, теплотрассы), содержащих агрессивные компоненты по отношению к карстующимся породам. Расчеты показывают, что доля этих утечек в питании подземных вод достигает 25–30, иногда до 50 % [1]. В результате на таких участках образуются провалы и проседания и, как следствие, происходят деформации трасс, зданий и сооружений, а также загрязнение подземных вод.

За последние 25 лет количество аварийных и катастрофических ситуаций неуклонно увеличивается. Средняя частота проявлений техногенных процессов и связанное с этим количество аварий составляет 11–17 лет со дня ввода сооружений в эксплуатацию, причем в 90-е годы наметилась тенденция к уменьшению этого времени и к увеличению количества аварийных объектов. В весенне-летнее время деформации оснований зданий и сооружений по этой причине происходят чаще, чем зимой. Основной их причиной в 70–80 % случаев являются техногенные факторы, вызывающие подтопление территории и, как следствие, активизацию развития карстово-суффозионного процесса [2].

Надежность строительства зданий и сооружений на закарстованных территориях обеспечивается более глубоким изучением карстово-суффозионного процесса, использованием качественно новых и современных методов решения задач во время изысканий, проектирования, строительства и эксплуатации. Это позволяет заблаговременно учесть возможность проявления техногенного карста, исключить его отрицательные последствия, а в тех

случаях, когда он все же приводит к деформациям зданий и сооружений, быстро и эффективно преодолеть аварийные ситуации.

На современном этапе изучения карста весьма актуальным является организация карстового мониторинга различного уровня и целевого назначения, который позволит дать научно-обоснованный анализ закономерностей формирования и размещения карста, прогнозировать динамику его развития во времени и в пространстве, использовать эту информацию для решения практических задач в области инженерной геологии и гидрогеологии на закарстованных территориях.

#### Литература

1. Абдрахманов Р.Ф. Техногенез в подземной гидросфере Предуралья. Уфа: УНЦ РАН, 1993. 208 с.
2. Абдрахманов Р.Ф., Мартин В.И., Попов В.Г. и др. Карст Башкортостана. Уфа: Информ-реклама, 2002. 383 с.
3. Смирнов А.И. Опыт прогноза проявлений сульфатного карста на примере Уфимского косогора // Разведка и охрана недр. № 3. 2011. С. 64-68.

### ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЙ ОБ АККУМУЛЯЦИОННОЙ ЕМКОСТИ ЗАКАРСТОВАННЫХ ПОРОД ДЛЯ ПРОГНОЗА УСТОЙЧИВОСТИ ОСОБО ОТВЕТСТВЕННЫХ СООРУЖЕНИЙ

**А.В. Аникеев**

Институт геоэкологии им. Е.М. Сергеева РАН; Уланский пер., 13, стр. 2, Москва, Россия;  
E-mail: anikeev\_alex@mail.ru

Проблеме оценки аккумуляционной емкости растворимых пород и возможности образования провалов в перекрывающей их грунтовой толще посвящена статья, опубликованная в предыдущем выпуске Сергеевских чтений [4]. Поскольку в настоящей статье речь пойдет о приложении наших представлений к массиву-основанию конкретного сооружения – Нижегородской атомной электростанции (НИАЭС), – напомним основные зависимости, отражающие эти представления:

$$V_{cr} = V_0(n - n_0)/(1 - n) = kV_0, \quad (1)$$

$$V_{cr} = (K_p - 1)V_0. \quad (1a)$$

$$V_{cr} = k\pi R^2 h/3, \quad (2)$$

$$V_{cr} = k\pi R^2 h, \quad (3)$$

$$V_{cr} = 4k\pi a^2 h/3, \quad (4)$$

$$k = K_p - 1. \quad (5)$$

В уравнениях (1)–(5) используются следующие обозначения:  $V_{cr}$  – минимальный объем несвязных и раздробленных связных грунтов, удаление которого обеспечивает образование воронки на земной поверхности;  $V_0$  – объем области выноса и разуплотнения грунтов покровной тощи;  $n_0, n$  – исходная и конечная средняя пористость грунтов в области выноса (транзита) и разрыхления;  $h$  – мощность грунтов, перекрывающих закарстованные породы;  $k = (n - n_0)/(1 - n)$  – коэффициент, связывающий  $V_{cr}$  и  $V_0$ ;  $K_p = \rho_m/\rho_p$  – коэффициент разрыхления ( $\rho_m, \rho_p$  – плотность монолитных пород и их насыпная плотность в раздробленном состоянии).

Формулы (2), (3) и (4) определяют объем вынесенных грунтов для трех канонических форм области транзита и разуплотнения – конической, цилиндрической и эллиптической ( $a$  – малая полуось эллипсоида) в момент, предшествующий провалообразованию. Важно, что высота области транзита в этот момент достигает значения  $h$  [1, 4]. Эти три основные формы наблюдаются в самых разных породах – скальных, полускальных и дисперсных [1, 2, 5, 7, 9–11, 14, 15, 17–19]. Первая чаще всего имеет место в скальных грунтах, вторая – в полускальных и связных дисперсных, третья – в несвязных дисперсных. В плотных песках, в зависимости от их мощности, область разуплотнения может иметь и первую, и вторую, и третью форму [3, 9, 10, 15, 17]. Формоизменение канала обусловлено последовательной реализацией основных механизмов деформирования пород над полостью.

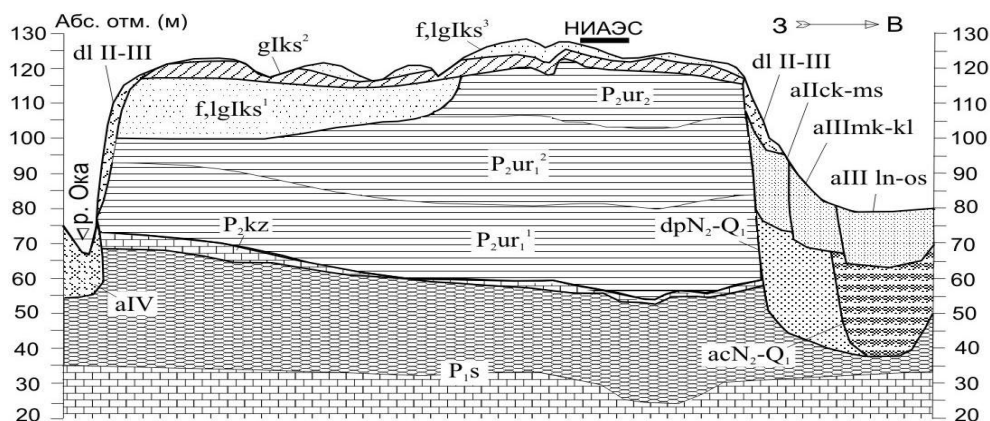
Если аккумуляционная емкость массива закарстованных пород  $V_a$ , характеризующая его способность принимать и накапливать обломочный материал, меньше объема  $V_{cr}$ , то какими бы слабыми ни были грунты покровной толщи, каким бы сильным ни было техногенное воздействие, образование воронок на земной поверхности исключается. И наоборот, если  $V_a > V_{cr}$ , то провал рано или поздно, но неминуемо произойдет. В работе [4] показаны возможные пути решения проблемы и предложены некоторые расчетные схемы для определения величины  $V_a$ . Там же отмечалось, что эти схемы могут и должны быть модифицированы применительно к тем или иным природным и техногенным условиям.

Участок строительства НИАЭС площадью 20 км<sup>2</sup> выбран в Навашином районе Нижегородской области на границе с Владимирской областью по ряду причин энергетического и социально-экономического характера с учетом требований НП-032-01 [6, 13]. Учет инженерно-геологических условий при этом отошел на второй план, и Нижегородская АЭС оказалась, по видимому, первой в мире атомной станцией, размещенной на территории активного развития карбонатно-сульфатного карста.

В ходе скрупулезных комплексных изысканий, выполненных проектным институтом ОАО “НИАЭП” с привлечением ряда производственных и научно-исследовательских организаций [12], с большим трудом выделена площадка размещения основных сооружений (3,25 км<sup>2</sup>), в границах которой проявления карста на земной поверхности отсутствуют. И, естественно, встал вопрос, не случится ли завтра провал на этой площадке, пока еще свободной

от поверхностных карстовых форм. Прежде чем ответить на этот вопрос, остановимся вкратце на инженерно-геологических условиях строительства.

На рис. 1 видно, что площадка размещения энергоблоков удалена и от р. Оки, и от палеовреза р. Бол. Кутра. Мощность слабых четвертичных грунтов здесь минимальна, а твердых глинистых и полускальных отложений уржумского яруса максимальна. Гидрогеологические условия участка характеризуется наличием двух водоносных комплексов. Верхний, напорно-безнапорный слабоводоносный комплекс с абсолютными отметками установившегося уровня от 92–118 м до 124–126 м приурочен к четвертичным пескам, прослоям и линзам уржумских песчаных пород, известняков, доломитов и мергелей. Нижний комплекс состоит из казанско-сакмарского (верхнего) и сакмарского (нижнего) водоносных пластов. Они разделены водоупорными ангидритами и монокристаллическими гипсами общей мощностью до 20–28 м. Но на площадке АЭС верхний водоносный (казанско-сакмарский) пласт практически отсутствует, и приуроченные к сакмарским доломитам воды залегают на глубине 97–98 м. Их уровень устанавливается на 46–50 м выше кровли доломитов, на абсолютных отметках 80–97 м.



**Рис. 1. Геологический разрез участка строительства Нижегородской АЭС (по материалам ОАО «НИАЭП» [12]):**

Пермская система, нижний отдел:  $P_1s$  – сульфатно-карбонатная толща сакмарского яруса; средний отдел:  $P_2kz$  – доломиты, мергели и глины казанского яруса;  $P_2ur_1$ ,  $P_2ur_2$  – мергелисто-глинистая толща нижнего ( $P_2ur_1^1$ ,  $P_2ur_2^2$  – нижняя и верхняя пачки) и верхнего подъярусов уржумского яруса. Плиоцен – нижний плейстоцен:  $acN_2-Q_1$ ,  $dpN_2-Q_1$  – песчано-глинистые аллювиально-коллювиальные и оползневые отложения. Четвертичная система:  $gIks^2$  – моренные суглинки донского оледенения;  $f,lgIks^1$ ,  $f,lgIks^3$  – водноледниковые пески времени наступания и отступания ледника;  $aIck-ms$  – песчаные отложения 3-й н/п террасы (чекалинский и московский горизонты);  $dl II-III$  – делювиальные суглинки и супеси;  $aIIck-kl$ ,  $aIII ln-os$ ,  $aIV$  – аллювиальные песчано-глинистые грунты 2-й (микулинский и калининский горизонты) и 1-й (ленинградский и ошашковский горизонты) н/п террас и поймы. НИАЭС – площадка строительства.

Из результатов инженерно-геологических изысканий следует также, что водопроницаемость карбонатных пород массива-основания компенсируется их слабой растворимостью, а средняя растворимость сульфатных пород – их непроницаемостью. Минерализация подземных вод увеличивается с глубиной и на отметках подошвы уржумской толщи настолько высока (до 5 г/л), что следует ожидать не растворения пород, а выпадения вещества из раствора.

Конечно, иногда сульфатные породы могут растворяться, даже если минерализация воды достигает 7 г/л, и не только минерализацией определяется их растворимость [8]. Однако в данных условиях наблюдается именно осаждение гипса. Об этом свидетельствуют результаты комплексных геологических, геохимических, гидрогеологических и инженерно-геологических исследований [12].

Перепады напора трещинно-карстовых вод в окрестности промплощадки крайне малы, мала и скорость их горизонтального движения. Таким образом, из четырех условий развития карста, сформулированных Д.С. Соколовым [16], не выполняются три – одно для пород и два – для подземных вод, что позволяет оценить устойчивость массива-основания и, следовательно, инженерного объекта следующим образом.

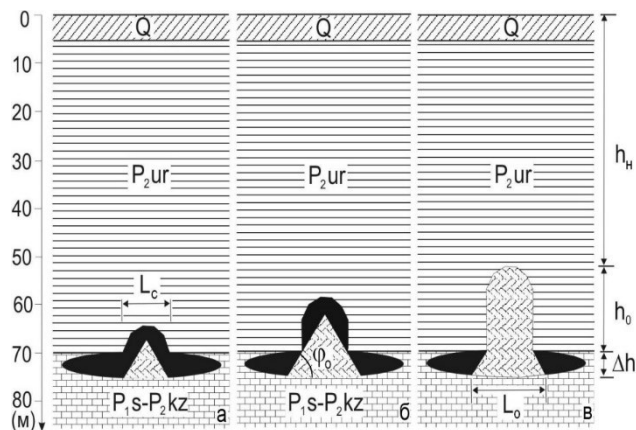
Зона сильнотрещиноватых и раздробленных пород вскрыта скважинами в кровле сакмарско-казанских отложений. Максимальная мощность этой ослабленной зоны  $(h_{0,з})_{\max} = 4,1$  м наблюдается за пределами стройплощадки. Мощность покровной толщи на площадке составляет  $h \approx 70$  м, и почти вся она представлена плотными твердыми грунтами, коэффициент разрыхления которых согласно данным работ [9, 18, 19] лежит в пределах  $K_p = 1,3-1,5$ .

Принимая  $h = 70$  м,  $(K_p)_{\text{ср}} = 1,4$  или в соответствии с формулой (5)  $(k)_{\text{ср}} = (K_p)_{\text{ср}} - 1 = 0,4$ , а также цилиндрическую форму канала обрушения уржумских пород, допускаем существование в ослабленной зоне массива достаточно большой в плане карстовой полости высотой  $\Delta h \approx (h_{0,з})_{\max} = 4$  м, пропущенной в ходе изысканий. Принимая во внимание низкую скорость движения трещинно-карстовых вод, скоростью движения воды в крупной изолированной полости пренебрегаем, что позволяет выбрать коническую форму области аккумуляции с углом откоса  $\varphi_0 = 45^\circ$  (рис. 2). Тогда, заменяя в уравнении (3)  $V_{\text{кр}}$  на объем усеченного конуса высотой  $\Delta h$  и полагая  $h \leq h_0$  (рис. 2, в), запишем условие выхода провала на земную поверхность в виде:

$$(\Delta h - 0.4h_0)L_c^2 + 2\Delta h^2L_c + 4\Delta h^3/3 \geq 0. \quad (6)$$

Решение неравенства (6) с учетом физических соображений показывает, что оно справедливо, только если  $0 \leq L_c \leq 2,67$  м. Такая ширина канала деформирования характерна для несвязных грунтов, но реализация механизма массовой суффозии здесь невозможна, так как доля песков и алевроитов в общей мощности покровной толщи пренебрежимо мала. Исходя из свойств и состояния уржумских пород, полагаем, что пролет свода их обрушения будет в 3–5 раз больше значения  $L_c = 2,67$  м и составит  $L_c = 8,0-13,4$  м.

**Рис. 2. Схематизация массива пород на промплощадке и стадии (а-в) обрушения покровной толщи мощностью  $h = h_0 + h_n$ :**  
 $\Delta h$  – высота полости на контакте растворимых ( $P_1s-P_2kz$ ) и нерастворимых ( $P_2ur$ ) пород;  $L_c$  – пролет свода обрушения и канала разрыхления,  $h_0$  – высота канала;  $\varphi_0$ ,  $L_0$  – угол откоса и основание осыпи



В этом случае, решая (6) относительно  $h_0$  подстановкой:  $\Delta h = 4$  м,  $L_c = 8,0-13,4$  м, находим, что для принятых допущений наибольшая высота канала обрушения равна  $h_0 = 17,2-23,3$  м. Таким образом, в природных условиях площадка размещения основных сооружений АЭС характеризуется 3-х–4-х кратным запасом устойчивости:  $K_{уст} = h/h_0 = 3,0-4,1$ .

Учитывая, что мощность ненарушенных грунтов при этом составляет  $h_n = h - h_0 \approx 47 \div 53$  м (рис. 2), трудно представить себе приложенное с поверхности техногенное воздействие – статическое, динамическое или фильтрационное, – которое могло бы вывести раздробленные грунты нижней части массива из равновесия. Другое дело, если оно будет приложено изнутри массива, например, в виде откачек трещинно-карстовых вод, но согласно проектным решениям этот вид воздействия исключается.

Таким образом, зная механизм и закономерности формирования провалов, мы можем оценить величину аккумуляционной емкости и дать прогноз устойчивости массива в относительно простых природных условиях. Но решение этой проблемы в целом, с учетом геометрии трещинно-порового пространства закарстованных пород и их растворимости, режима подземных вод и его техногенных изменений, потребует долгой и кропотливой работы, в основе которой должен лежать совместный анализ данных инженерно-геологических, гидрогеологических, гидрохимических, геофизических, спелеологических и других исследований. Несмотря на серьезные трудности и высокие трудозатраты, ставить и решать эту задачу нужно.

*Исследование выполнено при поддержке гранта Российского научного фонда (проект № 16-17-00125).*

## Литература

1. *Авершин С.Г.* Сдвигение горных пород при подземных разработках. М.: Углетехиздат, 1947. 245 с.
2. *Аникеев А.В.* Особенности разрушения влажных и водонасыщенных песков покровной толщи в карстовых районах // *Геоэкология*. 1995. № 1. С.72–79.
3. *Аникеев А.В.* Суффозия. Механизм и кинематика свободной суффозии // *Геоэкология*. 2006. № 6. С. 544–553.
4. *Аникеев А.В.* Оценка устойчивости карстовых районов на основе представлений об аккумуляционной емкости массива // *Инженерно-геологические и геоэкологические проблемы городских агломераций*. Сергеевские чтения (23–24 марта 2015 г.). Вып. 17. М.: РУДН, 2015. С. 219–225.
5. *Барановский В.И.* Влияние природных факторов на выбор способов разработки угольных пластов на глубоких горизонтах. М.: Госгортехиздат, 1963. 179 с.
6. *Глинский М.Л., Егорова В.А., Чертков Л.Г.* Особенности геологического строения участка размещения Нижегородской АЭС и их учет в проектных решениях ее строительства // *Разведка и охрана недр*. 2012. № 10. С. 49–52.
7. *Глушко В.Т., Широков А.З.* Механика горных пород и охрана выработок. Киев: Наукова думка, 1967. 153 с.
8. *Зверев В.П.* Подземные воды земной коры и геологические процессы. М.: Научный мир. 2006. 256 с.
9. *Казикаев Д.М.* Геомеханические процессы при совместной и повторной разработке руд. М.: Недра, 1981. 288 с.
10. *Крамаджян А.А., Линдквист П.-А., Мансон А.* и др. О формах областей течения в сыпучих материалах при выпуске // *ФТПРПИ*. 1994. № 2. С.34–46.
11. *Куликов В.В.* Совместная и повторная разработка рудных месторождений. М.: Недра, 1972. 328 с.
12. Материалы по обоснованию строительства Нижегородской АЭС (энергоблок 1, энергоблок 2) / *Иванов Ю.А., Кувардин С.А., Седов А.Ю.* Нижний Новгород: ОАО “НИАЭП”, 2009–2010.
13. *НП-032-01.* Размещения атомных станций. Основные критерии и требования по обеспечению безопасности / *Госатомнадзор РФ*. М., 2002. 11 с.
14. *Петухов И.М., Линьков А.М., Фельдман И.А.* и др. Защитные пласты. Л.: Недра, 1972. 424 с.
15. *Ревуженко А.Ф., Стажевский С.Б.* Об учете дилатансии в основных справочных формулах механики сыпучих сред // *ФТПРПИ*. 1986. № 4. С. 13–16.
16. *Соколов Д.С.* Основные условия развития карста. М.: Госгеолтехиздат, 1962. 322 с.
17. *Стажевский С.Б.* К выбору формы и креплению выработок // *ФТПРПИ*. 1986. № 5. С. 27–32.
18. *Турчанинов И.А., Иофис М.А., Каспарьян Э.В.* Основы механики горных пород. Л.: Недра, 1977. 503 с.
19. *Южанин И.А., Терлецкий А.М.* К вопросу определения высоты зоны обрушения пород // *Наукові праці УКРНДМІ НАН України*. 2008. № 3. С. 122–127.



## **ВЫБОР МЕРОПРИЯТИЙ ПО УПРАВЛЕНИЮ РИСКАМИ НА ОБЪЕКТАХ, РАСПОЛОЖЕННЫХ НА ТЕРРИТОРИЯХ С ВЫСОКОЙ ОПОЛЗНЕВОЙ И ОБВАЛЬНОЙ ОПАСНОСТЬЮ**

**Ф.Г. Габиров, А.З. Зейналов, Л.Ф. Габирова, Н.А. Сафарова**

Азербайджанский научно-исследовательский институт строительства и архитектуры,  
Азербайджан, AZ 1014, г. Баку, ул. Физули, д. 65, АзНИИСА. E-mail: farchad@yandex.ru

Как отмечает У.Моррис [1], одна из основных трудностей в управленческой деятельности состоит в необходимости принимать решения в условиях неопределенности или при неполных знаниях о возможных последствиях предпринимаемых действий.

Основы науки об управлении сложными системами изложены в монографиях У. Морриса [1], М.Старра [2], Э.М. Хазена [3], Б. Гурней [4], И.В. Прангишвили [5], С. Янга [6] и других.

Как отмечают Н.А. Махутов и Р.С. Ахметханов [7], для оптимального управления рисками следует учитывать системные свойства объектов и системные свойства рисков. Анализ международного опыта в области разработки и применения организационных и экономических механизмов управления риском показывают, что существует достаточно большое число механизмов, направленных на снижение уровня риска [8, 9].

В.Н. Бурков [10] при исследовании механизмов управления уровнем риска считает, как это принято в теории активных систем, что структура эколого-экономической системы, в которой действует механизм, является двухуровневой. Верхний уровень занимает орган управления. Кроме того, на верхнем уровне могут находиться одна или несколько страховых организаций. Нижний уровень этой системы занимают объекты, деятельность которых несет в себе потенциальную угрозу возникновения ЧС.

Управление рисками на объектах, расположенных на территориях с высокой оползневой и обвальной опасностью базируется на разработках общей теории риск-анализа и той ее части, которая относится к управлению рисками [11]. В связи с этим при формировании управляющих решений обычно используются общие принципы и подходы, научное обоснование которых выработано общей теорией риска.

Следует иметь виду, что каждый из перечисленных подходов действует в рамках определенной системы мер, регулирующих управленческую деятельность по снижению риска на объектах, расположенных на территориях, подверженных оползням и обвалам и условия ее осуществления. По своему составу они разделяются следующим образом:

– нормативно-правовые меры, которые представляют права и обязанности сторон, объектов и иных участников деятельности в сфере управления рисками;

– административные меры, которые связаны с осуществлением функций контроля за результатами и финансовым обеспечением видов деятельности (при необходимости – с принуждением к их исполнению);

– экономические меры, которые предполагают экономическое стимулирование деятельности по снижению риска на объектах, расположенных на территориях с высокой оползневой и обвальной опасностью, организацию ее финансового обеспечения, экологических и социальных интересов общественного развития;

– технические меры, которые определяют область возможных технических решений по снижению риска на объектах, расположенных на территориях с высокой оползневой и обвальной опасностью, связанных с проведением отдельных работ направленных на защиту от воздействия «поля повреждений и разрушений», вызванных негативным событием, на уменьшение потенциально-возможного ущерба и тому подобное.

Следует отметить, что нормативно-правовые и административные меры управления рисками на объектах, расположенных на территориях с высокой оползневой и обвальной опасностью в общем случае формируют комплекс ограничений, безусловных обязанностей для различных участников этой деятельности, ограничивают рамки их возможного поведения в социально-экономической системе. Эффективность же деятельности по управлению рисками в этих рамках определяется правильностью выбора системы допустимых мер, рациональным использованием при их реализации имеющихся экономических и материальных ресурсов.

При разработке территориальных, инженерно-технических и экономических нормативно-правовых актов и использовании административных рычагов регулирования управления рисками на объектах, расположенных на территориях с высокой оползневой и обвальной опасностью в значительном большинстве случаев принимаются во внимание экономические результаты. Если нормативно-правовая база и административная база мешают принятию экономически эффективных решений, то они, как правило, модифицируются, меняются по мере накопления опыта управления. Однако в конкретных условиях орган управления, разрабатывая решения в сфере управления рисками на объектах, расположенных на территориях с высокой оползневой и обвальной опасностью, всегда находится в рамках определенных нормативно-правовых, административных и экологических ограничений, которые он нарушать не должен. И эффективность принимаемых им решений по снижению риска зависит от экономической обоснованности выбираемой системы мер управления с учетом этих ограничений.

Совокупность технических мер воздействия на риск на объектах, расположенных на территориях с высокой оползневой и обвальной опасностью определяет пространство возможных решений, которые могут быть реально реализованы в каждой конкретной ситуации. Их состав связан с доступным уровнем научно-технического развития общества, поскольку в условиях рынка необходимые техника и технологии могут быть приобретены практически без всяких ограничений при наличии финансовых возможностей.

Для практики риск-анализа чрезвычайно важное значение имеет принцип интегральной оценки опасностей, согласно которому управление рисками на объектах, расположенных на территориях с высокой оползневой и обвальной опасностью должно комплексно рассматривать весь спектр событий и обусловленных ими рисков при разработке управленческих решений. Дело в том, что негативные события, вызывающие ущерб, и сами ущербы в реальной жизни могут быть взаимосвязаны между собой.

С точки зрения теории и практики оценки рисков на объектах, расположенных на территориях с высокой оползневой и обвальной опасностью наиболее простая ситуация складывается при рассмотрении перечня негативных независимых событий. В этом случае интегральный риск  $R_{инт}$  может быть представлен как простая арифметическая сумма рисков от каждого негативного события:

$$R_{инт} = \sum_i R_i, \quad (1)$$

где  $R_i$  – риск от  $i$ -го негативного события.

При наличии взаимосвязанных рисков на объектах, расположенных на территориях с высокой оползневой и обвальной опасностью выражение (1) не подходит для оценки величины интегрального риска. В определенных ситуациях это обусловлено эффектами поглощения рисков. Поэтому для оценки величины интегрального риска следует использовать формулу объединения рисков различных негативных событий:

$$R_{инт} = \bigcup_i R_i, \quad (2)$$

где  $\bigcup_i$  – представляет собой операцию объединения множеств.

В случае непересекающихся рисков на объектах, расположенных на территориях с высокой оползневой и обвальной опасностью выражение (2) эквивалентно выражению (1).

Заметим, что простота или сложность формулы оценки интегрального риска на объектах, расположенных на территориях с высокой оползневой и обвальной опасностью автоматически не переносится на управленческие решения. Например, выражение (1) никоим образом не означает, что управление интегральным риском в каждом таком случае сводится к совокупности мер по управлению каждым из них. Это связано с тем, что часто меры по снижению риска на объектах, расположенных на территориях с высокой оползневой и обвальной опасностью направлены на блокирование основного источника опасности.

Учет принципа интегральной оценки опасности при разработке управленческих мероприятий по снижению риска на объектах, расположенных на территориях с высокой оползневой и обвальной опасностью на практике может значительно усложнить решение задачи, вывести ее за рамки традиционных задач оптимизации на максимум эффективности при заданных ограничениях. Вследствие этого в практических исследованиях управляющие решения

часто могут быть получены на основе методов, например, имитационного моделирования.

Это позволяет рассмотреть множество различных вариантов сценариев развития последствий негативных событий на объектах, расположенных на территориях с высокой оползневой и обвальной опасностью с учетом вероятности каждого, сопоставить их между собой по последствиям, сложности и эффективности использования методов снижения риска для каждого из них. На основе такого сопоставления обычно выбирается наиболее «рациональная» система мер по снижению риска.

Следует отметить, что общие подходы к определению эффективности любых защитных мероприятий мало различаются в разных видах жизнедеятельности. Все они так или иначе предполагают сравнение, сопоставление результатов ( $W$ ), достигнутых при помощи рассматриваемого набора мероприятий с затратами на них ( $Z$ ).

При известных значениях стоимостных показателей результатов и затрат абсолютная величина эффекта от внедрения защитных инженерных мероприятий по снижению риска на объектах, расположенных на территориях с высокой оползневой и обвальной опасностью может быть определена согласно следующей формуле:

$$E(Z, T) = W - Z = \sum_{t=1}^T \left( \sum_{i=1}^k W_{it} - \sum_{j=1}^n Z_{jt} \right), \quad (3)$$

где  $T$  – общее время эксплуатации предприятия, заложенное в проекте;  $W_{it}$  – результат по  $i$ -му направлению в период  $t$ ;  $Z_{jt}$  – затраты по  $j$ -му направлению в период  $t$ .

Учитывая, что результаты от внедрения защитных мероприятий в случае чистых рисков проявляются в виде снижения математических ожиданий ущербов, выражение (3) может быть представлено в следующем виде:

$$E(Z, T) = \sum_{t=1}^T \left\{ \sum_{i=1}^k [\bar{X}_{it} - \bar{X}_{it}(Z)] - \sum_{j=1}^n Z_{jt} \right\}, \quad (4)$$

где  $\bar{X}_{it}$  – средний уровень ущерба, имевшего место в период  $t$ , до внедрения рискоснижающих защитных мероприятий на предприятии;  $\bar{X}_{it}(Z)$  – средний уровень ущерба, определенный после внедрения рискоснижающего защитного мероприятия на объектах, расположенных на территориях с высокой оползневой и обвальной опасностью.

Показатель

$$I(Z, T) = \sum_{t=1}^T \left( \sum_{i=1}^k \bar{X}_{it} + \sum_{j=1}^n Z_{jt} \right), \quad (5)$$

представляет собой суммарную величину издержек управления риском на объектах, расположенных на территориях с высокой оползневой и обвальной опасностью при внедрении комплекса управляющих мероприятий  $Z$ .

В случае применения спекулятивных рисков на объектах, расположенных на территориях с высокой оползневой и обвальной опасностью выражение (3) для оценки эффективности мероприятий может быть использовано следующее соотношение:

$$E(Z, T) = \sum_{t=1}^T [\bar{\Pi}_t(Z) - \bar{\Pi}_t] \quad , \quad (6)$$

где  $\bar{\Pi}_t(Z)$  – среднеожидаемая прибыль от объекта, расположенного на территории с высокой оползневой и обвальной опасностью в году  $t$  в случае принятия каких-либо защитных мер  $Z$  в отношении риска, не обязательно связанных с его снижением;  $\bar{\Pi}_t$  – среднеожидаемая прибыль в отсутствие этих мер.

В общем случае ожидаемая прибыль должна оцениваться с учетом распределения вероятности возможных методов деятельности объекта, расположенного на территории с высокой оползневой и обвальной опасностью, риска потерь от негативных событий и затрат на осуществление мероприятий по управлению рисками:

$$\bar{\Pi}_t = \bar{D}_t(Z) - R_t(Z) - \sum_{j=1}^n Z_{jt} \quad , \quad (7)$$

где  $\bar{D}_t(Z)$  – ожидаемая величина дохода в году  $t$ , при выборе стратегии управления рисками, характеризуется набором затрат  $Z_{jt}, j = 1, 2, 3, \dots, n$ ;  $R_t(Z)$  – уровень риска на объекте, расположенном на территории с высокой оползневой и обвальной опасностью в году  $t$ , оцениваемый по среднеожидаемой величине ущерба.

Аналогичным образом определяется и прибыль в отсутствие мероприятий  $Z$ . В реальной ситуации показатели  $\bar{\Pi}_t$  и  $\bar{\Pi}_t(Z)$  могут меняться местами, например, в тех случаях, когда для объекта, расположенного на территории с высокой оползневой и обвальной опасностью сознательно выбирается более рискованное решение в надежде получить большую прибыль, отказываясь в связи с этим от осуществления известных защитных мероприятий.

В качестве меры эффективности может быть использован относительный показатель снижения риска аварий или катастроф на объектах, расположенных на территориях с высокой оползневой и обвальной опасностью на единицу стоимости затрат на мероприятия по его снижению

$$E(R/Z) = \frac{R_1 - R(Z)}{Z} = \frac{\sum_t R_{1t} - \sum_t R_t(Z)}{\sum_t Z_t} \quad , \quad (8)$$

где  $R_1$  – показатель риска на предприятии до внедрения защитных мероприятий;  $R(Z)$  – показатель риска на предприятии после внедрения защитных мероприятий;  $Z$  – стоимость защитных мероприятий по снижению риска

на предприятии;  $R_t, R_t(Z), Z_t$  – значения рассматриваемых показателей в период  $t$ .

В основе выражения (8) рассматриваются показатели как индивидуального, так и социального риска на объекте, расположенном на территории с высокой оползневой и обвальной опасностью.

#### Литература

1. Моррис У.Т. Наука об управлении. М.: Мир, 1971, 304 с.
2. Старр М. Управление производством. М.: Прогресс, 1968, 398 с.
3. Хазен Э.М. Методы оптимальных статистических решений и задачи оптимального управления. М.: Советское радио, 1968.
4. Гурней Б. Введение в науку управления. М.: Прогресс, 1969, 430 с.
5. Прангивили И.В. Энтропийные и другие системные закономерности: Вопросы управления сложными системами. М.: Наука, 2003, 428 с.
6. Янг С. Системное управление организацией. М.: Советское радио, 1972, 456 с.
7. Махутов Н.А., Ахметханов Р.С. Системный подход к оценке и управлению рисками // Проблемы безопасности и чрезвычайных ситуаций, №5, 2012, с. 56-68.
8. Бурков В.Н., Грацианский Е.В., Дзюбко С.И., Щепкин А.В. Модели и механизмы управления безопасностью. М.: Синтег, 2001, 160 с.
9. Бурков В.Н., Новиков Д.А., Щепкин А.В. Экономические механизмы управления уровнем риска природно-техногенной сферы // Проблемы безопасности и чрезвычайных ситуаций, №4, 2009, с. 30-39.
10. Бурков В.Н., Новиков Д.А., Щепкин А.В. Механизмы управления эколого-экономическими системами. М.: Физматлит, 2008, 243 с.
11. Владимиров В.А., Измалков В.И., Измалков А.В. Оценка риска и управление техногенной безопасностью. М.: ФИД "Деловой экспресс", 2002, 184 с.

### УСЛОВИЯ ФОРМИРОВАНИЯ ПОВЕРХНОСТНЫХ КАРСТОВЫХ ФОРМ В ЛАНДШАФТАХ ЧЕЧЕНСКОЙ РЕСПУБЛИКИ

Р. А. Гакаев

ФГБОУ ВО «Чеченский государственный университет», г. Грозный

К основным условиям развития карста на территории Чеченской Республики, и особенно ее горной части, относятся: наличие карстующихся пород и их способность пропускать воду; наличие движущейся воды, способной растворять. Под карстом понимается процесс растворения горных пород (карбонаты, гипсы и соли) и возникновения своеобразных форм рельефа и водного режима. Растворение во много раз ускоряется, если породы имеют трещины и поры, уровень подземных вод расположен глубоко, а вода не имеет примесей, но содержит свободную углекислоту, которую она получает из воздуха или проходя через почвы. В районах с карстовыми явлениями реки

имеют непостоянный сток, многие из них полностью или частично уходят под землю или появляются в виде мощных источников среди сухих пространств. Грунты с карстовыми явлениями ненадежны для любого вида инженерных сооружений, осложняют земледелие, так как не только иссушают почвы, но и искажают поля провалами и воронками. В совокупность природных процессов при развитии карста, кроме химического растворения, играющего ведущую роль, входят другие геологические процессы, тесно взаимосвязанные: размыв, суффозия, выветривание, размокание пород, перераспределение горного давления, растрескивание, отслаивание, оседание, обрушение пород, отложения переносимых водой растворенных веществ и обломочного материала и другие процессы [8,11].

Исследованиями верхнемеловых отложений Пастбищного и Скалисто-го хребтов установлено, что большая трещиноватость характерна для зон перерывов слоев, для участков, осложненных разрывными дислокациями.

Значительную роль в формировании рельефа карста играют пути изменения интенсивности эрозионных процессов. Общеизвестно, что районы развития карста характеризуются слабым эрозионным расчленением. Эрозионные процессы сокращаются вследствие быстрой инфильтрации и инфилюации атмосферных осадков в недра карстовых массивов. Некоторые исследования, проведенные в разных районах республики, показывают, что наиболее широко карстовые воронки распространены на участках со слабым уклоном (до 2-5°). На Бандукском хребте, сложенном верхнем меловыми известняками, карстовые воронки и котловины распространены, в основном, на склонах с крутизной около 10-15° и более, тогда как на его почти плоской поверхности они обычно отсутствуют. В районе Ялхарой-мохк бассейна реки Акки-чу, сложенным карбонатными породами нижнего мела и верхней юры имеется несколько небольших воронок. В междуречье рек Гехи – Шалажи находятся несколько десятков карстовых воронок и котловин. Большинство из них находятся на склонах с уклоном от 15° до 20°. Междуречья рек Ярык-Су и Беной-Яссы сложены нижнемеловыми известняками и сильно закарстованы. Большинство карстовых воронок приурочены к вершинам склонов. Воронки характеризуются здесь обычно небольшими размерами в поперечнике, колеблются от 3 до 15 м, а глубины – от 1 до 4 м. Активное развитие карста, образование карстовых воронок и карстовых котловин происходит и при значительных углах наклона земной поверхности [1,10].

В карстовых областях расход вод обычно не соответствует зональной величине стока. В одних районах расход резко сокращается вследствие инфильтрации поверхностных вод в карстовые массивы, а в других он может резко увеличиться в результате выхода крупных карстовых источников. Пример такого изменения стока можно наблюдать у горных рек Чанты-Аргун, Басса и Хулхулау. Уровень стока реки Чанты-Аргун от селения Итум-Кали до Чишки меняется в сторону увеличения. В известной степени это происходит из-за впадения множества родниковых источников, имеющих в большинстве случаев карстовое происхождение. По существующему мнению, степень влияния карста на речной сток зависит от увлажненности водо-

сбора, степени его закарстованности, а также направленности и величины подземного водообмена.

Интенсивное карстование в гипсовых отложениях объясняется тем, что при врезании в эти толщи некоторая часть водных масс речного стока, просачиваются в трещиноватые карбонаты, пополняя подземные воды. Примеры такой интенсивности можно наблюдать в окрестностях селений Гухой, Улус-Керт, Махкеты, Нашхой [4].

Многочисленны также реки, исчезающие среди карстовых массивов. При малом количестве воды они могут совсем уйти в подрусловые пустоты, примером может служить река Басса, которая трижды теряется в карстовых известняках верхнего мела. Первый раз река уходит в карстовые пустоты в 200 м от истока, представляющего карстовый источник. Она протекает около 200 м под землей, а затем выходит на поверхность в виде трех источников. Через 100 м река снова исчезает и выходит на поверхность, пройдя под землей 80 м. Еще ниже по течению река вновь исчезает на расстоянии 30 м.

Горные территории Веденского, Шатойского и Галанчожского районов характеризуются наличием озер, генезис котловин которых теснейшим образом связан с карстовыми процессами. Некоторые из озер занимают карстовые воронки или блюдца различного происхождения (поверхностного выщелачивания, провальные, просасывания и др.) и в этом случае имеют обычно округлую форму. Примером можно назвать озеро Галанчож в Галанчожском районе, озеро Голубое в Шатойском районе и озеро в окрестности селения Борзой. Встречаются карстовые озера сложной формы, котловины которых образованы, чаще всего, путем слияния нескольких карстовых воронок [6].

В Чеченской Республике достаточно часто встречаются такие поверхностные формы карста, как круто-наклонные желоба периодических и постоянных водопадов в тонкослоистых верхнемеловых известняках, а также уступы водопадов в массивных известняках ущелья Аргуна, при образовании которых одновременно с механическим размывом подготавливается растворение.

Наряду с коррозионным и эрозионным воздействием воды, в разрушении карбонатных пород на дневной поверхности большую роль играет процесс биохимического воздействия организмов. В результате поселения на известняковых склонах мхов и лишайников, образования различных грибковых налетов, подвергается разрушению тонкий поверхностный слой породы. Неоднократно наблюдалась роль этих процессов в образовании ниш в известняках и доломитах, карров и таких форм, как Аргунские водопады.

Важную роль при образовании карстово-суффозионных форм в песчаниках и конгломератах с известковым или гипсовым цементом играет растворение. Освобождающиеся от сцепления песок и глина подготавливаются, таким образом, к переносу текущей водой, что способствует также и процессам образования оползней [5].

Элементарными формами растворения цемента песчаников и механического удаления песка, является углубления типа «леген», а также «сотовые



ячейки» и «карманы» в обрывах нижнемеловых песчаников в окрестностях селений Махкеты, Улус-Керт и Гухой. Прежде всего, карст, принимает непосредственное участие в формировании рельефа, проявляющийся в образовании карстовых воронок, котловин, польев, карстовых останцев, карстово-эрозионных лугов и балок, карстовых уступов и т.д.

В трещиноватых карстующихся породах, выходящих на дневную поверхность, стекающие дождевые и талые воды образуют разнообразные углубления в виде лунок, бороздок, разделенных гребнями и выступами. Такие формы, представляющие собой уже не формы микро, а мезорельефа, наблюдаются в областях среднегорного рельефа Пастбишного хребта и областях куэстового рельефа Скалистого хребта в селениях Борзой, Хал-Келой, Хара-чой и др.

Карстовые воронки чаще всего имеют округлые или овальные формы. К ним обычно относят впадины, имеющие блюдцеобразную, чашеобразную и коническую форму. Размеры типичных воронок колеблются от 1 до 200 м и более в поперечнике. Глубина их меняется от 0,5 до 30 м. Карстовые воронки наблюдались на северных склонах Андийского и Пешхойского хребтов.

В карстовых областях, наряду с отрицательными формами, имеются и выпуклые образования в виде различных выступов и холмов, которые часто можно наблюдать в горной части Республики. Это карстовые останцы в селениях Гучум-Кале и Гухой в бассейне рек Чанты-Аргун и Осу-хи Нашхойского хребта в Галанчожском районе [2,12].

Карстовые желоба и рвы имеют длину в несколько десятков и даже сотен метров при ширине обычно 2-4 м и глубине до 4-5 м. Они замкнуты на концах и чаще всего приурочены к тектоническим трещинам, раскрытым в результате разгрузки на крутых склонах, а также к трещинам «бортового отпора». Карстовые рвы можно наблюдать на южных склонах Пастбишного хребта и на северных склонах Скалистого хребта. Иногда карстовые рвы развиваются и в районах покрытого карста, например, в окрестностях озера Казеной-Ам.

Навесы и ниши широко распространены в горных областях, в частности, в местах, где Скалистый хребет прорезан глубокими речными долинами рек Гехи, Рошня, Чанту-Аргун и Шаро-Аргун, а Пастбишный хребет – реками Хулхулау, Аксай и Басса. Нередко навесы и ниши возникают при интенсивном выщелачивании отдельных слоев карбонатных пород стекающими по обрывам водами, при этом большое значение имеют процессы биохимического выветривания. В образовании более глубоких ниш значительную роль играют просачивающиеся по трещинам воды. Корродирующая деятельность приводит к расширению трещин, вследствие чего обрушиваются глыбы пород, и образуются ниши.

Известно, что карст способствует «консервации» эрозионно-денудационных поверхностей выравнивания. Выполаживание крутых склонов в зонах известнякового карста идет крайне медленно. Это объясняется отсутствием концентрированного поверхностного стока атмосферных вод

вследствие развития карста и слабостью химического выветривания на крутых склонах [3,9].

В период глобальных изменений экологического состояния окружающей среды, в том числе и физических факторов развития карста, происходит активизация не только карстовых процессов в Чеченской Республике, но и связанных с карстом оползневых процессов. Примером тому могут служить экологические последствия оползней, которые произошли в Шатойском, Веденском и Ножай-Юртовском районах.

Карст оказывает значительное влияние на густоту речной сети, на годовую естественный сток рек, на мощность и разнообразие почвенного растительного покрова, и приводит к тому, что район его развития превращается в особый вид ландшафт в типологическом плане, поэтому остро стоит вопрос комплексного физико-географического изучения карстовых процессов горной части республики.

Влияние карста на ландшафт различно в разных типах карста. Так, голый карст с характерными для него пространствами карровых полей и всем комплексом поверхностных карстовых форм относится к особому типу ландшафта. В этом случае карстовые формы создают геоморфологический фон территории, поверхность которой отличается достаточной сухостью. Задернованный карст, развиваясь, в основном, в горах, встречается часто по соседству или совместно с голым карстом. Большое значение в формировании ландшафта имеет участие карстующихся пород в процессах почвообразования и геоморфологической «сухости» территории.

Заметно воздействие карстовых процессов на почвенно-растительный покров и, в конечном счете, на ландшафты горной части Чеченской Республики. И это становится наиболее актуальным в связи с активным включением горных ландшафтов как в сельское хозяйство, так и в рекреационную деятельность в свете строительства крупных рекреационных объектов.

В ряде районов развитие карста приводит к образованию новых типов почв и это связано, прежде всего, с изменением степени увлажнения почвенного покрова. Иссушающее влияние карста в междуречье верховьев рек Беной-Яссы и Ярык-Су явилось причиной того, что здесь преобладают лугово-степные почвы, являющимся как бы пятном в горном поясе развития буроземно-лесных почв.

#### Литература.

1. Берсанукаев Р.А. Гакаев Р.А. Геоэкологическая оценка проявления карста в Чеченской Республике // Актуальные проблемы современной международной и экологической безопасности «ООН и современные проблемы международной безопасности в условиях глобализации». Материалы ежегодной научно-практической конференции памяти Дага Хаммаршельда. М.: РУДН. 2012. Часть I. С. 16-19.
2. Гакаев Р.А. Формы проявления карста в Чеченской Республике и их основные характеристики // Глобализация и география. Материалы международной научной конференции. 2012. С. 351-355.
3. Гакаев Р.А. Роль климатических условий в активизации оползней в горной части Чеченской Республики // Глобальный научный потенциал. 2012. № 13. С. 9-12.

4. *Gakaev R.A.* Exogenous geological processes and phenomena in landscape basin of Argun river // Сборник научных докладов конференции, посвященной 100-летию переезда Университета Варшавского в Ростов-на-Дону. Наука вчера, сегодня, завтра. Diamond trading tour, Высшая экономическая школа в Белостоке. Союз поляков Дона. Warszawa. 2015. С. 40-43.
5. *Gakaev R.A.* To the question of predisposition landslides in mountain landscapes of the Chechen Republic // Сборник научных докладов «Научные работы, практика, разработки, инновации 2013 года». Sp. z o.o. «Diamond trading tour». Warszawa. 2013. С. 35-38.
6. *Гакаев Р.А.* Атмосферные осадки и их интенсивность, как один из факторов возникновения оползней в горной части Чеченской Республики // Сергеевские чтения. Материалы годичной сессии Научного совета РАН по проблемам геоэкологии, инженерной геологии и гидрогеологии. М., 2013. С. 110-114.
8. *Гвоздецкий Н.А.* Карстовые ландшафты. М.: МГУ. 1988. 112 с.
9. *Керимов И. А., Гакаев Р. А., Даукаев А. А., Гацаева Л. С.* Сели и их проявление в Чеченской республике. // Современные проблемы геологии, геофизики и геоэкологии Северного Кавказа. Материалы Всероссийской научно-технической конференции. Грозный, 2011. С. 433-434.
10. *Мусин А.Г.* Карст и ландшафтные особенности закарстованных территорий. Грозный. 1979
11. *Осинов В.И., Кутепов В.М., Зверев В.П.* Опасные экзогенные процессы. М.: ГЕОС, 1999. 290 с.
12. *Разумов В.В., Тлисов М.И., Молчанов Э.Н. и др.* Оценка природного потенциала и экологического состояния территории Чеченской республики. СПб.: Гидрометеоздат, 2001. 158 с.

## **СТАРЫЕ И НОВЫЕ ПОДХОДЫ К ПРОБЛЕМЕ ОЦЕНКИ ДОЛГОСРОЧНОЙ СЕЙСМИЧЕСКОЙ ОПАСНОСТИ**

**А.И. Горшков<sup>1</sup>, В.Ф. Писаренко<sup>1</sup>, М.В. Родкин<sup>1</sup>, Н.Т. Лы<sup>2</sup>,  
Н.Х. Туен<sup>2</sup>, С.Ж. Орунбаев<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>Институт теории прогноза землетрясений и математической геофизики РАН,  
117997 Москва, Профсоюзная ул. 84/32, Россия, rodkin@mitp.ru

<sup>2</sup>Геофизический институт Академии наук и технологий Вьетнама, Ханой, Вьетнам,  
ngothiluigp@gmail.com

<sup>3</sup>Центрально-Азиатский институт прикладных исследований Земли,  
г. Бишкек, Кыргызская Республика, s.ogunbaev@caiag.kg

Ключевой нерешенной на настоящий момент проблемой при оценке сейсмической опасности является задача расчета долгосрочной сейсмической опасности, проистекающей от редких экстремально сильных землетрясений. Как подтвердил случай японского мега-землетрясения Тохоку (11.03.2011, M=9.0), даже одна из лучших на планете сетей сейсмических наблюдений и весьма длительный (с 869 г. н.э.) ряд данных по исторической сейсмичности не обеспечивают получение надежных оценок долгосрочной сейсмической опасности. Расчеты величин M<sub>max</sub> для территории Японии оказались заниженными, что и привело к недооценке возможной высоты волны цунами и к

катастрофе на атомной станции Фукусима. Тем более нерешенность проблемы оценки долгосрочной сейсмической опасности касается регионов, где данные по исторической сейсмичности достаточно скудны, а ряды инструментальных сейсмических наблюдений более короткие. Недостаток такой информации может быть восполнен несколькими способами.

Наиболее длительную историю развития и опыт применения имеет метод оценки долгосрочной сейсмической опасности (оценки величины  $M_{max}$ ) по комплексу геолого-геофизических и сейсмотектонических данных; этот метод, по-видимому, наиболее надежный из существующих на настоящий момент. Метод достаточно полно представлен в монографиях [1, 3], поэтому здесь ограничимся только самой краткой его характеристикой. Первые работы этого направления базировались на кластеризации типов земной коры при приписывании этим разным типам различного сейсмического потенциала [3]. В дальнейшем это направление исследований получило развитие в плане использования более сложного математического аппарата на основе алгоритмов распознавания образов и нечеткой логики [1]. Развитие этот метод получил также и в создании программных пакетов по решению такого рода задач. Недавним примером такого подхода является оценка сейсмической опасности для северо-запада Вьетнама рядом авторов данной статьи. Использование программных пакетов позволяет легко рассматривать различные варианты исходной геолого-тектонической информации и различные способы задания связи между сейсмичностью и этими параметрами. В целом, полученные этим первым методом результаты достаточно обнадеживающие, но, тем не менее, не дают пока полной уверенности в решении задачи получения надежной оценки долгосрочной сейсмической опасности.

Другие подходы к пониманию режима экстремально сильных редких землетрясений и к оценке долгосрочной сейсмической опасности имеют меньшую историю применения и менее разработаны и апробированы. Эти подходы базируются на теории экстремальных значений [2, 7-9 и др.], на оценке параметров максимальных палеоземлетрясений [6, 10 и др.] по полевым данным и на модели трактовки сейсмического режима в рамках нелинейного мультипликативного каскада [4, 5 и др.]. Охарактеризуем вкратце эти подходы.

На основе теории экстремальных значений с использованием предельных распределений – генерализованного распределения экстремальных значений (GEV) и генерализованного распределения Парето (GPD) – можно получать значения экстремально редких квантилей при условии, что хвост распределения ведет себя достаточно монотонно [2, 7-9 и др.]. Такова «плата» за использование хорошо развитого математического аппарата теории экстремальных значений. Естественно, на практике часто нет уверенности, что это требование выполняется. Возможно (как будет видно далее), что оно и не выполняется для некоторых сейсмических регионов на масштабе времени от нескольких десятков до нескольких сотен лет.

В плане обсуждения результативности применения методов теории экстремальных значений отметим то очевидное обстоятельство, что все ре-

ально измеримые значения конечны. Отсюда резонно предположить, что и достаточно точно описывающие эти данные теоретические распределения также должны быть конечны. Однако широко применяемые в сейсмологии распределения числа землетрясений (распределение Гуттенберга-Рихтера и даже корректирующее это распределение в области сильных землетрясений распределение, предложенное Я.Каганом [2, 7]) не отвечают этому требованию. Косвенно это указывает, что эти законы распределений в области редких сильнейших событий недостаточно точны. Указанному требованию отвечают, однако, большинство результатов расчетов поведения хвоста функции распределения числа сильных землетрясений по методам теории экстремальных значений. Расчетные модельные распределения поведения хвоста функции распределения, как правило, оказываются принадлежащими к классу конечных распределений [2]. Методы теории экстремальных значений не позволили, однако, выявить различия между характером сейсмичности в разных сеймотектонических условиях; значения параметра формы получаемого модельного предельного распределения оказались практически одинаковыми для зон субдукции, срединно-океанических хребтов и областей внутриконтинентальной сейсмичности. Возможно, это связано с феноменом характеристических землетрясений. Присутствие характеристических землетрясений нарушает требование достаточной монотонности поведения хвоста функции распределения, в результате чего распределения GEV и GPD не выполняются в требуемой мере (на масштабе времени пока не накопится несколько десятков характеристических землетрясений). В пользу данного метода отметим, что на его основе в 2010 году была показана достаточно высокая вероятность реализации в Японии мега-землетрясений M9+ [7].

Следующий возможный подход к оценке долгосрочной сейсмической опасности связан с методами определения параметров сильных палеоземлетрясений. Представляется, что определение параметров сильнейших палеоземлетрясений на масштабе времени нескольких тысяч лет позволило бы наиболее надежно решить задачу оценки долгосрочной сейсмической опасности. Классические методы такой оценки связаны с тренчингом и определением смещений по разломам при древних землетрясениях. Эти методы, однако, весьма трудоемки, а следы смещений в рельефе сильно сглаживаются со временем.

В качестве альтернативы таким подходам в [10] были предложены методы оценки максимальных массовых скоростей при землетрясениях (значений peak ground velocity, PGV) по смещениям скальных отдельностей, а также номограмма для ориентировочного определения возможных пар значений магнитуды и гипоцентрального расстояния для данного значения PGV. Естественно, каждое отдельное такое определение весьма ненадежно (наблюденное смещение может порождаться самыми разными причинами). Однако при получении достаточного для статистической обработки количества оценок величин PGV, этот метод позволяет характеризовать уровень долгосрочной сейсмической опасности достаточно определенно.

Методы оценки величин PGV и пар значений «магнитуда + расстояние до очага» прошли тестирование полевыми исследованиями в областях нескольких недавних сильных землетрясений, и было получено вполне удовлетворительное согласие результатов расчетов с параметрами землетрясений. В частности, этот подход оценки параметров палеоземлетрясений был протестирован в очаговых зонах сильного Сусамырского (19.08.1992 г.,  $M_S = 7.3$ ) и Кеминского (1911 г.,  $M_w = 7.9$ ) землетрясений в Киргизии. Этот же подход был опробован для оценки сейсмической опасности верхнего участка строительства Верхне-Нарынского каскада ГЭС. Полученные данные сравнивались с результатами исследования сейсмического режима другими методами и была показана их хорошая согласованность. В целом полученные результаты (естественно, требующие дальнейшей поверки и уточнений) указывают на перспективность развиваемого метода оценки величин PGV и параметров палеоземлетрясений по полевым данным о смещениях скальных отдельностей.

Общие качественные закономерности возможных режимов реализации редких сильнейших землетрясений могут быть исследованы в рамках модели мультипликативного каскада [4, 5]. Известно, что обычный закон повторяемости землетрясений Гутенберга-Рихтера может быть смоделирован в рамках схемы мультипликативного каскада, когда сейсмический режим трактуется как последовательность большого числа эпизодов лавинообразной релаксации, случайным образом реализующихся на множестве метастабильных подсистем. Было показано, что такая модель позволяет имитировать также и такие закономерности сейсмического режима как уменьшение наклона графика повторяемости в окрестности сильных землетрясений, развитие афтершокового степенного каскада и предвестниковой активизации, существование сейсмического цикла. Таким образом, в рамках схемы мультипликативного каскада могут быть смоделированы все достаточно надежно установленные закономерности сейсмического режима. Усложнение схемы каскада добавлением нелинейных членов в кинетическое уравнение каскада позволяет дать описание также эффекту «загиба вниз» графика повторяемости землетрясений и возможности возникновения характеристических землетрясений. Результаты моделирования сопоставлялись с данными по сейсмичности Юго-Восточной Азии. По результатам сопоставления можно предположить, что развитие нелинейности в порождающем уравнении мультипликативного каскада связано с более высокими концентрациями флюида в литосфере зон субдукции.

**Заключение.** Оценка долгосрочной сейсмической опасности является, наряду с прогнозом землетрясений, важной насущной задачей сейсмологии. На настоящий момент имеется несколько подходов к решению этого вопроса. Первый и наиболее развитый из этих подходов связан с определением связи между сейсмическим потенциалом (максимально возможной магнитудой  $M_{max}$ ) и геолого-геофизическими и тектоническими характеристиками территории [1, 3 и др.].

Второй способ [2, 6-9] связан с использованием теории экстремальных значений и предельных распределений – генерализованном распределением Парето (GPD) и предельным распределением экстремальных значений (GEV). Условием применимости этого теоретически строгого подхода является предположение о достаточной степени монотонности поведения хвоста исследуемой функции распределения в области редких сильнейших событий. Это требование, естественно, может в отдельных случаях не выполняться. В частности, оно не выполняется, если реализуется режим характеристических землетрясений, до тех пор, пока не наберется несколько десятков таких землетрясений. Естественно, в случае использования инструментальных каталогов могут иметь место только единичные случаи характеристических землетрясений. Фактически это значит, что если характеристические землетрясения в рассматриваемой области происходят, то данный метод будет давать некорректные результаты.

Третий способ решения проблемы оценки долгосрочной сейсмической опасности связан с получением данных о сильных палеоземлетрясениях. Наиболее известными подходами здесь являются методы тренчинга и оценки величин смещений поверхности при сильных землетрясениях. Однако метод тренчинга весьма трудоемок, а деформации поверхности при землетрясениях обычно не сохраняются достаточно долго. Полезным добавлением в этой связи является метод оценки величин пиковых массовых скоростей при палеоземлетрясениях [6, 10], оцениваемых по величинам смещения скальных отдельностей. Данный метод не прошел пока достаточной верификации, но представляется весьма эффективным и перспективным.

Полезной моделью описания поведения хвоста функции распределения является модель мультипликативного каскада в линейном и нелинейном вариантах. Этот подход позволяет на качественном уровне проинтерпретировать все основные возможные особенности режима редких сильных землетрясений («загиб вниз» графика повторяемости землетрясений, режим характеристических землетрясений и их комбинации). Модель не позволяет, однако, в настоящее время получать количественные оценки параметров сейсмического режима.

В целом заключаем, что, как и в случае задачи прогноза землетрясений, проблема надежной оценки долгосрочной сейсмической опасности в настоящее время не имеет окончательного решения. Имеется, однако, набор перспективных методик, развиваемых для решения этой проблемы.

***Благодарности.** Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (гранты № 15-55-54016 Вьет\_а, 14\_05\_00866 и 14\_05\_00776) и проекта VAST.HTQT.NGA.08/15-16 (Вьетнам).*

## Литература

1. Горшков А.И. Распознавание мест сильных землетрясений в Альпийско-Гималайском поясе. М.: КРАСАНД, 2010, 472 с.
2. Писаренко В. Ф., М. В. Родкин, Т. А. Рукавишникова. Оценка вероятности сильнейших сейсмических катастроф на основе теории экстремальных значений. ФИЗИКА ЗЕМЛИ, 2014, № 3, с. 89–103.
3. Рейснер Г.И., Иогансон Л.И., Рейснер М.Г., Баранов Ю.Е., 1993. Типизация Земной коры и современные геологические процессы // Ордена Ленина Институт Физики Земли имени О.Ю. Шмидта. Москва, 1993. 208 стр.
4. Родкин М.В. Модель сейсмического режима как совокупности эпизодов лавинообразной релаксации, возникающих на множестве метастабильных состояний. Физика Земли, 2011, № 10, с. 18–26.
5. Родкин М.В., Нго Тхи Лы, Лабунцова Л.М. Расширение модели мультипликативного каскада для описания режима повторяемости сильнейших землетрясений применительно к региональной сейсмичности Юго-Восточной Азии. Геофизические исследования, 2015, т.16, №2, 59-69.
6. Родкин М.В., Корженков А.М., Орунбаев С.Ж. Опыт оценки максимальных массовых скоростей в очаговых зонах сильных землетрясений по смещениям скальных отшельностей, по данным для ряда районов Киргизии. Вопросы инженерной сейсмологии. 2015, 42, 4, 25-36.
7. Pisarenko V., Rodkin M. Heavy-Tailed Distributions in Disaster Analysis. Advances in Natural and Technological Hazards Research, Volume 30, Springer, Dordrecht-Heidelberg-London-New York, 2010, DOI: 10.1007/978-90-481-9171-0
8. Pisarenko V., Rodkin M. Statistical Analysis of Natural Disasters and Related Losses. Springer Briefs in Earth Sciences. Springer, Dordrecht-Heidelberg-London-New York, 2014, 82 pp. ISBN: 978-3-319-01453-1
9. Pisarenko V.F., M.V. Rodkin. The maximum earthquake in future T years: Checking by a real catalog. Chaos, Solitons & Fractals, 74, 2015, 89–98.
10. Rodkin M.V., Nikonov A.A., Shvarev S.V., 2012. Seismic impact estimation from data on deformations and displacements in rock massifs. Geodynamics & Tectonophysics 3 (3), 203–237.

## ОПОЛЗНИ НОЖАЙ-ЮРТОВСКОГО РАЙОНА ЧЕЧЕНСКОЙ РЕСПУБЛИКИ И МЕРЫ БОРЬБЫ С НИМИ

Р.Х. Дадашев<sup>1</sup>, А.А. Даукаев<sup>2</sup>, Р.А. Гакаев<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Академия наук Чеченской Республики, г. Грозный

<sup>2</sup> Комплексный научно-исследовательский институт  
им. Х.И. Ибрагимова РАН, г. Грозный

<sup>3</sup> ФГБОУ ВО «Чеченский государственный университет», г. Грозный

Оползни – это широко распространенные экзогенные процессы, связанные с геологической деятельностью подземных вод. Суть их заключается в смещении слоев горных пород вниз по склону. Характер и интенсивность их во многом определяется составом и свойствами слагающих земную кору конкретной территории горных пород. К основным факторам, обуславливающим размах и активность проявлений оползней, относятся также особен-



ности рельефа, гидрометеорологические признаки, активность современных тектонических движений, хозяйственная деятельность человека и др. Ножай-Юртовский район Чеченской Республики характеризуется горным рельефом, сформированным эндогенными процессами и препарированным последующими эрозионно-денудационными процессами. Широкий размах и активное проявление здесь оползней предопределяется особенностями геологического строения и интенсивностью современных движений земной коры. Ножай-Юртовский район является частью Бенойского оползневого района [2, 7].

Вследствие глубокой эрозионной расчлененности района перепады высот рельефа достигают 400-500 м. Высокая горизонтальная и вертикальная расчлененность обуславливает высокую энергию рельефа, что в условиях развития в районе слабых глинистых пород ведет к распространению оползней. Вся территория района располагается в пределах области с интенсивными неотектоническими поднятиями. О неотектонических поднятиях свидетельствует повсеместное врезание русел рек в коренные породы, почти полное отсутствие аллювия в долинах, а также сам характер развития эрозионной сети. Оползни развиваются на всех типах склонов, как на эрозионно-денудационных, так и структурных. Будучи приурочены к водосборным бассейнам, оползневые массивы в плане повторяют форму последних. Оползни в районе характеризуются самыми различными размерами. Начинаясь от водораздельных линий, они, как правило, протягиваются до дна балок или оврагов и до уреза воды в реках, достигая длины нескольких сотен метров, иногда нескольких километров. Изучение распространения оползней южнее с. Ножай-Юрт показывают, что оползни, развитые здесь, занимают до 70% территории. Наряду с эрозией оползневые процессы в этом районе являются важнейшим рельефообразующим фактором. При таком широком развитии оползневые процессы в этом районе наносят огромный ущерб социально-экономической структуре, деформируя и разрушая дороги, постройки, сельскохозяйственные и лесные угодья. В современных условиях преобладающее количество оползневых явлений на осваиваемой территории происходит в результате антропогенной деятельности, осуществляемой без учета геологических и геоморфологических условий местности. Виды такой нерациональной деятельности приводящей к подрезке склонов, к перегрузке и дестабилизации склоновых отложений, чрезвычайно разнообразны [2, 4].

В районе находит широкое распространение глинистые породы преимущественно сарматского возраста на фоне моноклиальной структуры, осложненной целым рядом антиклинальных складок – Ножай-Юртовской, Северо-Ножай-Юртовской, Саясановской, Бенойской, Северо-Бенойской и др. В литолого-стратиграфическом отношении территория характеризуется выходом на земную поверхность геологических слоев верхнемелового, палеоген-неогенового и четвертичного возрастов, представленных карбонатными и терригенными породами. На юге рассматриваемого района (горные хребты Планидук, Дюрин-лам и др.) обнажаются породы верхнего мела и фораминиферовые слои, сложенные, соответственно, крепкими известняками и разноцветными мергелями. В районе г. Мехкдеттен-корт, г. Амир-корт, на-

селенных пунктов Байтарки, Мажгар, Татай-отар и др. на поверхность выходят чокракские слои, представленные в основном песчаниками с редкими прослоями глин. В этой полосе располагаются населенные пункты Даттах, Чеччель-хи, Зандак-ара, Хочи-ара, Саясан, чуть южнее Энгеной и др. Эти же отложения развиты и вблизи сс. Беной и Алхан-Отар. Разрезы их можно наблюдать по многочисленным малым рекам и балкам – Б.Ярыксу, М.Ярыксу, Доку-эйн, Яман-Су, Эрзумбере-эйн, Шерен-эйн и др. Нижне-средне-сарматские отложения литологически представлены темно-серой, голубовато-серой, местами слоистой и мергелистой глиной. Севернее описанных отложений обнажается мощная толща пород верхнесарматского возраста. В верхней части она сложена темно-серыми глинами с прослоями мелкозернистого желто-серого песчаника, а в нижней – темно-серыми глинами с мощностью более 300 м. В зоне выхода на поверхность верхнесарматских отложений располагаются селения Гиляны, Зандак, Рогун-Кажа, Айти-мохк и др. Таким образом, здесь четко прослеживается зависимость проявления оползневых процессов от вещественного состава (литологии) геологических горизонтов. Активные их проявления приурочены преимущественно к центральной зоне района, в геологическом строении которой принимают участие сарматские отложения, представленные глинами (зона расположения населенных пунктов Зандак, Гиляны, Саясан, Энгеной, Чеччел-хи и др.). В южной части на поверхность выходят песчаные пласты чокрака и карбонатные породы верхнего мела, а в северной части – четвертичные акчагыль-апшеронские слои, представленные песчано-алевролитовыми породами. Все отмеченные породы относятся, к так называемым легкопроницаемым. Здесь практически отсутствуют или слабо проявлены оползневые процессы [1, 6].

Следует отметить также связь оползневых процессов с активностью современных движений. Выше перечисленные населенные пункты, где наблюдались интенсивные оползни, находятся в пределах или вблизи Северо-Бенойской структуры, характеризующей активностью современных движений [8].

Несмотря на многолетний опыт исследования и прогнозирования оползневых процессов их периодически наблюдающаяся активизация в рассматриваемом районе наносит значительный материальный ущерб, вызывает проблемы в дальнейшем развитии инфраструктуры населенных пунктов и в целом всего района. В связи с этим весьма актуальными остаются совершенствование существующих и разработка новых методов борьбы с оползнями. Решение этой задачи в общем виде не представляется возможным, так как в каждом отдельном случае необходимо учесть особенности этой местности. В научной литературе предложены следующие меры борьбы с оползнями:

- организация инженерно-геологических исследований и регулярного мониторинга оползневых процессов;
- осуществление мер, препятствующих переувлажнению пород хозяйственными водами и др.;
- перехват и отвод поверхностных и подземных вод путем сооружения дренажных систем и нагорных канав с целью осушения оползневого участка;

- мероприятия, направленные на увеличение прочности склоновых грунтов – силикатизация, замораживание, цементация и т.д.;
- меры по удержанию оползневых масс путем забивания свай в шахматном порядке;
- посадка древесной и кустарниковой растительности с хорошо развитой дерниной для создания сомкнутого растительного покрова с целью снижения интенсивности оползневых процессов;
- недопущение эрозионной подрезки склонов в долинах рек.
- дернообразующие однолетние и многолетние травы, корневая система которых защищает почву от размыва;
- лесомелиоративные мероприятия [3, 5].

Каждый пункт этих мер требует отдельного анализа и рассмотрения. При этом в зависимости от месторасположения и природы оползней более эффективными могут оказаться те или иные меры.

В селении Хочи-Аре Ножай-Юртовского района на склоне горы на площади несколько гектаров наблюдались активные оползневые процессы. Активность этих процессов значительно возросла после необдуманных действий руководства местного сельскохозяйственного предприятия. В середине 80-х годов прошлого века началось претворение в жизнь грандиозного проекта выращивания на этих склонах люцерны, выкорчевывание деревьев и кустарников. Для использования сельхозтехники при посадке и уборке люцерны склоны выравнивались. При этом была полностью разрушена естественная система отвода воды из под грунта, созданную ливневыми потоками в течение длительного времени. Данная система состояла из мелких ручейков, которые стекались, образуя более крупные речки. Летом они высыхали, но осенью и весной интенсивно выводили воду из-под почвы. Антропогенное воздействие не являлось единственным фактором возникновения оползней, но на данном участке именно разрушение описанной системы, вырубка и выкорчевывание лесов имело определяющее значение при активизации оползневых процессов. Восстановление разрушенной системы естественным путем требует десятки и сотни лет. Взамен разрушенной системы водоотвода нами сконструирована дренажная система отвода воды. Определенные оползнеопасные участки требуют внимательного изучения, анализа и принятия индивидуальных решений. На данном участке вверх по склону поднимается дорога, которая служила центральным каналом, по которому стекают водные потоки атмосферных осадков. Суть дренажных работ заключалась в следующем. Поперек склона горы под углом 20-25° вырыта траншея глубиной 1,0-1,5 м. На дне и нижней стенке траншеи размещена полиэтиленовая пленка, которая способствует стеканию воды по дренажной канаве. На пленку кладется специальная дренажная труба, которая сверху покрывается щебенкой. Вся эта система завернута в специальный материал и засыпана глиной. Данная противооползневая система позволяет осушить оползневый участок. После обильных дождей вода эффективно выводится из оползневой зоны. Болотистые участки удалось полностью осушить и оползневой процесс прак-

тически прекратился. Эта система может быть эффективно использована в аналогичных оползневых участках республики и в других регионах.

#### Литература

1. Борисенко З.Г., Даукаев А.А., Гайсумов М.Я., Абубакарова Э.А., Чимаева Х.Р. Справочник. Геология нефтяных месторождений Терско-Сунженской нефтегазоносной области. Грозный, 2010.
2. Гакаев Р.А., Даукаев А.А. Структурно-тектонические условия оползнеобразования в Бенойском оползневом районе Чеченской Республики. В сборнике: Сборник научных трудов Комплексный научно-исследовательский институт РАН; Редактор Батаев Д.К.-С.. Москва, 2009. С. 217-221.
3. Гакаев Р.А., Даукаев А.А. Влияние хозяйственной деятельности на возникновение оползней в Чеченской Республике. В сборнике: Современные проблемы геоэкологии и природопользования горных территорий Материалы IV Международной научно-практической конференции. 2009. С. 235-237.
4. Гакаев Р.А., Даукаев А.А. Очаги селеобразования и селевая опасность в горной Чечне. В сборнике: Анализ, прогноз и управление природными рисками в современном мире (Геориск- 2015) Материалы 9-й Международной научно-практической конференции. Научный Совет РАН по проблемам геоэкологии, инженерной геологии и гидрогеологии. Москва, 2015. С. 154-158.
5. Гакаев Р.А., Зухайраева К.Я. Некоторые меры по снижению вероятности возникновения оползней в Чеченской Республике. Вестник Чеченского государственного университета. 2015. № 1. С. 179-183.
6. Лопатинский Г.С., Диковский А.Л., Рябов Н.С. Проблемы оползневой опасности на территории Чечено-Ингушетии // Тезисы 7 краевой конференции по геологии и полезным ископаемым Северного Кавказа. Ессентуки. 1991. С. 337-339.
7. Руженцев В.Е. Бенойско-Датахский нефтеносный район. М.-Л.: Гос. науч.-тех. геологоразведочное изд-во, 1932. 76 с.
8. Сидоров В.А., Атанасян С.В., Багдасарова М.В. и др. Современные движения земной коры и нефтегазоносность. М.: Наука, 1987. 119 с.

### ОБОСНОВАНИЕ ЗАЩИТНЫХ МЕРОПРИЯТИЙ ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ ЗДАНИЙ НА ОПОЛЗНЕОПАСНОМ СКЛОНЕ ДОЛИНЫ р. СХОДНЯ

**А.И. Казеев, Г.П. Постоев, Б.К. Лапочкин, М.М. Кучуков**

Институт геоэкологии им. Е. М. Сергеева РАН  
101000, Москва, Уланский пер. дом 13, стр.2.  
E-mail: opolzen@geoenv.ru, www.opolzni.ru

Проектирование строительных работ на оползнеопасных территориях требует проведения специальных инженерно-геологических исследований, включающих выявление закономерностей развития оползневых деформаций, типизацию оползней, оценку степени их опасности для объекта, а также обоснование необходимых защитных мероприятий [1].

Для разработки конкретных предложений по необходимым защитным мероприятиям ИГЭ РАН был выполнен анализ оползневой обстановки на объекте: «Жилой комплекс, состоящий из многоквартирных жилых домов средней этажности с подземными автостоянками», расположенном на земельном участке площадью 50 000 кв.м по адресу: Московская область, г.о. Химки, микрорайон Планерная» (рис. 1).



**Рис. 1. Схема расположения проектируемого жилого комплекса**

В геоморфологическом отношении исследуемая площадка приурочена к левому берегу реки Сходня и представляет собой террасированный склон. Площадка имеет частично измененный в результате техногенного воздействия морфологический облик, в т.ч. в результате строительства, с последующим сносом многоэтажного здания. Абсолютные отметки склона на участке проектируемого строительства изменяются в пределах 147,30 – 175,00 м.

Изыскательскими работами на площадке вскрыт широкий комплекс генетически разнообразных отложений: верхнекаменноугольные морские отложения (трещиноватые известняки), средне-верхнеюрские отложения (пески), верхнеюрские отложения оксфордского яруса (глины), верхнеюрские отложения волжского яруса (суглинки), нижнемеловые отложения (пески), средне-верхнечетвертичные водно-ледниковые отложения (пески, суглинки), средне-верхнечетвертичные аллювиально-флювиогляциальные отложения (пески и суглинки), средне-верхнечетвертичные озерно-болотные отложения (суглинки, торфа), верхнечетвертичные покровные отложения (суглинки). Среди перечисленных геологических образований изыскателями выделено 12 инженерно-геологических элементов.

На площадке вскрыты подземные воды трех водоносных горизонтов, имеющих весьма сложную дислокацию и гидравлическую взаимосвязь. Первый водоносный горизонт приурочен к водно-ледниковым и аллювиально-флювиогляциальным пескам. Относительным водоупором для горизонта служат водно-ледниковые суглинки. Уровень грунтовых вод находится на отметках 156,85 – 171,40 м. Воды данного водоносного горизонта гидравлически связаны (разгружаются) с поверхностными водами (река Сходня).

Водовмещающими породами второго водоносного горизонта является комплекс нижнемеловых и юрских отложений. Водоупором горизонта служат глины юрского возраста. Уровень грунтовых вод установился на отметках 154,00 – 157,30 м.

Опасными геологическими процессами, развитыми на территории площадки, являются: сезонное промерзание грунтов, морозное пучение, снижение показателей прочностных и деформационных свойств грунтов в результате их переувлажнения на локальных участках аккумулирующих поверхностный сток.

В отчете по изыскательским работам указывалось на отсутствие признаков развития оползневых процессов и отмечалась лишь возможность их проявления (неглубокие оползни, оплывины), в силу сложности рельефа территории.

Однако анализ оползневой обстановки в долине р. Сходня показал, что для проектируемых зданий на склоне, наиболее опасным процессом могут явиться глубокие блоковые оползни. Проявление такого типа оползня отмечено у бульвара Яна Райниса в г. Москве, где береговой склон имеет сходное геологическое строение. Установлено, что при активизации подобного оползня подвижки могут составить 3 м и более, угрожая расположенным вблизи постройкам.

На другом участке долины р. Сходня при строительстве спортивно-развлекательного комплекса «Свободный полёт» на высоком левом берегу реки (на внешней стороне МКАД – 71 км) также была определена опасность возможных глубоких оползневых подвижек с захватом юрских отложений. Аналогичная ситуация с высокой степенью оползневой опасности наблюдается на объекте проектируемого ЖК «Новый город», вблизи ДО «Нагорное» (мкр. Новогорск).

По результатам натурного обследования участка работ, выполненного ИГЭ РАН в ноябре 2014 г., было установлено следующее. Участок имеет циркуобразную форму, локализуясь в излучине р. Сходня. Отмечено наличие крутого протяженного откоса, на котором идет завершение строительства четырехэтажного жилого здания (ЖК «Зеленые холмы»), многочисленных родников на склоне, а также отсутствие свежих следов оползневых деформаций.

Результаты геомеханического анализа устойчивости склона путём сопоставления предельного расчётного и фактического состояний указывают на опасность возникновения глубоких оползневых подвижек. Расчёты устойчивости склона по методике ИГЭ РАН показали, что участок строительства находится в границах оползневого очага с проявлением глубокого оползня. Выположенный участок поверхности скольжения согласно результатам расчётов и исследований находится на отметках 135,0 –136,0 м. Этот вывод имеет важное значение для проведения соответствующих расчётов по обоснованию необходимых защитных мероприятий для обеспечения устойчивости проектируемых зданий и сооружений. Следует также отметить, что установленное на указанных отметках положение поверхности скольжения (ПС) относится к осевому створу. Как установлено, к бортовым границам участка ложе оползня повышается на 1–1,5 м. В расчётах положение ПС может быть скорректировано или принято таким же, тем самым повышая запас устойчивости в соответствующих створах.

Оценка оползневой опасности и эффективности необходимых защитных мероприятий осуществлена проведением серии расчетов устойчивости склона с использованием программного комплекса GEOSTAB. Как следует из результатов расчетов, глубокие блоковые оползни могут представлять основную опасность для проектируемого жилого комплекса (преимущественно в юго-восточной части участка работ), а основные защитные мероприятия должны быть направлены на обеспечение общей устойчивости склона с необходимым запасом ( $K_{st} \geq 1,28$ ).

Вычислительные процедуры были выполнены по 4-м характерным расчётным разрезам, равномерно охватывающим весь участок исследований. Расчеты выполнены с учётом следующих факторов: образование котлованов, нагрузка от зданий, влияние подземных вод, изменение расчётных значений свойств грунтов по поверхности скольжения, изменение очертания поверхности скольжения при оценке общей и локальной устойчивости, защитные мероприятия, включая дренажные мероприятия, создание свайной удерживающей конструкции (ростверка) и анкерного крепления склона.

Расчеты показали, что естественный склон (еще до рассмотрения влияния техногенной нагрузки) находится в устойчивом состоянии и имеет достаточный запас устойчивости в отношении вероятности развития на участке глубоких блоковых оползней типа сжатия-выдавливания.

При учете в расчетах техногенного воздействия на склон (прокладка дороги с частичной подрезкой высокого откоса, создание котлованов под здание и учет нагрузки от здания ЖК «Зеленые холмы») общая устойчивость

склона находится на недостаточном уровне. При этом локальная устойчивость склона (устойчивость верхней прирвовочной части склона с захватом прилегающей территории ЖК «Зеленые холмы») при подрезке (даже небольшой) откоса может привести склон в неустойчивое состояние  $K_{st}=1,01-1$ .

Наиболее проблемным участком является южная часть склона (до излучины реки), где откос имеет наибольшую высоту, а проектируемые котлованы под здания приближаются к откосной части склона.

В качестве основных противооползневых мероприятий на указанном участке склона ввиду отсутствия возможности внесения существенных изменений в конструкцию запроектированного здания и изменения Проекта (подъем подземного паркинга на пару уровней, чтобы избежать глубокой подрезки склона) рассматриваются укрепление склона свайными удерживающими сооружениями (свайная стенка с ростверком) и анкерное крепление склона. При этом для повышения общей устойчивости склона до требуемого уровня необходимо создать свайную удерживающую стенку на уровне автодороги (предпочтительно с верховой стороны) на восприятие оползневого давления  $120 \text{ т/м}^2$ :  $K_{st}=1,28$ .

Однако снижение уровня грунтовых вод на время проведения строительных работ позволила бы существенно уменьшить расчетное оползневое давление, необходимое для компенсации предлагаемой свайной стенкой. Искусственное понижение УГВ на 3-6 м откачками позволит уменьшить воспринимаемое свайным ростверком оползневое давление до  $65-85 \text{ т/м}^2$ . При проектировании свайного удерживающего ростверка уменьшение воспринимаемого им давления можно было бы компенсировать добавлением в конструктив укрепления склона анкерного крепления.

На этапе строительства для повышения общей устойчивости склона до требуемого уровня достаточно выполнение свайной стенки на восприятие оползневого давления  $25 \text{ т/м}^2$ :  $K_{st}=1,22$ .

Альтернативным вариантом свайному укреплению склона рассмотрено анкерное крепление. С учетом двух рядов анкеров на уровне дороги внизу откоса с параметрами: длина анкера 11 м, диаметр анкера 0,3 м, сцепление по поверхности анкера 200 кПа, преднатяжением анкеров до 1000 кН обеспечивается запас общей и локальной устойчивости склона с коэффициентами запаса устойчивости соответственно  $K_{st}=1,30$  и  $K_{st}=1,92$  (без учета возможного снижения УГВ).

При обустройстве набережной в виде ярусной габионной конструкции (локальных контрбанкетов) необходимо обратить внимание на устойчивость самого контрбанкета. Предложено повысить отметки нижней площадки со 151,0 м до 152,0 м – в северо-западной части участка исследований.

После завершения строительных работ и пригрузки склона весом зданий устойчивость склонов должна обеспечиваться с требуемым запасом. В связи с размещением площадки строительства на оползневом склоне, с возможным наличием в массиве унаследованной поверхности скольжения глубокого оползня, в соответствии с нормативными документами необходима организация мониторинга за состоянием склона и сооружениями.



При разработке котлованов под здания необходимо обеспечить устойчивость ограждающих конструкций и стен котлована. Для этих целей в обязательном порядке должен быть организован геотехнический мониторинг на рассматриваемой территории, в том числе за устойчивостью и деформациями бортов глубоких котлованов со стороны высокого откоса.

При обустройстве котлованов под зданиями и строительстве подземной части зданий необходимо особое внимание также уделить дренажным мероприятиям и недопущению подъема УГВ вследствие проявления барражного эффекта.

При обустройстве контрбанкета в нижней части склона необходимо обеспечить дренирование поверхностных и подземных вод.

На территории жилого комплекса необходимо обустроить сеть ливневой канализации с перехватом поверхностного стока, поступающего, в том числе, с прилегающей территории ЖК «Зеленые холмы».

Для контроля развития оползневых деформаций на участке и, соответственно, для оценки эффективности предлагаемых противооползневых мероприятий целесообразно организовать автоматизированный мониторинг.

Рекомендуемая система мониторинга для контроля оползневых деформаций на склоне включает: 1 автоматический экстензометрический створ, работающий в режиме реального времени; 9 точек инклинометрического контроля (ТИК), работающие в режиме посещения; 4 точки контроля за осадками фундаментов; 2 точки контроля уровня грунтовых вод.

Оборудование наблюдательной сети, а также выполнение первоначальных замеров необходимо осуществить на начальной стадии или до выполнения планировочно-строительных работ.

Таким образом, в результате исследования существенно скорректированы выводы отчётных материалов инженерно-геологических изысканий (что касается особенностей, связанных с расположением объекта в пределах оползневого цирка, упущенных при проведении изысканий). Установлен тип оползня, положение в разрезе поверхности скольжения. Проведены расчёты устойчивости с учётом механизма оползня и даны рекомендации по защитным мероприятиям и мониторингу.

#### Литература

1. *Постоев Г.П., Лапочкин Б.К., Казеев АИ.* Оценка оползневой опасности при реконструкции объектов оздоровительного комплекса «Дагомыс». Сергеевские чтения, вып. 12, 2010.

## ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ РАЗВИТИЯ ПРИСКЛОНОВОЙ СУФФОЗИИ ПРАВОГО БЕРЕГА РЕКИ ВОЛГА

И.А.Лаврусевич, А.А.Лаврусевич

ФГБУ ВО НИУ «Московский государственный строительный университет», 129337 Москва, Ярославское шоссе, 26. E-mail: lavrusevich@yandex.ru

В настоящее время суффозионная опасность для объектов промышленного и гражданского строительства воспринимается противоречиво, что находит отражение в действующих нормативных документах. Согласно СНиП 22-01-95, суффозия включена в число опасных для строительства природных процессов наряду с оползнями, карстом, абразией и др. [9]. В СП 11-105-97 «Инженерно-геологические изыскания для строительства». Ч. II. «Правила производства работ в районах развития опасных геологических и инженерно-геологических процессов» читаем, что суффозия рассматривается только в парагенезисе с этими процессами и не признается как самостоятельный процесс [7]. В СП 116.13330.2012 [8], суффозия представляет собой разрушение и вынос потоком подземных вод отдельных компонентов и крупных масс дисперсных и цементированных обломочных пород, в том числе слагающих структурные элементы скальных массивов.

В результате этого в практике промышленного и гражданского строительства недооценивают возможности появления и развития суффозии в ходе строительства и эксплуатации проектируемых объектов, за исключением случаев их расположения на оползнеопасных склонах, на карстоопасных территориях или в береговых зонах водохранилищ [5]. Тем не менее, и в этих случаях суффозия может развиваться по разным причинам [6], причем для объектов промышленного и гражданского строительства наибольшую опасность представляет процесс формирования суффозионных полостей, который может протекать в дисперсных грунтах, относящихся к четвертичным отложениям различных генетических типов [1,2,3,4].

Рассмотрим пример воздействия суффозионного процесса и последствий его развития на эксплуатируемое сооружение.

Объект расположен на правом берегу р. Волги в самом центре г. Волгограда (набережная Волгоградского речного пассажирского порта, в 300 м ниже по течению). В геоморфологическом отношении это южная часть Приволжской возвышенности. Поверхность правого берега реки Волга сильно расчленена оврагами, большая часть которых на сегодняшний день засыпаны, что приводит к подтоплению территории города. Правый берег гипсометрически выше левобережья. Склон облицован железобетонными плитами размером 2,5x2,5 м стыки между которыми залиты бетоном, угол склона около 30° сложен мелкозернистыми песками верхнечетвертичного возраста. Произошел провал плиты покрытия, примыкающей к нижнему ростверку разделяющему укреплённый склон и пойму р. Волги (рис. 1, 2).



**Рис. 1, 2. Провал плиты, примыкающей к нижнему ростверку  
разграничивающему укрепленный склон и пойму р. Волги**

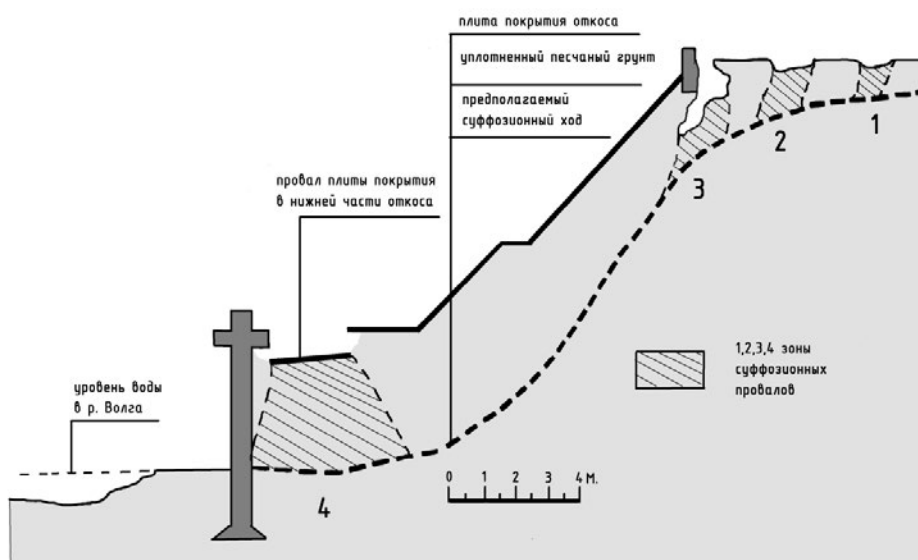
При осмотре провала плиты и прилегающей территории, выше по откосу, за гребнем ростверка, была обнаружена суффозионная полость размером 1,5x0,8м (рис. 3).

Измеренная глубина полости более 2,3 м. Видно направление выноса грунта – вниз, под бетонные плиты облицовки склона. В примыкающей к верхнему ростверку площадке не перекрытой асфальтом и плитами по линии разреза видны неглубокие (до 0,4м) суффозионные провалы диаметром от 0,7 до 1,3 м. (рис. 4, провалы 1 и 2). На небольшом расстоянии отмечено еще восемь таких провалов. Важно отметить, что на площадке проложена сеть водопроводных труб для полива. Отсутствие цивилизованного сброса излишков воды при поливе площадки спровоцировали возникновение и развитие суффозионного хода. Развитие суффозионного хода и возросшее гидродинамическое давление в нижней части откоса вызвало вынос песчаного грунта и последующий за ним провал плиты.

Остается опасность провала плит облицовки откоса, так как под ними, на данный момент, уже сформированы суффозионные полости. При детальном осмотре плит облицовки откоса видны небольшие деформации вызванные выносом и разуплотнением грунта из под основания плит. Не принятие экстренных мер в кратчайшие сроки, приведет к смещению плит покрытия, последующему разрушению откоса и большим финансовым затратам на восстановление.



**Рис. 3. Суффозионный провал в верхней части откоса.  
Направление выноса грунта в сторону провала плиты в нижней части склона**



**Рис. 4. Схема разреза правого берега реки Волга пораженного суффозией**

## Литература

1. Лаврусевич А.А., Крашенинников В.С., Лаврусевич И.А. Лёссовый псевдокарст и опыт укрепления лёссовых массивов и откосов искусственными посадками некоторых растений (на примере лёссового плато в провинциях Ганьсу и Шеньси, Китай) // Инженерная геология. 2012. №3. С. 48-58.
2. Лаврусевич А.А., Хоменко В.П. Инженерная защита территорий, пораженных лёссовым псевдокарстом // Вестник МГСУ. 2012. № 10. С. 213-220.
3. Лаврусевич А.А., Хоменко В.П., Лаврусевич И.А. Проблемы строительного освоения пораженных псевдокарстом лёссовых массивов // Промышленное и гражданское строительство. 2012. № 11. С. 11-13.
4. Лаврусевич А.А., Брюхань Ф.Ф., Лаврусевич И.А., Хоменко В.П. Псевдокарстовые явления в четвертичных и коренных отложениях юго-востока Крымского полуострова // Промышленное и гражданское строительство. 2014. № 11. С. 15-18.
5. Лаврусевич И.А., Хоменко В.П., Лаврусевич А.А. Недооценка суффозионной опасности при строительстве плоскостных бетонных сооружений // Промышленное и гражданское строительство. 2015. № 11. С. 54-57.
6. Хоменко В.П. Закономерности и прогноз суффозионных процессов. М.: ГЕОС, 2003. 216 с.
7. СНиП 22-01-95. Геофизика опасных природных воздействий. М.: Минстрой России. 1996. 8 с.
8. СП 11-105-97. Инженерно-геологические изыскания для строительства. Ч. II. Правила производства работ в районах развития опасных геологических и инженерно-геологических процессов. М.: Госстрой России. 2000. 93 с.
9. СП 116.13330.2012. Инженерная защита территорий, зданий и сооружений от опасных геологических процессов. Основные положения. М.: Минрегион России, 2012. 60 с.

## СЕЙСМИЧНОСТЬ РОССИИ В 2011–2015 гг.

А.А. Маловичко<sup>1</sup>, О.Е. Старовойт<sup>1</sup>, А.И. Рузайкин<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Геофизическая служба РАН ул. Ленина, 189, Обнинск, Калужская область, 249035 Россия.  
E-mail: amal@gsras.ru; olstar1933@gmail.com

<sup>2</sup> Институт геоэкологии им. Е.М. Сергеева РАН, 101000, г. Москва, Уланский пер., 13, стр. 2.  
E-mail: a.ruzaykin@yandex.ru

В 2011–2015 гг. Геофизической службой (ГС) РАН совместно с ИГЭ РАН проводились работы по проведению сейсмического мониторинга территории Российской Федерации [1-3].

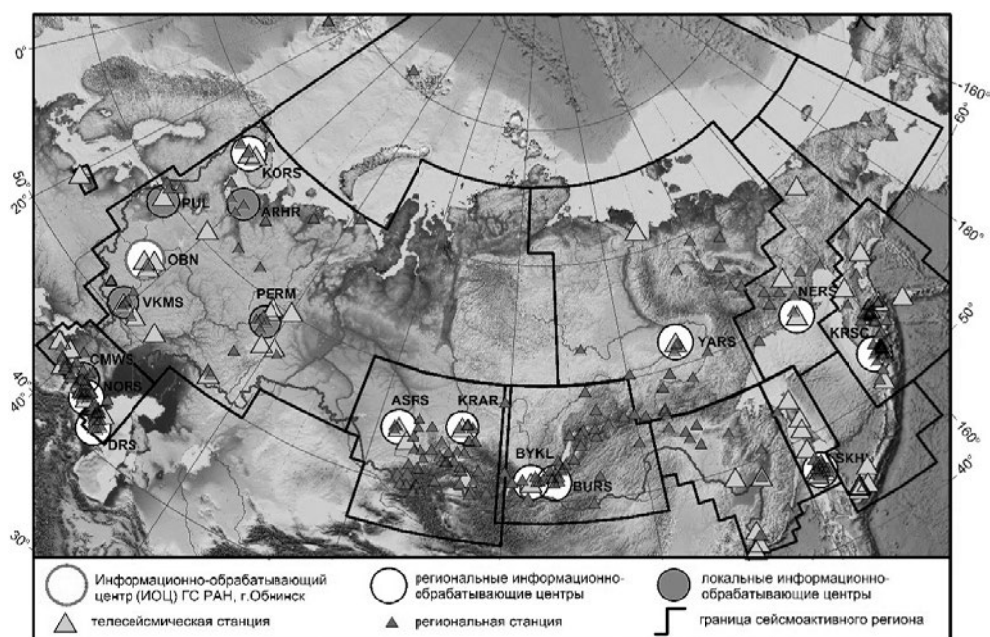
В проведении мониторинга различных регионов Российской Федерации учитывались данные, полученные в других организациях Российской академии наук (Горный институт Уральского отделения (УрО) г. Пермь, Институт экологических проблем Севера УрО г. Архангельск, Институт геологии Коми НЦ УрО г. Сыктывкар, Институт динамики геосфер г. Москва). Мониторинг сейсмических процессов на территории Воронежского кристаллического массива и на территории Красноярского края осуществлялся сотрудниками Воронежского государственного университета и Государствен-

ного предприятия Красноярского края «Красноярский научно-исследовательский институт геологии и минерального сырья».

На рис.1 приведена карта расположения на территории России сейсмических станций, данные которых участвовали в работах по изучению сейсмичности территории Российской Федерации. Жирные черные линии показывают контуры 11 основных сейсмоактивных регионов России согласно принятой в ГС РАН регионализации.

Обработка сейсмологических данных в системе ГС РАН осуществляется в двух режимах – в срочном (близком к реальному времени) и текущем.

**Срочный режим обработки** осуществляют Службы срочных донесений (ССД), функционирующие в г. Обнинске, а также в трех филиалах – Камчатском (г. Петропавловск-Камчатский), Сахалинском (г. Южно-Сахалинск) и Северо-Осетинском (г. Владикавказ). ССД в г. Обнинск осуществляет непрерывный мониторинг сейсмичности территории России и Земного шара, а Камчатская, Сахалинская и Северо-Осетинская ССД обеспечивают региональный мониторинг. Камчатский и Сахалинский филиалы ГС РАН также обеспечивают функционирование сейсмической подсистемы в рамках Федеральной системы предупреждения о цунами на Дальнем Востоке России.



**Рис. 1. Расположение сейсмических станций на территории России и положение основных сейсмоактивных регионов России в период 2011–2015 гг.**

Службы срочных донесений (ССД) в течение 15-30 мин. осуществляют обработку всех поступающих в режиме реального времени сейсмологических данных и формируют срочные донесения для оповещения центральных и местных органов исполнительной власти, а также структур МЧС о произошедших землетрясениях и их возможных последствиях. В случае сильных и разрушительных землетрясений эта информация обеспечивает принятие экстренных мер по оказанию помощи пострадавшим районам, спасению жизни людей и ликвидации последствий стихийного бедствия.

**Текущий режим обработки** используется для уточнения параметров сильных землетрясений и анализа большого количества сравнительно слабых землетрясений, а также афтершоков, возникающих после сильных землетрясений. В этом режиме для оценки параметров землетрясений привлекается максимальное количество сейсмологических данных, полученных как отечественными, так и зарубежными станциями. Принципы работы ССД подробно описаны в работе [4].

В сентябре 2014 г. в Центральном отделении ГС РАН (г. Обнинск) была запущена в эксплуатацию автоматизированная система для сбора и анализа макросейсмических данных об ощутимых землетрясениях на территории России в режиме реального времени с использованием сети Интернет [5]. Вход в систему осуществляется с главной страницы сайта ГС РАН (<http://www.ceme.gsras.ru>) по ссылке «**Вы ощутили землетрясение? Сообщите нам об этом**». Система полностью адаптирована для всех современных браузеров, а также самых различных вычислительных устройств – персональных компьютеров, ноутбуков, планшетов, а также самых различных мобильных устройств, имеющих возможность работы в сети Интернет. Созданная система позволяет осуществлять оперативный сбор откликов о макросейсмических проявлениях землетрясений от русскоязычных респондентов, как в России, так и в других странах, и тем самым создает основу для быстрой оценки интенсивности ощутимых землетрясений и масштабов их последствий на земной поверхности.

В целом на территории России в 2011-2015 г. Службой срочных донесений ГС РАН при проведении сейсмического мониторинга было зафиксировано в оперативном режиме более 830 ощутимых землетрясения. Рассмотрим результаты, полученные в основных сейсмоактивных регионах России в направлении с запада на восток.

На территории Северного Кавказа и в прилегающих акваториях Черного и Каспийского морей в 2011–2015 гг. было зафиксировано около 69 землетрясений с магнитудами  $m_b \geq 4,0$ . Эпицентр самого сильного землетрясения за этот период времени находился в акватории Черного моря (23 декабря 2012 г.). Он имел магнитуду  $m_b = 5,6$  с интенсивностью сотрясений в эпицентральной области порядка 5-6 баллов по шкале MSK-64.

На обширной, но слабосейсмичной территории Восточно-Европейской платформы, Урала и Западной Сибири в период 2011 -2015 гг. в основном фиксировались единичные сравнительно слабые землетрясения с магнитудами  $m_b=3,0-3,2$  и с очагами на территории Республики Башкортостан, Рес-

публики Коми и Среднего Урала. Всего за рассматриваемый период времени 2011–2015 гг. было зарегистрировано около 7 землетрясений. Наиболее сильным оказалось событие с эпицентром севернее г. Полтавы произошедшее 04 января 2015 г., которое имело магнитуду равную  $m_b=4,7$  и интенсивность сотрясений в эпицентральной области около 2,5-3 баллов. 18 октября 2015 г. на Урале в районе г. Екатеринбургa произошло сильное для этого района землетрясение с магнитудой  $m_b=4,1$ , которое ощущалось в близлежащих населенных пунктах с силой 3 балла по шкале MSK- 64.

На территории Арктического региона в рассматриваемый период было зарегистрировано 30 землетрясений с  $m_b \geq 4,0$ , из них примерно половина с эпицентрами, расположенными в районе архипелага Шпицберген, а остальные – в районе моря Лаптевых. Самое сильное землетрясение произошло 11 января 2015 г. в восточной части Арктического региона (в районе архипелага Шпицберген) и имело магнитуду  $m_b=5,4$  с интенсивностью сотрясений в эпицентральной области около 6-6,5 баллов по шкале MSK- 64.

В южной части Сибири в пределах Горного Алтая и Саян и прилегающих к ним территориях в 2011–2015 гг. было зарегистрировано 135 землетрясений с  $m_b \geq 4,0$ . 27 февраля 2012 г. в Тувинской республике было зарегистрировано самое сильное землетрясение на территории Алтае-Саянского региона. Оно произошло спустя два месяца после Тувинского землетрясения (27 декабря 2011 г.,  $m_b=6,6$ ) и имело магнитуду  $m_b=6,8$ . После этих двух сильных землетрясений наблюдалось достаточно большое число афтершоков. Это землетрясение ощущалось на значительной территории Сибири и Монголии. Интенсивность сотрясений составили в эпицентральной зоне 7-8 баллов по шкале MSK-64.

На территории Прибайкалья и Забайкалья в 2011–2015 гг. было зарегистрировано 111 землетрясений с  $m_b \geq 4,0$ . Наибольшее их количество наблюдалось в период 2014 и 2015 гг. (25 и 54 землетрясения соответственно). Самое сильное землетрясение, имевшее магнитуду  $m_b=5,7$  произошло 23 мая 2014 г. восточнее оз. Байкал. В эпицентральной зоне интенсивность сотрясений достигала 7-7,5 баллов по шкале MSK-64.

На территории Приамурья и Приморья в 2011–2015 гг. произошли 13 землетрясения с  $m_b \geq 4,0$ . Некоторые из них сопровождались сейсмическими сотрясениями интенсивностью до 4 баллов. Большинство из них имели глубину очага более 50 км и их сотрясаемость довольно слабо проявлялась на поверхности земли. Самое сильное неглубокое землетрясение  $m_b=5,9$  (Сковородинское) произошло в Амурской области 14 октября 2011 г. на глубине 18 км. Оно ощущалось в ближайших к эпицентру крупных населенных пунктах с силой до 7 баллов по шкале MSK-64. 29 июля 2012 г. в Татарском проливе на глубине 504 км с  $m_b=5,9$  произошло землетрясение. Так как гипоцентр этого землетрясения находился на глубине больше 55 км сейсмического воздействия от этого землетрясения не было отмечено.

На территории о. Сахалин и прилегающих акваторий в 2011–2015 гг. зарегистрировано более 57 ощутимых землетрясений с  $m_b \geq 4,0$ . Самое сильное коровое землетрясение, имевшее магнитуду  $m_b=5,4$ , произошло на севе-



ре о. Сахалин 19 февраля 2014 г. и вызвало сотрясения интенсивностью до 4 баллов по шкале MSK-64. 14 августа 2012 г. в этом регионе на глубине  $H = 589$  км произошло самое сильное за последнее время землетрясение на территории России (в Охотском море у восточного побережья о. Сахалин). Оно имело магнитуду равную  $m_b = 7,7$  и ощущалось на большей части России с интенсивностью не превышающей 3-4 баллов по шкале MSK-64.

На территории Курило-Охотского региона в период 2011–2015 гг. зафиксировано 193 землетрясения с магнитудами  $m_b \geq 5,0$ . В этом регионе 24 мая 2013 г. на глубине 600 км западнее Курильских островов было зарегистрировано сильное землетрясение с магнитудой этого события  $m_b = 7,7$ . Поскольку, очаг землетрясения располагался на глубине 600 км, то сотрясения на островах Курильской гряды не превышали 6-7 баллов по шкале MSK-64.

На территории Якутии в 2011–2015 гг. было зарегистрировано 7 землетрясений с  $m_b \geq 4,0$ . Самое сильное землетрясение произошло 14 февраля 2013 г. на территории Республики Якутия и имело магнитуду  $m_b = 6,8$ . Оно ощущалось в районе эпицентра с силой до 9,5 -10 баллов по шкале MSK-64 и сопровождалось большим количеством афтершоков (до 34 при обычной норме до 2 землетрясений в год в этом районе).

На обширной, но слабосейсмичной территории Северо-Востока России и Чукотки в период 2011–2015 гг. в основном фиксировались единичные сравнительно слабые землетрясения с магнитудами  $m_b = 3,0-3,2$ . Всего за рассматриваемый период времени 2011–2015 гг. всей этой территории было зарегистрировано около 16 землетрясений с магнитудами  $m_b \geq 4,0$ . Наиболее сильным оказалось событие, произошедшее 06 мая 2013 г. на юге Чукотки, которое имело магнитуду равную  $m_b = 5,1$  и интенсивность сотрясений в эпицентральной области около 5,5 – 6 баллов по шкале MSK-64.

На территории одного из самых сейсмоактивных регионов России – региона Камчатки и Командорских островов в период 2011–2015 гг. зарегистрировано более 158 землетрясений с магнитудами  $m_b \geq 5,0$ . Самое сильное землетрясение, зафиксированное 12 октября 2013 г., имело магнитуду  $m_b = 6,6$ , глубину  $H = 80$  км (Восточная Камчатка). Оно ощущалось на поверхности в районе эпицентра с силой 6 баллов по шкале MSK-64.

В результате проведенных исследований по изучению изменения сейсмичности показали, что на территории Российской Федерации в рассматриваемый период времен 2011–2015 гг. было зарегистрировано несколько сильных землетрясений. Так для региона Северного Кавказа таким сильным землетрясением является землетрясение 23 декабря 2012 с магнитудой  $m_b = 5,6$ ; для региона Восточно-Европейской платформы, Урала и Западной Сибири – землетрясения 03 февраля 2015 г. с магнитудой  $m_b = 4,7$ ; для Арктического региона – землетрясение 11 января 2015 г. с магнитудой  $m_b = 5,4$ ; для региона Алтая и Саян – землетрясения 27 декабря 2011 г. и 27 февраля 2012 гг. соответственно с магнитудами  $m_b = 6,6$  и  $m_b = 6,8$ ; для региона Прибайкалья и Забайкалья – землетрясение 23 мая 2014 г. с  $m_b = 5,7$ ; для региона Приамурья и Приморья – землетрясения 14 октября 2011 г. с  $m_b = 5,9$  и глубиной очага  $H = 18$  км и 19 июля 2012 г. с  $m_b = 5,9$  и глубиной очага  $H = 504$  км; для региона

острова Сахалин – землетрясение 14 августа 2012 г. с магнитудой  $m_b=7,7$  и глубиной очага  $H=569$  км; для региона Якутии – землетрясение 14 февраля 2012 г. с магнитудой  $m_b=6,8$ ; для Курило-Охотского региона – землетрясение 25 мая 2013 г. с магнитудой  $m_b=7,7$  и глубиной очага  $H=600$  км; для регионов Северо-Востока России и Чукотки – землетрясение 06 мая 2013 г. с магнитудой  $m_b=5.1$  и для региона Камчатки и Командорских островов – землетрясение 12 ноября 2013 г. с магнитудой  $m_b=6,6$ .

Необходимо также отметить, что увеличение уровня сейсмичности наблюдается в периоды после возникновения сильных землетрясений и появления при этом большого числа афтершоков в эпицентральных зонах этих сильных землетрясений. В остальные периоды времени уровень сейсмичности находится примерно на одном и том же уровне, который не превышает 140 ощутимых землетрясений для каждого из рассматриваемых регионов.

#### Литература

1. Коломиец М.В., Рузайкин А.И., Старовойт О.Е. Сейсмичность России в 2011 году. Геозология, инженерная геология, гидрогеология, геокриология, 2014, №2, С. 141-149.
2. Старовойт О.Е., Коломиец М.В., Рузайкин А.И. Сейсмичность России в 2012 году. Геозология, инженерная геология, гидрогеология, геокриология, 2014, №5, С.450-456.
3. Маловичко А.А., Коломиец М.В., Рузайкин А.И. Сейсмичность России в 2013 году. Геозология, инженерная геология, гидрогеология, геокриология, 2015, №3, С. 257-267.
4. Старовойт О.Е., Чепкунас Л.С., Коломиец М.В. Служба срочных донесений ГС РАН // Землетрясения Северной Евразии в 2004 году. – Обнинск: ГС РАН, 2009. – С. 235-240.
5. Маловичко А.А., Диденко В.И., Яцало Б.И. Автоматизированная система и анализа макросейсмических данных об ощутимых землетрясениях в режиме реального времени // Со-временные методы обработки и интерпретации сейсмологических данных. Материалы Девятой Международной сейсмологической школы. – Обнинск: ГС РАН, 2014. – С. 209-213.

## ОЦЕНКА ОПАСНОСТИ ЭКЗОГЕННЫХ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В БАССЕЙНЕ Р. АМУР В БЛИЖАЙШЕМ ДЕСЯТИЛЕТИИ

**И.В. Мальнева\*, Б.М. Крестин\*, Н.К. Кононова\*\***

\* ФГУП «ВСЕГИНГЕО», Московская область, Ногинский район, пос. Зеленый  
E-mail: krebtor@rambler.ru, malnir@mail.ru

\*\* Институт географии РАН, 119017, Москва, Старомонетный пер., д. 29.  
E-mail: NinaKononova@yandex.ru

В связи с современной глобальной активизацией природных катастроф, в том числе связанных с проявлениями экзогенных геологических процессов (оползней, селей, эрозии и др.), особую актуальность приобретает оценка опасности проявления последних с целью уменьшения ущерба территориям в целом, народнохозяйственным объектам, здоровью и жизни населения.

Авторы неоднократно давали оценку опасности катастрофических проявлений экзогенных геологических процессов (ЭГП) в различных регионах. Отмечалось, что изменение повторяемости чрезвычайных ситуаций в значительной степени связано с погодными условиями в конкретном регионе, особенности которых, в свою очередь, определяются особенностями атмосферной циркуляции [ 2 ].

В 2013 г. произошла крупнейшая природная катастрофа – наводнение в бассейне р. Амур. С конца июля 2013 г. Дальний Восток России и северо-восток Китая были поражены сильнейшими наводнениями, вызванными небывалыми обильными, затяжными осадками, что привело к последовательному увеличению уровня воды в реке Амур. Наводнение таких масштабов случилось впервые за весь период наблюдений (более 100 лет). Причиной наводнений явились аномальные изменения атмосферной циркуляции над югом российской Сибири и Дальним Востоком, которые могут повториться в ближайшем десятилетии. В отличие от предыдущих лет активизировались одновременно все паводочные области бассейна Амура: верхний Амур, Зея, Бурея, Уссури и Сунгари. Ранее одновременная работа всех областей сразу не наблюдалась.

При анализе ситуации, предшествовавшей наводнению, было отмечено, что другой причиной стала очень снежная зима в районе бассейна Амура и поздняя весна. Вследствие этого, когда начался паводок в середине июля, почва была уже насыщена влагой на 70 – 80%. Свою роль сыграли многолетние лесные пожары и вырубки лесов. Леса выполняют важную водоохранную функцию, задерживая часть осадков.

Небывалое по масштабам наводнение на Дальнем Востоке в этом году оставило после себя разрушительные последствия. Аномальные осадки и расходы рек способствовали активизации многих экзогенных геологических процессов в бассейне р. Амур, активность которых обусловлена в значительной степени переувлажнением пород либо при выпадении экстремальных осадков, либо за счет формирования сезонно-талого слоя, что прежде всего связано с метеорологическими факторами. Особенности влияния этих факторов связаны с характером мерзлоты и различаются для районов сплошной, прерывистой и островной мерзлоты [1].

Развитию оползней способствуют продолжительные и обильные дожди летом. Наиболее значительно при этом активизируются поверхностные и мелкие оползни, в долинах рек достаточно часто формируются оплывины различного размера, связанные с протаиванием покровных отложений. Наиболее крупные оползни на юге, в долине р. Зеи, обусловлены как обильным увлажнением, так и экстремальными расходами реки, особенно значительная активизация наступает при совпадении во времени положительных экстремумов этих факторов.

Приамурье и Приморье относятся к районам, для которых данные о проявлении селей практически отсутствуют, а метеорологические данные, необходимые для прогноза селей, охватывают очень короткий период и не-

достаточно репрезентативны. Активность очагов селей зависит от времени формирования сезонно-талого слоя. Оттаивание грунтов в высокогорье, особенно на затененных склонах северной экспозиции, запаздывает на 60-70 дней по сравнению с очагами, расположенными в низкогорье на южной экспозиции склонов. Обильные осадки весной здесь могут вызывать наводнения на мелких реках. В низкогорье сели развиваются в конце весны, а в высокогорье – в конце лета. Водная составляющая селей формируется за счет: а) активного снеготаяния в горах, особенно когда с этим периодом совпадают теплые дожди и ливни (май – июль); б) затяжных и муссонных дождей, завершающихся ливнями, когда за один дождь выпадает месячная, а в отдельные годы – почти сезонная норма осадков, в) прорыва заломов и завальных плотин [1].

**Овражной эрозии** подвержена преимущественно южная часть площади. Образованию оврагов способствует распространение легкоразмываемых супесчаных, суглинистых и глинистых пород и ливневые летние осадки.

Болота и заболоченные земли определяют облик равнинных и низменных территорий. Заболачиванию способствует ряд природных факторов: превышение осадков над испарением, длительное сохранение сезонной мерзлоты, наличие в северных районах многолетней мерзлоты, затрудняющей инфильтрацию осадков, слабая расчлененность, глинистый состав поверхностных отложений и др.

**Русловая или речная эрозия** – один из генетических типов ЭГП, вызываемых действием постоянных водотоков. Это собственно опасный процесс, нередко с катастрофическим характером проявления, а также как один из важнейших факторов активизации других ЭГП, прежде всего, оползней, развивающихся на склонах речных долин.

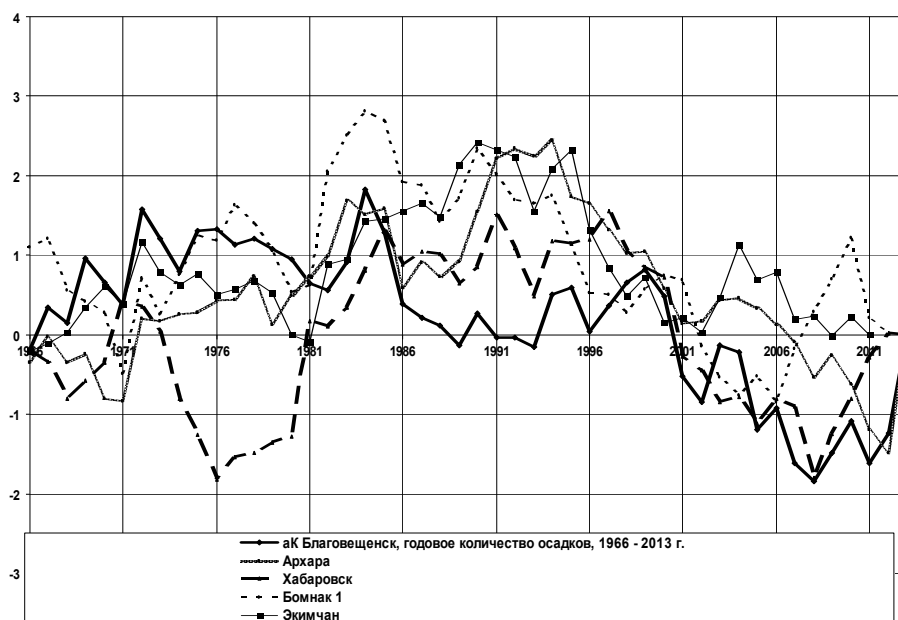
Из криогенных процессов наиболее широко развиты процессы солифлюкции (практически повсеместно в парагенезе с оползневым процессом), криогенного пучения, термокарстовые и наледеобразование.

Вместе с тем следует отметить, что, если интенсивность проявления ЭГП в бассейне р. Амур известна достаточно хорошо, то сведений об их активности явно недостаточно, что не позволяет достаточно достоверно определить степень опасности этих процессов и обуславливает насущную необходимость организации эффективного мониторинга ЭГП для адекватного управления освоением и развитием территории.

В 2013 г. сложились условия, способствующие активизации всех рассмотренных экзогенных геологических процессов (ЭГП). Предыдущее, наиболее сильное, наводнение на Дальнем Востоке произошло в 1897 г., т.е. в период увеличения продолжительности блокирующих циркуляционных процессов на полушарии, [2, 3], когда уровень воды в Амуре у Хабаровска в пик наводнения составлял 642 см. В 2013 г. уже 17 августа этот уровень был превышен и составлял 647 см, а в пик наводнения 3 сентября составлял 841 см. Причиной такой ситуации было то, что начало XX и XXI века различается набором типов циркуляции с блокирующими процессами, континентальный антициклон соединяется с арктическим. Если в начале XX века от-

мечалось одновременно 2 блокирующих процесса на полушарии и 1-2 выхода южных циклонов, то в современный период наибольшей продолжительностью отличаются типы циркуляции с тремя-четырьмя блокирующими процессами и двумя-четырьмя выходами южных циклонов на полушарии, один из которых обязательно приходится на Дальний Восток. В силу этого циклоны задерживаются и вероятность выпадения сильных осадков в этом регионе возрастает [3].

В результате сложившейся синоптической ситуации почти по всей территории бассейна р. Амур выпали обильные осадки, обусловленные элементарными циркуляционными механизмами (ЭЦМ) 12 и 13 типа, продолжительность обоих наибольшая в настоящее время. Наиболее процессоопасным в горных районах является ЭЦМ 12а, а на побережье Тихого океана и на юге района – ЭЦМ 13л. Именно при этой синоптической ситуации большей частью и происходят катастрофические наводнения и опасные экзогенные процессы. В 2013 уже с середины июля на отдельных реках отмечались высокие паводки, интенсивно начали наполняться Зейское и Бурейское водохранилища. В июле по данным ГМС Бомнак, расположенной на севере Зейского водохранилища, выпало максимальное количество осадков, как и в Благовещенске. Однако на метеостанции Бомнак отличался режим осадков, значительные суточные максимумы чередовались с небольшим количеством осадков, но дожди шли практически ежедневно.



**Рис. 1. Интегральные кривые аномалий модульных коэффициентов годового количества осадков**

На рис. 1 представлены интегральные кривые годового количества осадков по некоторым метеостанциям исследуемой территории. Обращает внимание, что тенденция изменения увлажненности по всему бассейну в целом одинакова. По данным метеостанции Благовещенск построен временной ряд количества осадков с 1966 по 2013 год и показаны прогнозные значения до 2025 г. (рис. 2). Анализ графика позволяет отметить, что количество осадков за последние годы превышает норму. Эта закономерность, по-видимому, характерна для всей исследуемой территории, а наиболее опасная ситуация возможна в 2018 г.

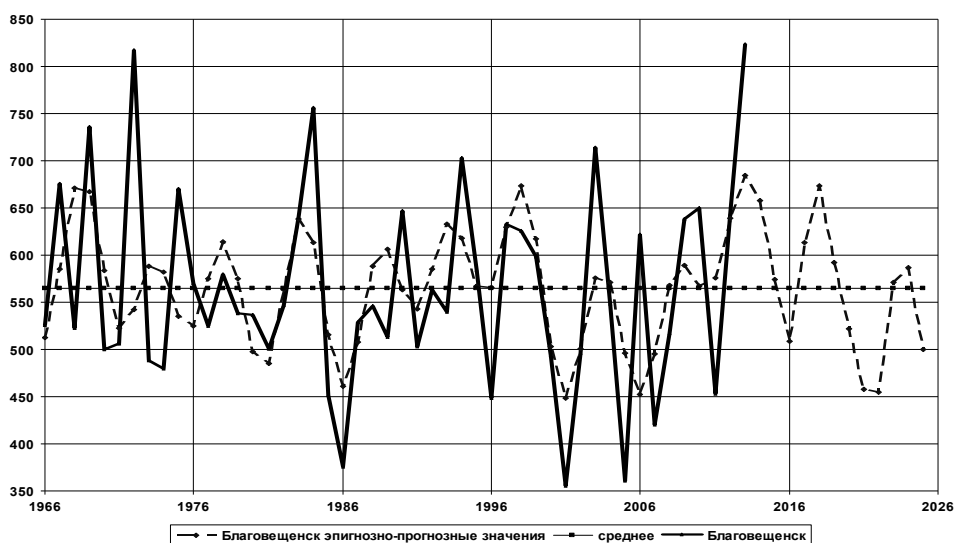


Рис. 2. Многолетний ход годового количества осадков, ГМС Благовещенск

В заключение следует отметить, что наводнения в 2013 и 2014 гг. на Дальнем Востоке, Алтае, Бурятии и Магаданской области явились следствием современного характера циркуляции атмосферы. Если изменения погоды будут проходить и далее, как в настоящее время, сохранится неустойчивость климатической системы, будут возможны экстремальные засухи и наводнения, опасность ЭГП может в ближайшие годы увеличиться в результате воздействия природных факторов. **Главной особенностью погоды будет неустойчивость**, что определяет проявление метеорологически обусловленных ЭГП не только в бассейне р. Амур, но и в других регионах России [4].

### Литература

1. Геология зоны БАМ. Т. 2. Гидрогеология и инженерная геология / Ред. А.И. Шеко, К.И. Сычев, Б.В. Графский. Л.: Недра, Ленингр. отд. 1988. 447 с.
2. Кононова Н.К. Классификация циркуляционных механизмов Северного полушария по Б.Л. Дзердзеевскому / отв. ред. А.Б. Шмакин; Российская академия наук, Ин-т географии. М.: Воентехиниздат. 2009. 372 с.
3. Кононова Н.К. Особенности циркуляции атмосферы Северного полушария в конце XX – начале XXI века и их отражение в климате. // Междисциплинарный научный журнал «Сложные системы», ISSN 2220-8569. М. МГУ. 2014. № 2 (11). С. 13-41.
4. Мальнева И.В., Кононова Н.К. Активность сейсмичности на территории России и ближнего зарубежья в XXI веке. // ГеоРиск. 2012. № 4. С. 48-54.

## ОСОБЕННОСТИ РАЗВИТИЯ СОЛИФЛЮКЦИОННО-ЭРОЗИОННЫХ ПРОЦЕССОВ В ВЫСОКОГОРНЫХ ОБЛАСТЯХ БОЛЬШОГО КAVKAZA (НА ПРИМЕРЕ ТЕРРИТОРИИ ГОРНОГО КУРОРТА «ЛАГОНАКИ»)

Ю.А. Мамаев, А.А. Ястребов

Институт геоэкологии им. Е.М. Сергеева РАН,  
101000, Москва, Уланский пер. д.13, стр.2.

Горнолыжный курорт «Лагонаки», расположенный в Апшеронском районе Краснодарского края, является одним из шести объектов крупного инвестиционного проекта по организации зимнего отдыха и туризма на территориях Республик Северного Кавказа.

Территория курорта «Лагонаки» расположена в границах мегантиклинория Большого Кавказа к северу от Главного Кавказского хребта, в зоне сочленения горных структур Западного и Центрального Кавказа [1]. Она характеризуется сложным сочетанием разновысотных структурно-орографических ступеней с абсолютными отметками земной поверхности от 500 м до 2800 м над уровнем моря, сильной тектонической раздробленностью массивов пород и широким развитием экзогенных геологических процессов.

Протяженность района освоения с севера на юг составляет 42 км, с запада на восток – 30 км. Предполагаемая площадь проектирования курортных объектов около 90 км<sup>2</sup>. Данная территория молодой альпийской планетарной складчатости с плиоцена по настоящее время испытывает устойчивое воздымание. Суммарные амплитуды вертикальных поднятий превышают 1,5 км. В настоящее время скорости поднятий отдельных районов составляют 8-12 мм/год. Период верхнего плейстоцена (начало – 130 тыс. лет назад) является наиболее активным в формировании современного рельефа. В этот период, наряду с поднятием гор, отмечалась самая сильная регрессия Черного моря, уровень которого был на 100 м ниже современного, что обусловило

формирование глубоких эрозионных врезов современных переуглубленных речных долин и развитие масштабных склоновых процессов. Это период активной молодой тектоники, вулканизма и обширного регионального покровного оледенения, отдельные ледники которого спускались по долинам рек до отметок 800-900 м, формируя экзарационные долины. Сложный тектонический план рассматриваемой территории вмещает региональный сейсмогенерирующий район – Лагонакский дизъюнктивный структурный узел, что определяет высокую сейсмическую активность района и наличие крупных тектонических нарушений: сбросов, надвигов и других дизъюнктивных структур. Фоновая сейсмичность района по ОСР-97 составляет 8-9 баллов [2].

Район «Лагонаки» характеризуется сложной системой хребтов субширотного (общекавказского) и субмеридионального простирания: Гуама, Нагой-Чук, Азиш-Тау, Лагонакский и др., которые имеют молодые альпийские формы рельефа – скалистые вершины, цирки, кары, узкие глубокие ущелья и т.д. Наряду с этим, здесь наблюдаются высокогорные и среднегорные, относительно пологие (от 3-5° до 12°) слабо расчлененные водораздельные пространства и склоны, на которых активно развиваются процессы выветривания, солифлюкции и эрозии. На данной территории широко распространены и другие экзогенные геологические процессы: сели, оползни, осыпи, обвалы, карст, суффозия, снежные лавины.

В геологическом строении территории участвуют породы мезозоя и четвертичной системы. Среди мезозойских пород подавляющее распространение имеют средне-верхнеюрские отложения лагонакской свиты ( $J_{2-3}lg$ ), слагающие южную и центральную части рассматриваемой территории, севернее которой юрские отложения перекрываются породами нижнего мела ( $K_1$ ).

Среди юрских пород преобладают рифовые обломочные и органогенные известняки большой мощности (до 850 м); здесь также отмечаются большие массивы юрских прочных доломитизированных известняков и доломитов, сильно закарстованных. По крупным тектоническим нарушениям они граничат с толщами пород терригенно-карбонатного флиша, представленными переслаивающимися аргиллитами, песчаниками и обломочными известняками общей мощностью до 450 м.

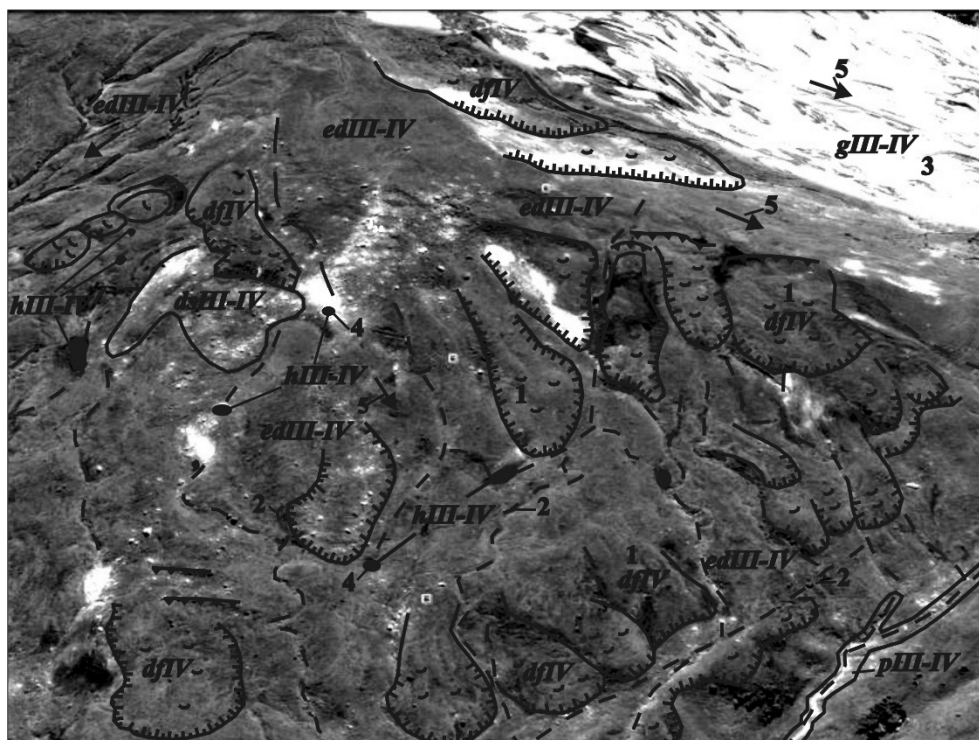
Среди меловых пород выделяются толщи пород карбонатной формации, представленные известняками и мергелями с прослоями песчаников, алевролитов, глин, аргиллитов и конгломератов.

С поверхности породы юрского и мелового возраста перекрываются четвертичными отложениями разного генезиса. Преобладающий возраст четвертичных отложений – верхний плейстоцен – голоцен (QIII-IV) и голоцен (QIV). Наиболее широко развиты элювиально-делювиальные отложения (ed III-IV), формирующиеся в разнодисперсных зонах коры выветривания коренных пород. Данные отложения слагают водоразделы и верхние, сравнительно пологие, части склонов. Представлены суглинками с включениями щебня, дресвы, глыб известняков, аргиллитов, песчаников. Мощность отложений от 1,0 – 1,5 м до 15 м. Разные условия выветривания в различных петрографических типах горных пород формируют избирательную кору выветривания с



различной степенью дезинтеграции пород и их разными физико-механическими свойствами. По зонам крупных тектонических нарушений выветривание пород распространяется в глубину на десятки метров.

Коллювиально-делювиальные отложения (cd III-IV) отмечаются в верхних прибрежных частях сравнительно крутых (до 15° и более) склонов, слагая шлейфы, в которых часто формируются оползни (dp IV) небольших объемов и солифлюкционные смещения (df IV), поражающие большие площади склонов (рис.1).



**Рис. 1. Характер развития солифлюкционно-эрозионных процессов в перигляциальной области высокогорных склонов Большого Кавказа (долина р. Армянка):**

1 – солифлюкционные натечные образования с бугристо-валообразной ступенчатой поверхностью; 2 – эрозионные промоины и врезы; 3 – область снежников и ледников; 4 – карстовые воронки часто затопленные; 5 – направления падения склонов

На участках территории с наиболее высокими отметками рельефа (2000-2800 м) широко развиты ледниково-флювиогляциальные отложения (нерасчлененные), которые слагают водоразделы и склоны, имеющие часто сглаженные и выположенные поверхности [1]. Они представлены неоднородным глыбово-обломочным материалом коренных пород с песчаным и суглинистым заполнителем. В данных отложениях на пологих склонах фор-

мируются участки с солифлюкционными смещениями небольшой мощности, а на более крутых участках ( $15^\circ$  и более) оползни деляпсивного типа.

Область среднегорий, практически полностью сложенная породами карбонатной формации средней-верхней юры, характеризуется наибольшим распространением и разнообразием опасных геологических процессов. Здесь, помимо высокой сейсмичности и нарушенности массивов пород тектоническими разломами и трещинами, отмечается активное выветривание горных пород, развитие карста и солифлюкционных деформаций («крипа»), линейной, овражной и русловой эрозии. Из склоновых процессов активно развиваются обвальные и осыпные процессы на крутых и обрывистых участках склонов, преимущественно речных долин, в меньшей степени развиты оползни, сели и лавины.

Элювиальные грунты, залегающие на отложениях юры, имеют мощность от 0,5-1,0 м до 8-10 м. Ведущими геологическими процессами, развивающимися в элювированной толще пород, являются суффозионно-карстовые, солифлюкционные (поверхностный «крип»), оползневые и осыпные процессы, плоскостная и линейная эрозия.

В верхних частях высоких склонов (на высотах более 1500 м) широко развит процесс солифлюкционных смещений («крип») верхней части рыхлых четвертичных накоплений небольшой мощности (0,5-2,0 м) вниз по склону по поверхности коренных пород, но чаще – по границе сезонного оттаивания грунтов. Этот процесс поражает обширные участки склонов крутизной от  $5^\circ$  до  $12^\circ$ . Пораженность солифлюкционными процессами отдельных участков колеблется от 5-10% до 70-80%. В последнем случае поверхность территории представляет собой сплошное чередование бугров и западин, труднопроходимых в любое время года. Часто эти участки принимают за оползни, которые в этих условиях, а именно: на данных высотах и при данной крутизне склонов, формируются редко. В средних и нижних частях склонов с крутизной более  $12^\circ$ - $15^\circ$  на высотах от 700 до 1500 м возможно формирование детрузивных блоковых оползней: в массивах коренных пород, нарушенных тектоническими трещинами, и деляпсивных вязко-текучих в рыхлых четвертичных отложениях. Этому способствуют климатические особенности территории с большим годовым (до 2000 мм/год) количеством осадков, а также строительная и хозяйственная деятельность, нарушающая естественные условия залегания пород. Снеготаяние и интенсивные атмосферные осадки приводят к активизации солифлюкционных процессов, а также плоскостной и линейной (русловой) эрозии, реже – к формированию селей. На рассматриваемой территории отмечаются многочисленные эрозионные врезы; в верховьях отдельных из них наблюдаются селесборные бассейны, а ниже по склону – селевые русла и селевые накопления в местах разгрузки.

На протяжении последних 45 лет, начиная примерно с 1970 г. в высокогорных областях Кавказа и других молодых горных систем (Альпы, Тянь-Шань, Гималаи) наблюдается устойчивое перманентное сокращение количества площадей действующих ледников и образование ледниковых озер, часто с увеличением их объемов и площадей. По опубликованным данным, дегра-

дация горно-долинного оледенения характеризуется ежегодными потерями, в среднем, 0,6% площади открытой части ледников и 0,9% их объемов [3]. Таяние ледников приводит к существенному увлажнению молодых четвертичных отложений, формирующихся на горных склонах, в том числе, за счет процессов выветривания, гравитационного смещения и переноса водотоками.

Например, на рассматриваемой территории курорта «Лагонаки» в верховьях р.Армянка (вблизи курортной деревни №2 «Адыгея») на склоне северной экспозиции наблюдаются обширные склоновые поверхности, пораженные солифлюкционно-эрозионными процессами. При этом, преимущественно солифлюкция, формирует поверхностный сложно построенный бугристо-западинный рельеф с разветвленной изменчивой местной эрозионной сетью сложного рисунка. Эрозионные промоины и врезы часто оконтуривают солифлюкционные языки, а в отдельных местах и подрезают их.

В строении солифлюкционных форм рельефа участвуют переувлажненные тонкодисперсные пылеватые и глинистые недоуплотненные грунты, испытывающие циклическое промораживание и оттаивание. Оттаивающие на сравнительно небольшую глубину грунты деятельного слоя, переувлажненные талыми и дождевыми водами, медленно смещаются вниз по склонам по поверхности водоупорных многолетнемерзлых пород. Это приводит к формированию небольших натечных валов, языков и полос, между которыми развиваются промоины и крупные эрозионные врезы, направленные как вниз по склонам, так и под разными углами к направлению падения поверхности.

Существенно осложняет рисунок местной эрозионной сети наличие карстовых воронок на поверхности склонов, часто заполненных водой, которые перехватывают поверхностный сток, пополняя запасы подземных вод.

Установленные особенности геологических процессов необходимо учитывать при проектировании высокогорных трасс подъемников и лыжных спусков, площадок и сооружений для отдыха, энергетических объектов и прочие, с целью снижения уровней рисков их строительства и эксплуатации.

Обеспечение безопасных условий строительства и эксплуатации объектов курортно-рекреационного комплекса «Лагонаки» и других, должно основываться на детальном изучении инженерно-геологических условий территорий, истории их геологического развития и формирования склонов, прогнозе воздействий строительства на геологическую среду, разработке мер инженерной защиты объектов, осуществлении контроля за геодинамическими процессами и устойчивостью конструкций.

#### Литература

1. Лозовой С.П. Лагонакское нагорье. Краснодар: Краснодарское кн. изд-во. 1984. 160 с.
2. Несмеянов С.А. Инженерная геотектоника. М.: Наука. 2004. 780 с.
3. Материалы XV гляциологического симпозиума «Прошлое, настоящее и будущее криосферы земли» с 3 по 8 июня 2012 г., в г. Архангельске.

## ТИПИЗАЦИЯ ЛИТОТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ ДЛЯ ОБОСНОВАНИЯ СХЕМ ПРОТИВООПОЛЗНЕВОЙ ИНЖЕНЕРНОЙ ЗАЩИТЫ

**М.В. Минина, В.А. Королёв**

МГУ им. М.В. Ломоносова, Геологический факультет, кафедра инженерной и экологической геологии; 119991, г. Москва, Ленинские горы, д.1,  
E-mail: minina86@yandex.ru, va-korolev@bk.ru

Основная идея реализации типовых схем инженерной противооползневой защиты состоит в том, что для определенных типов оползней можно заранее предложить наиболее рациональные и наиболее эффективные схемы инженерной защиты, которые принимаются как типовые, а затем для выделенных на изучаемой территории типов оползней и соответствующих литотехнических систем (ЛТС) можно уверенно рекомендовать те или иные готовые варианты противооползневой инженерной защиты. Это может существенно снизить временные и экономические затраты на создание систем инженерной защиты [1].

Реализация этой идеи проводилась нами на примере территории долины р. Мзымта (Краснодарский край), которая подвержена оползневой опасности при ее освоении, в том числе при строительстве и эксплуатации олимпийских объектов, возведенных к олимпиаде «Сочи-2014».

**На 1 этапе исследования** были выделены 4 основных типа оползней, распространенных в долине р. Мзымта [3-5], которые явились основанием для дальнейших исследований. Были выделены:

*I. Блоковые оползни (срезающие и соскальзывающие).* Характер развития оползневых деформаций данного типа – сдвиг с блоковым смещением тела оползня по вогнутой криволинейной поверхности либо по условно плоской поверхности. Оползание происходит в виде последовательного смещения (срезания) блоков склона с образованием террасовидной поверхности. Мощность оползневых масс в среднем составляет 4-25 м. Средний уклон оползневых склонов – 15-28°. Данный тип оползней развит преимущественно в аргиллитах с прослоями алевролитов и песчаников, а также в мергелях и известняках.

*II. Оползни течения.* Характер развития – смещение оползневых масс в виде вязкопластического течения, при этом смещения на дневной поверхности больше, чем у подошвы слоя. Поверхность скольжения приурочена к кровле коренных пород, являющихся водоупорным слоем. Мощность оползневых масс в среднем составляет 3-12 м. Средний уклон оползневого склона – 10-26°. Литологический состав оползневых масс представлен преимущественно мергелистыми глинами, аргиллитами, глинами с прослоями алевролитов и песчаников.

*III. Комбинированные оползни.* Данный тип оползней представляет собой сочетание двух видов движения – сдвига и вязкопластического течения.

Мощность оползневых масс в среднем составляет 8-30 м. Средний уклон оползневого склона – 10-28°. Литологический состав оползневых масс представлен преимущественно аргиллитами, алевролитами и карбонатными глинами, мергелями и известняками.

*IV. Поверхностные сплывы и оплывины.* Оползни данного типа возникают на склонах при локальном переувлажнении их грунтовыми водами и атмосферными осадками. Глубина захвата грунтов смещением достигает 3 м. Средний уклон оползневого склона – 10-30°. Литологический состав оползневых масс представлен делювиальными глинами и суглинками с дресвяно-щебенистым материалом коренных пород (30-50%). Поверхностные сплывы и оплывины, как правило, возникают на теле уже существующих оползней.

**На 2 этапе исследования** нами было оценено взаимодействие указанных типовых оползней с наиболее распространенными объектами инфраструктуры (технические подсистемы), среди которых преобладают: 1) автомобильные дороги; 2) железные дороги; 3) опоры канатных дорог; 4) опоры мостовых переходов и эстакад; 5) отдельно стоящие постройки (жилые либо производственные здания, объекты различного назначения).

Сочетание четырех типов оползней (геологическая подсистема) и пяти типов сооружений (техническая подсистема) позволяет выделить ряд литотехнических систем (ЛТС). В результате этого были выделены 20 типовых ЛТС (табл.1) с целью последующего обоснования типовых схем противооползневой инженерной защиты.

В таблице 1 типы оползней (геологическая подсистема) указаны римскими цифрами, а типы технических подсистем (сооружений) – заглавными буквами. На их пересечении – типы соответствующих локальных ЛТС – указаны комбинацией двойных индексов.

Таблица 1

**Типизация локальных ЛТС для целей противооползневой защиты**

| Тип оползня | Технические подсистемы (сооружения) |                     |                          |                            |                           |
|-------------|-------------------------------------|---------------------|--------------------------|----------------------------|---------------------------|
|             | А/м Дорога (А)                      | Железная Дорога (Д) | Опоры канатных дорог (К) | Опоры мостов и эстакад (М) | Жилые /произв. здания (З) |
| I           | I-А                                 | I-Ж                 | I-К                      | I-М                        | I-З                       |
| II          | II-А                                | II-Ж                | II-К                     | II-М                       | II-З                      |
| III         | III – А                             | III-Ж               | III-К                    | III-М                      | III-З                     |
| IV          | IV-А                                | IV-Ж                | IV-К                     | IV-М                       | IV-З                      |

Необходимо отметить, что в выделенных ЛТС осуществляется многообразное по природе влияние технических подсистем на геологические [2, 6]. Прежде всего, объекты инфраструктуры оказывают на них воздействие механической природы.

Так, например, влияние автомобильных дорог заключается в передаче на грунты динамической нагрузки (вибрации от автотранспорта) и незначительной статической нагрузки. Влияние железной дороги состоит в значи-

тельной динамической нагрузке (вибрации от ж/д транспорта) и значительной сжимающей статической нагрузке. Влияние опор канатной дороги состоит в сдвигающей и сжимающей нагрузках (при незначительных статических нагрузках), ветровой нагрузке, а также в незначительных динамических нагрузках. Влияние опор мостов и эстакад обусловлено сдвигающими и сжимающими статическими нагрузками, а также ветровыми и значительными динамическими нагрузками. Влияние отдельно стоящих построек заключается в передаче значительных статических сжимающих нагрузок на грунты.

К механическим воздействиям можно также отнести и создаваемые выемки грунта, насыпи и планировку рельефа. К примеру, выемка влечет за собой разгрузку напряжений, изменение температурно-влажностного режима грунтов, активизацию их выветривания и т.п.

Кроме того, одновременно имеют место и иные (не механические) воздействия от указанных сооружений: физико-химическое, химическое, физическое и др. [6]. Например, происходит нарушение естественной влажности грунтов, нарушение естественного дренажа и подпруживание стекающих вод, действие противогололедных реагентов, наводка электромагнитных полей и т.п. Все эти воздействия оказывают влияние на развитие оползневых процессов и устойчивость склонов, на устойчивость ЛТС и самих сооружений.

Особенности воздействия технической подсистемы необходимо учитывать при обосновании схем инженерной защиты.

Ниже приводится описание основных ЛТС и их принципиальные схемы.

1. Автомобильная дорога, находящаяся в зоне влияния срезающего блокового оползня либо блокового оползня скольжения (I-A) (рис.1).

2. Автомобильная дорога, находящаяся в зоне влияния оползня течения (II-A).

3. Автомобильная дорога, находящаяся в зоне влияния комбинированного оползня (III-A).

4. Железная дорога, находящаяся в зоне влияния срезающего блокового оползня либо блокового оползня скольжения (I-Ж).

5. Железная дорога, находящаяся в зоне влияния оползня течения (II-Ж).

6. Железная дорога, находящаяся в зоне влияния комбинированного оползня (III-Ж).

7. Опоры мостовых переходов и эстакад в основании срезающего блокового оползня либо блокового оползня скольжения (I-M) (рис.2).

8. Опоры мостовых переходов и эстакад в основании оползня течения (II-M).

9. Опоры мостовых переходов и эстакад в основании комбинированного оползня (III-M).

10. Опоры канатной дороги, расположенные на теле срезающего блокового оползня либо блокового оползня скольжения (I-K).

11. Опоры канатной дороги, расположенные на теле оползня течения (II-K).

12. Опоры канатной дороги, расположенные на теле комбинированного оползня (III-K).

13. Отдельно стоящая постройка (жилые либо производственные здания, объекты различного назначения), находящаяся в зоне влияния срезающего блокового оползня либо блокового оползня скольжения (I-3).

14. Отдельно стоящая постройка (жилые либо производственные здания, объекты различного назначения), находящаяся в зоне влияния оползня течения (II-3).

15. Отдельно стоящая постройка (жилые либо производственные здания, объекты различного назначения), находящаяся в зоне влияния комбинированного оползня (III-3).

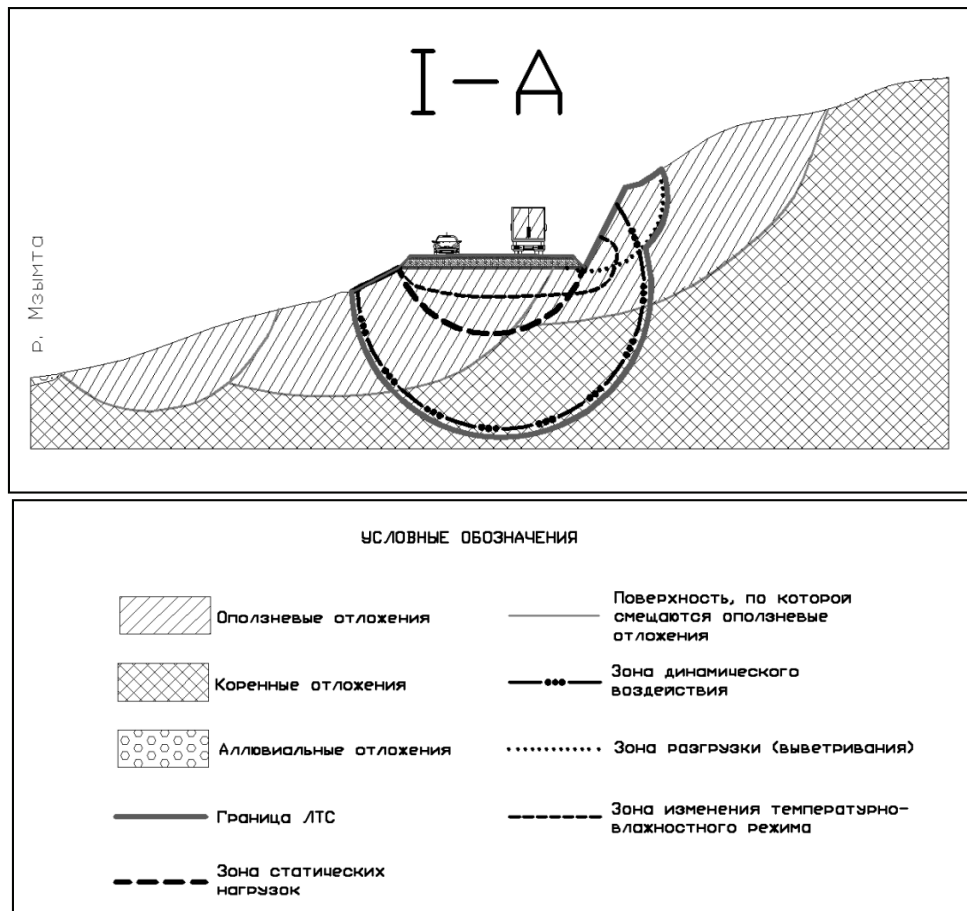
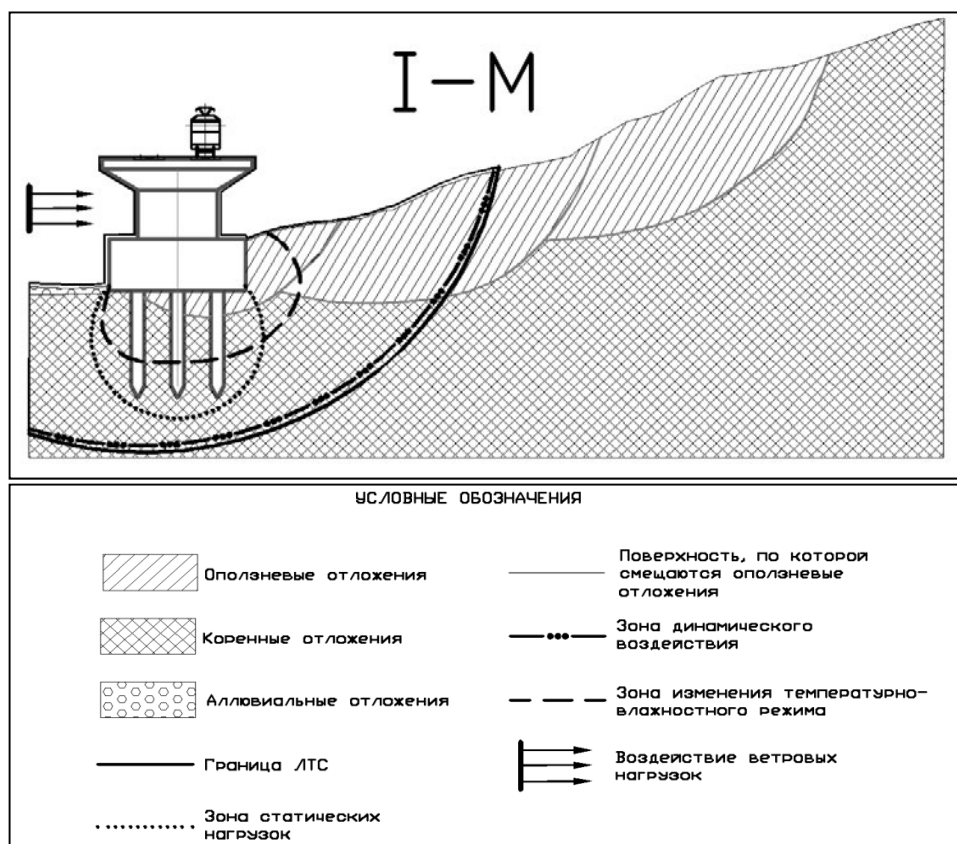


Рис. 1. ЛТС I-A (автомобильная дорога в зоне влияния срезающего блокового оползня)



**Рис. 2. ЛТС I-M (опора моста в основании срезающего блокового оползня)**

Таким образом, на базе выделенных типов ЛТС можно далее обосновывать наиболее эффективные типовые схемы противооползневой инженерной защиты, что является предметом следующего этапа исследования.

#### Литература

1. Королёв В. Инженерная защита территорий и сооружений: Учеб. пособ. М.: КДУ, 2013. 470 с.
2. Королёв В.А., Николаева С.К. Геоэкологическая оценка зон влияния инженерных сооружений на геологическую среду // Геоэкология. Инженерная геология. Гидрогеология. Геокриология. 1994. № 5. С. 25-37.
3. Минина М.В., Королёв В.А. Типизация оползней долины реки Мзымта с целью обоснования инженерной защиты // Инженерная геология. 2015. N 2, с. 28-40.
4. Минина М.В., Королёв В.А. О типизации опасных оползневых процессов в долине р. Мзымты с целью обоснования инженерной защиты // Современные проблемы инженерной геодинамики / Юбилейная конференция, посвященная 100-летию со дня рождения проф. Г.С. Золотарёва (29-30 сентября 2014 г., Москва, МГУ). М.: Изд-во Московского университета, 2014. С. 98-102.



5. *Минина М.В., Королёв В.А.* Районирование территории на основе оценки оползневой опасности с целью обоснования системы инженерной противооползневой защиты // Сергеевские чтения / Мат-лы годичной сессии Научного совета РАН Роль инженерной геологии и изысканий на предпроектных этапах строительного освоения территорий, 22-23 марта 2012 г. Вып. 14. М., ГЕОС, 2012. С. 124-128.

6. *Трофимов В.Т., Королёв В.А., Герасимова А.С.* Классификация техногенных воздействий на геологическую среду // Геоэкология. Инженерная геология. Гидрогеология. Геокриология. 1995. № 5. С. 96-107.

## **ТЕОРИЯ И МЕТОДИКА ОЦЕНКИ КАРСТОВОЙ ОПАСНОСТИ. ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ**

**О.Б. Нещеткин, М.О. Нещеткин**

ООО Научно-производственный центр «КАРСТ»,  
606000, г. Дзержинск Нижегородской области, ул.Бутлерова, д.3  
E-mail: karst@sinn.ru

Современные требования к защите проектируемых сооружений на закарстованных территориях определяются СП 116.13330.2012 «Инженерная защита территорий, зданий и сооружений от опасных геологических процессов», приложение Е, в котором предлагается осуществлять выбор вида противокарстовой защиты по двум параметрам – категории устойчивости территории по интенсивности провалообразования и по средним диаметрам провалов.

При этом на территориях I-IV категорий устойчивости, а также при среднем диаметре провала более 20 метров строительство зданий и сооружений I-II уровня ответственности либо не рекомендуется, либо осуществляется в виде исключения при наличии специального обоснования. Указанный стандарт не распространяется на линейные, гидротехнические и подземные сооружения.

Определение и сущность понятия «карстовая опасность» в СП 116.13330.2012 отсутствуют, а предлагается использовать понятие «геологический риск», под которым подразумевается вероятностная мера геологической опасности, определяемая в виде возможных потерь (ущерба) за заданное время (п.3.1). В разделе 8 «Противокарстовая защита» этого СП такая мера опасности для обоснования необходимости противокарстовой защиты не используется, а рекомендуется учитывать все возможные геолого-гидрогеологические особенности.

СП 22.13330.2012 «Основания зданий и сооружений» (п.6.11.1) предлагает проектировать основания сооружений, возводимых на закарстованных территориях с учетом возможности (т.е. вероятности) образования поверхностных карстовых деформаций, а также особенностей развития карстовых процессов. Каким образом учитывать эти параметры, а также другие, поиме-

нованные в СП нормативный документ не раскрывает, а рекомендует привлекать специализированные организации (п.6.11.9)

Фактически оценка карстовой опасности и выбор вида противокарстовой защиты осуществляется на основе интуитивного восприятия карстовой опасности по принципу «чем больше интенсивность провалообразования и больше средний диаметр провала, тем опаснее».

Авторы считают, что основным показателем карстовой опасности является вероятность поражения сооружения карстовым провалом за нормативный срок службы сооружения.

Идея такого подхода известна давно и была предложена в «Рекомендациях по проектированию сооружений в карстовых районах СССР» еще в 1967 году, но не получила широкого развития, хотя в общем виде была заимствована при разработке методики расчета пролета карстового провала [2, 3].

**Вероятность поражения сооружения карстовым провалом** – это вероятность образования карстового провала в основании сооружения или вблизи его, приводящего к полной или частичной потере несущей способности грунтов основания, что может вызвать деформации сооружения или нарушение его нормального функционирования.

Этот показатель учитывает основные параметры карста (интенсивность провалообразования, размеры карстовых провалов), основные параметры сооружения (размеры сооружения, конфигурацию и тип фундамента, нормативный срок службы и уровень ответственности) и в общем виде описывается формулой:

$$P_0 = \lambda \times S_{\text{пораж.}} \times T,$$

где  $P_0$  – вероятность поражения сооружения карстовым провалом, д.ед;

$\lambda$  – интенсивность провалообразования, количество провалов в год на 1 кв.км;

$S_{\text{пораж.}}$  – расчетная площадь поражения, кв.км;

$T$  – срок службы сооружения, лет.

Следует учесть, что в этой формуле интенсивность провалообразования определяется как средняя величина для некоего выделенного при районировании карстового участка, в пределах которого находится площадка проектируемого сооружения.

Главным условием образования карстового провала является наличие опасной карстовой полости или погребенной карстовой воронки.

По мнению авторов, обнаружение опасных карстовых полостей и погребенных карстовых воронок на площадке проектируемого строительства должно быть основной задачей инженерно-геологических изысканий на закарстованных территориях, что не нашло своего отражения в нормативных документах, хотя повторное провалообразование в бортах карстовых воронок форм является распространенным явлением, а большинство обнаруженных карстовых полостей всегда признаются опасными.

Количество погребенных карстовых воронок и опасных карстовых полостей значительно превышает количество поверхностных карстовых форм,

выявленных при районировании, что подтверждается следующим примером.

Например, на закарстованном участке площадью  $S_{уч.} = 0,7$  кв.км обнаружено 20 карстовых воронок, среди них 2 воронки с возрастом до 100 лет, 18 воронок старых и древних, средняя интенсивность провалообразования составила 0,029 провала в год на 1 кв.км.

При этой интенсивности провалообразования за 10000 лет на участке должно было образоваться 203 провала, следовательно, 183 карстовых воронки в настоящее время считаются погребенными в силу природных и техногенных причин.

Можно предположить, что на этом участке существуют и опасные карстовые полости, количество которых пропорционально интенсивности провалообразования и сравнимо с количеством молодых и старых карстовых форм.

Из вышеизложенного следует, что показатель «категория устойчивости» не отражает и не учитывает реальную опасность карста в виде погребенных воронок и карстовых полостей, которых в несколько раз больше, чем поверхностных карстопроявлений.

Ниже излагается общие положения авторского подхода к оценке карстовой опасности по результатам инженерно-геологических изысканий.

#### ***Оценка карстовой опасности ( $R_{пв.}$ ), обусловленной наличием погребенной карстовой воронки в основании сооружения***

Погребенные карстовые воронки в основании проектируемого сооружения представляют реальную опасность, поскольку в их бортах не исключено повторное провалообразование или проседание грунтов под действием нагрузок от сооружения.

Задача решается при следующих граничных условиях: количество погребенных воронок и занимаемая ими площадь ( $S_{погр.}$ ) рассчитывается с учетом средней интенсивности карстовых провалов на участке, средней площади погребенной карстовой воронки ( $S_{пв.}$ ), возраста земной поверхности.

Указанные условия позволяют рассчитать вероятность нахождения погребенной воронки на площадке проектируемого сооружения ( $R_{усл.пв.}$ ) и вероятность обнаружения погребенной карстовой воронки после проведенных изысканий ( $R_{обн.пв.}$ ).

Вероятность поражения сооружения от погребенной карстовой воронки ( $R_{пв.}$ ) рассчитывается по следующей формуле:

$$R_{пв.} = (R_{усл.пв.}) \times (1 - R_{обн.пв.}).$$

#### ***Оценка карстовой опасности ( $R_{пп.}$ ), обусловленной наличием карстовой полости в основании сооружения***

На любой закарстованной территории следует предположить существование опасных карстовых полостей, которые могут находиться на площад-

ке проектируемого сооружения и обусловить образование провала за нормативный срок службы сооружения. Кроме того, на закарстованной территории существует значительное количество карстовых полостей, которые не выйдут на поверхность в виде провала.

Задача решается при следующих граничных условиях: количество опасных карстовых полостей и занимаемая ими площадь (Спол.) рассчитывается с учетом средней интенсивности карстовых провалов на участке, средняя площадь карстовой полости (Спп.) не менее средней площади карстового провала. Возможны и более точные расчеты размеров опасной карстовой полости с использованием геомеханических моделей. Указанные условия позволяют рассчитать вероятность нахождения опасной карстовой полости на площадке проектируемого сооружения (Русл.пп.) и вероятность обнаружения опасной карстовой полости после проведенных изысканий (Робн.пп.).

В том случае, когда скважина (скважины) «на карст» не обнаружили карстовую полость вообще и косвенных признаков ее нахождения в пределах площадки, вероятность поражения сооружения от опасной карстовой полости рассчитывается по следующей формуле:

$$Рпп. = (Русл.пп.) \times (1-Робн.пп.).$$

Таким образом, после выполнения инженерно-геологических изысканий вероятность поражения сооружения карстовым провалом выражается формулой:

$$Ровп = Рпв. + Рпп.$$

Результаты изысканий и расчетов карстовой опасности позволяют разработать обоснованные противокарстовые мероприятия, которые должны быть направлены либо на уменьшение (или исключение) вероятности поражения сооружения карстовым провалом, либо на обеспечение устойчивости сооружения в случае его поражения.

К основным противокарстовым мероприятиям (с учетом требований ст.18 ФЗ-384) можно отнести:

1. Мероприятия, направленные на удаление сооружения от источников карстовой опасности, т.е. от карстовых воронок, карстовых полостей и погребенных воронок, обнаруженных изысканиями на площадке сооружения.

2. Мероприятия, направленные на устранение источников карстовой опасности, т.е. тампонаж карстовых полостей, обнаруженных на площадке сооружения.

3. Мероприятия, направленные на конструктивное усиление фундаментов и конструкций сооружения, рассчитанных на ожидаемый размер карстового провала с учетом вероятности поражения сооружения карстовым провалом.

Для принятия решения о противокарстовых мероприятиях необходимо нормировать требования к надежности сооружения или допустимому отказу нормальной работы сооружения.

Вероятность поражения сооружения карстовым провалом после проведения противокарстовых мероприятий не должна превышать нормативный допустимый отказ.

ГОСТ Р 54257-2010 «Надежность строительных конструкций и оснований» устанавливает такое понятие *«надежность строительного объекта»* как способность строительного объекта выполнять требуемые функции в течение расчетного срока эксплуатации.

По ГОСТ 27.002-89 *«нормирование надежности»* – это установление в нормативно-технической документации и (или) конструкторской (проектной) документации количественных и качественных требований к надежности. *«Нормируемый показатель надежности»* – это показатель надежности, значение которого регламентировано нормативно-технической документацией и (или) конструкторской (проектной) документацией. В качестве нормируемых показателей надежности могут быть использованы показатели, включенные в ГОСТ 27.002-89 или иные показатели, которые не противоречат определениям показателей указанного ГОСТа.

В РД 153-34.2-21.342-00 приведено определение понятия «допустимый уровень риска аварии гидротехнического сооружения» – значение риска аварии, установленное нормативными документами. Под уровнем риска аварии подразумевается вероятность возникновения аварийной ситуации.

В действующей нормативной литературе имеется опыт нормирования отказов, так СП 23.13330.2011 «Основания гидротехнических сооружений» для оценки надежности и отказов системы «основание-сооружение» рекомендует использовать вероятностно-статистические методы.

В таблице 1 СП 23.13330.2011 (табл.1) приведены нормативные уровни отказов (потеря устойчивости, нарушения прочности основания и т.п.) для различных классов гидротехнических сооружений.

Таблица 1

**Нормативные уровни отказов различных классов гидротехнических сооружений**

| Класс гидротехнического сооружения <sup>1)</sup> | Вероятность отказа, 1/год |
|--|---------------------------|
| I (чрезвычайно высокой опасности)                | $5 \cdot 10^{-5}$         |
| II (высокой опасности)                           | $5 \cdot 10^{-4}$         |
| III (средней опасности)                          | $2,5 \cdot 10^{-3}$       |
| IV (низкой опасности)                            | $5 \cdot 10^{-3}$         |

<sup>1)</sup> критерии классификации гидротехнических сооружений приведены в соответствии с Постановлением Правительства РФ №986 от 02.11.2013г.

В ОПБ – 88/97 «Общие положения безопасности атомных станций» допустимая вероятность разрушения реактора не должна превышать  $10^{-7}$  случаев в год, суммарная вероятность тяжелых запроектных аварий не должна превышать  $10^{-5}$  случаев в год.

Нормирование карстовой опасности должно осуществляться аналогичным способом через установление нормативного (т.е. допустимого) отказа в работе основания сооружения в результате возникшего карстового провала.

Шкалу, аналогичную таблице 1 СП 23.13330.2011, по уровням ответственности зданий и сооружений промышленного и гражданского строительства (за исключением объектов атомной промышленности) целесообразно утвердить для целей оценки карстовой опасности.

Нормативные допустимые отказы (т.е. вероятности поражения сооружения карстовым провалом) должны быть обсуждены и утверждены инженерным сообществом. Предварительно предлагается принять следующие показатели (табл. 2).

Таблица 2

**Предлагаемые нормативные показатели**

| Уровни ответственности зданий и сооружений (по ФЗ-384) | Уровни ответственности зданий и сооружений (по ГОСТ Р 54257-2010) | Нормативный срок службы, лет | Нормативная надежность зданий и сооружений, Рн | Нормативный отказ за срок службы сооружения (вероятность поражения карстовым провалом), Ро. |
|--|---|------------------------------|--|---|
| I<br>повышенный  | 1а<br>особо высокий уровень ответственности                       | 100                          | 0,995  | 0,005   |
|  | 1б<br>высокий уровень ответственности                             | 75                           | 0,990  | 0,010   |
| II<br>нормальный                                       | 2<br>нормальный уровень ответственности                           | 75                           | 0,950  | 0,050   |
| III<br>пониженный                                      | 3<br>пониженный уровень ответственности                           | 50                           | 0,900  | 0,100   |

Полученная расчетом вероятность поражения проектируемого сооружения карстовым провалом сравнивается с нормативной допустимой вероятностью для принятия решения о необходимости осуществления мероприятий противокарстовой защиты и/или проведения дополнительных изыскательских работ для уточнения оценки.

Если по результатам вероятностно-статистических расчетов и инженерных изысканий будет установлено, что расчетная вероятность поражения сооружения карстовым провалом не превышает нормативную, то осуществление каких-либо противокарстовых мероприятий не требуется (например, когда доказано, что провалообразование исключено).

Если расчетная вероятность поражения сооружения карстовым провалом превышает нормативную, то для защиты проектируемых сооружений необходимо выполнение противокарстовых мероприятий.

Введение в практику нормативной вероятности поражения сооружения карстовым провалом позволит перейти от субъективно-интуитивной оценки к системе инженерных расчетов, что позволит унифицировать подход к оценке карстовой опасности.

Изложенный выше подход в определении карстовой опасности через вероятность поражения сооружения карстовым провалом позволяет изыскателю рассчитать предполагаемую карстовую опасность, определить необходимое количество скважин, и разработать обоснованные противокарстовые мероприятия для оптимального и надежного решения задачи проектирования сооружений на закарстованных территориях.

#### **Литература**

1. Рекомендации по инженерно-геологическим изысканиям и оценке территорий для промышленного и гражданского строительства в карстовых районах СССР. М.: ПНИИИС, 1967.
2. Рекомендации по проектированию зданий и сооружений в карстовых районах СССР. М.: ПНИИИС, 1967.
3. Рекомендации по проектированию фундаментов на закарстованных территориях. М.: НИИОСП, 1985.
4. Рекомендации по использованию инженерно-геологической информации при выборе способов противокарстовой защиты. М.: ПНИИИС, 1987.
5. Рекомендации по защите эксплуатируемых гражданских зданий в карстовых районах. Киев: НИИСК, 1989г.

### **ОЦЕНКА САЙТ-ЭФФЕКТОВ ДЛЯ ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ ГОРОДА НАРЫН, КИРГИЗИЯ**

**С.Ж. Орунбаев**

Центрально-Азиатский институт прикладных исследований Земли, г. Бишкек, Кыргызская Республика. E-mail: s.orunbaev@caiag.kg

В статье представлены использованные методы и результаты исследования сайт-эффектов с целью составления карты резонансно-частотных характеристик грунтов для восточной части г. Нарын. В основном используются записи микросейсм. Метод исследования микросейсм для решения задач сейсмического микрорайонирования стал широко применяться в последнее время как достаточно детальный, но недорогой метод исследования, по срав-

нению с методами сейсмического микрорайонирования, основанными на использовании искусственных источников и записей землетрясений [1-14].

Геологическое строение и гидрогеологические условия могут сильно влиять на амплитуду и продолжительность сейсмических колебаний при землетрясениях. Составленная в 1976 г. и использовавшаяся до настоящего времени карта СМР (сейсмического микрорайонирования) территории г. Нарын устарела. За прошедшие годы произошли значительные изменения характера застройки и гидрогеологических и инженерно-геологических условий на территории г. Нарын и его окружения [1,2].

За последние десятилетия г. Нарын не подвергался воздействию сильных землетрясений, однако в черте города проходит несколько активных разломов и имеется ряд их пересечений. По инструментальным данным город находится в сфере воздействия очагов землетрясений с  $M=3-4$ . Не исключены, однако, и более сильные (пока не зарегистрированные) события.

По данным Института сейсмологии НАН КР ранее были выделены два района ожидаемых землетрясений (РОЗ) II-категории сейсмоопасности: 1) Байбичетауский (ББ) и 2) Атбашинский (АТБ); прогнозная интенсивность землетрясений в них оценивается величиной до 7 баллов, что несет угрозу населению и сооружениям г. Нарын и его окружения [1].

В настоящей работе сотрудниками ЦАИИЗ с применением 16 современных сейсмостанций были реализованы комбинированные стационарные, мобильные и площадные сейсмические исследования грунтов, в целях составления детальной карты сайт-эффектов для территории города Нарын и его окружения. Регистрировались вертикальные (Z), долготные (EW) и широтные (NS) компоненты движения грунта.

Использовался комплекс методов оценки сейсмических эффектов. В частности использовался метод Накамура расчета спектральных отношений между горизонтальными и вертикальными компонентами записи [5,10]. В последнее время метод H/V отношений широко используется и в варианте использования записей землетрясений и в варианте использования записей микросейсм, что позволяет получать оценки характеристик сотрясаемости существенно быстрее [3-11].

Использовался также метод расчета спектрального отношения по данным записей на двух близких станциях. Дистанция между опорной станцией и перемещаемыми станциями должна быть при этом более чем в 5 раз меньше эпицентрального расстояния. Если это требование не выполнялось, то использовался метод без опорной точки.

В настоящее время, метод измерения микросейсм по данным одной трех-компонентной станции широко применяется в инженерной сейсмологии для оценки локальных эффектов. В методе Накамура нами использовался сейсмический шум по записям одиночной трех-компонентной сейсмологической станции для микросейсм природного и антропогенного происхождения. Микросейсм антропогенного характера концентрируются в частотном диапазоне  $10^1-10^2$  Гц, станции регистрации перемещаются по точкам наблюдений с синхронизацией записей по времени.



Предыдущие исследования с целью проверки возможности использования микросейсм проводились на разных типах сейсмических датчиков; при этом сравнивались полученные результаты с предполагаемым горизонтально-вертикальным спектральным коэффициентом [7,10]. На основе предыдущих исследований [15], в данной работе были применены короткопериодные датчики, способные обеспечивать запись микросейсм в диапазоне более 0,1 Гц [16]. Для каждого анализируемого окна использовалась коррекция инструментального отклика 5% сглаживанием на обоих концах записи.

При локальных площадных наблюдениях использовались записи на всех 16 станциях в качестве временной сейсмологической сети. Микросейсм регистрировались одновременно во всех пунктах при длине записи 30 мин. с частотой дискретизации 100 отсчетов в секунду.

Для определения скоростей поперечной  $V_s$  волны, было проведено измерение микросейсм на территории аэропорта размером 500x500 м, где на два часа устанавливались все 16 станций. Полученные данные анализировались методом пространственной автокорреляции по программе ESAC. Дисперсионная кривая, полученная для диапазона частот 4-14 Гц указывает на нормальный дисперсионный режим.

Наиболее высокочастотный диапазон характеризуется скоростью рэлевской волны около 400 м/с, которая заметно увеличивается в низкочастотном диапазоне. Полученные значения согласуются с развитием на территории города жесткого четвертичного аллювиального материала, представленного смесью щебня и гравия.

Восточная часть города в настоящее время преимущественно застроена одноэтажными домами частного сектора. Однако планируется здесь и более высотная застройка.

В геоморфологическом отношении: с севера на юг долина р. Нарын представлена серией аллювиальных террас общей шириной от 800 до 2200 м. Грунты представлены аллювиальными и частично пролювиальными грубо-обломочными отложениями, местами покрытыми слоем лессовых пород.

По результатам работ получена карта доминирующей частоты и интенсивности резонансов почво-грунтов для восточной части г. Нарын. Проведенные комплексные инструментальные исследования резонансных свойств верхней части разреза, на территории г. Нарын, являются составной частью оценки сайт эффекта.

Амплитудный уровень и частота резонансных пиков зависят от упругих свойств и мощностей слоев горных пород, способных к усилению сейсмических волн. К грунтам способным к усилению сейсмических волн относятся достаточно рыхлые породы, обладающие скоростью распространения поперечных волн ( $V_s$ ) ниже 700 м/с. Резонансные свойства грунтов, установленные на исследуемой территории способствуют существенному усилению сейсмических колебаний определенных частот.

## Выводы

1. На основании детальных сейсмических наблюдений получены карты сайт-эффекта, которые показывают сейсмические характеристики грунта в плане доминирующих частот колебания на исследуемой территории г. Нарын. Результаты предназначены для использования проектировщиками и градостроителями при составлении Генерального плана развития города.

2. Резонансные явления представляют опасность для высоких сооружений в случае близости собственных периодов колебаний грунтов и зданий. На практике резонансные эффекты приводят к появлению дополнительных нагрузок и повреждений, получаемых сооружениями при землетрясениях.

## Литература

1. Мамыров Э., Омуралиев М.О., Усупаев Ш.Э. Оценка вероятной сейсмической опасности территории Кыргызской Республики и приграничных районов стран Центральной Азии на период 2002-2005 гг. (монография). Бишкек, 2002. 93 с.
2. Орунбаев С.Ж., Усупаев Ш.Э., Мамбеталиев Э., Коноков Т., Серенков А. Новые полевые измерения для сейсмического микрорайонирования города Нарын. В кн. Мониторинг и прогноз возможной активизации чрезвычайных ситуаций на территории Кыргызской Республики (издание одиннадцатое с изменениями и дополнениями). Б: МЧС КР, 2014.с.645 – 648.
3. Bard, P.-Y. (1995). Effects of surface geology on ground motion: recent results and remaining issues, in 10th European Conference on Earthquake Engineering, Duma (Editor), Balkema, Rotterdam, 305–323.
4. Field, E. H., and K. H. Jacob (1995). A comparison and test of various site response estimation techniques, including three that are non-reference-site dependent, *Bull. Seism. Soc. Am.* 86, 991–1005
5. Lachet, C., and P.Y. Bard (1994). Numerical and theoretical investigations on the possibilities and limitations of Nakamura's technique, *J. Phys. Earth*, 42, 377-397.
6. Lermo, J., and F. J. Chavez-Garcia (1993). Site effect evaluation using spectral ratios with only one station, *Bull. Seismol. Soc. Am.* 83, 1501–1506.
7. Mucciarelli, M. 1998, Reliability and applicability range of the Nakamura's technique, *Journ. Earthq. Eng.*, 2, 4, 625-638
8. Nakamura, Y. (1989). A method for dynamic characteristics estimations of subsurface using microtremors on the ground surface, *Q. Rep. Railway Tech. Res. Inst. Japan* 30, 25–33.
9. Nogoshi, M., and T. Igarashi (1970). On the propagation characteristics of microtremors, *J. Seism. Soc. Japan* 23, 264–280 (in Japanese with English abstract).
10. Parolai, S., D. Bindi, and P. Augliera (2000). Application of the generalized inversion technique (GIT) to a microzonation study: numerical simulations and comparison with different site-estimation techniques, *Bull. Seismol. Soc. Am.* 90, 286–297.
11. Parolai, S., and Richwalski S. M. (2004). The importance of converted waves in comparing H/V and RSM site response estimates, *Bull. Seismol. Soc. Am.* 94, 304–313.
12. Parolai, S, Richwalski, S., Milkereit, C., and Faëh D. (2006). S-wave velocity profiles for earthquake engineering purposes for the Cologne area (Germany), *Bull Earth. Eng.* 4, 65–94.
13. Parolai, S., Orunbaev, S., Bindi, D., Strollo, A., Usupaev, Sh., Picozzi, M., Di Giacomo, D., Augliera, P., D'Alema, E., Milkereit, C., Moldobekov, B. and Zschau, J. Site Effects Assessment in Bishkek (Kyrgyzstan) Using Earthquake and Noise Recording Data Bulletin of the Seismological Society of America, Vol. 100, No. 6, pp. 3068–3082, December 2010, doi: 10.1785/0120100044

14. Parolai S., Bindi, D., Ullah, S., Orunbaev, S., Usupaev, Sh., Moldobekov, B., Echter H. The Bishkek vertical array (BIVA): acquiring strong motion data in Kyrgyzstan and first results. *J. Seismol.* DOI 10.1007/s10950-012-9347-y. Published online 28 November 2012 г.

15. Strollo A., S. Parolai, K.H. Jaekel, S. Marzorati, and D. Bindi (2008a). Suitability of short-period sensors for retrieving reliable H/V peaks for frequencies less than 1 Hz, *Bull. Seism. Soc. Am.* 98, 671–681, doi: 10.1785/0120070055.

16. Strollo, A., D. Bindi, S. Parolai, and K.-H. Jaekel (2008b). On the suitability of 1 s geophone for ambient noise measurements in the 0.1–1 Hz frequency range: experimental outcomes, *Bull. Earthq. Eng.* 6, 141–147, doi 10.1007/s10518-008-9061-x.

## РАЗРАБОТКА МОДЕЛЕЙ КОЛИЧЕСТВЕННОЙ ОЦЕНКИ РИСКА ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ПОДЗЕМНЫХ ВОД

**А.В. Ошкадер, Л.Е. Подлипенская**

ФГБОУ ВО «Керченский государственный морской технологический университет»,  
298309, Россия, Республика Крым, г. Керчь, ул. Орджоникидзе 82,  
E-mail: anna\_oshkader@mail.ru, lida.podlipensky@gmail.com

Для оценки экологической ситуации на территориях, где подземные воды играют существенную роль в структуре водоснабжения, предлагается модифицированный нами индикаторно-рискологический подход [1,2], который позволяет учитывать наиболее существенные факторы, формирующие экологическую ситуацию в регионе, их разноплановость, разномасштабность и нелинейный характер синергетического взаимодействия [3, 6].

В качестве приоритетного объекта при оценке экологического риска рассматривается население определенной территории. При этом оценка экологического риска выступает в качестве интегрального критерия напряженности экологической ситуации в регионе, сформированной экологическими условиями.

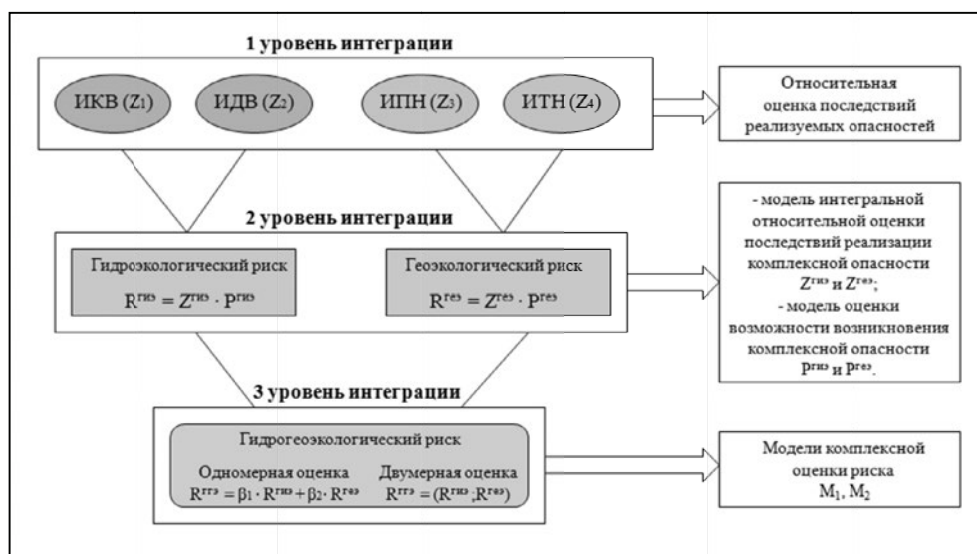
В данной работе под экологическим риском понимается оценка возможности появления опасности с учетом последствий, возникающих при использовании подземных источников водоснабжения в сложившихся экологических условиях территории. Оценка риска может производиться, как для территории в целом, так и по ее отдельным районам для целей дальнейшего ранжирования.

Расчет экологического риска включает: определение меры возможности (или вероятности) появления события, представляющего опасность; определение меры последствий реализации опасности.

Опасные события  $S_1$ - $S_4$  приводят к экологическим ситуациям различной степени напряженности. Оценка последствий реализации опасных событий  $S_1$ - $S_4$  (в виде относительного ущерба от 0 до 1) выполнена на основании соответствующих экологических индикаторов [4]: индикатор качества воды

(ИКВ), индикатор дефицита воды (ИДВ), индикатор техногенной нагрузки (ИТН), индикатор плотности населения (ИПН).

В основе построения моделей количественной оценки экологического риска лежит принцип интеграции, согласно которому система оценок экологической опасности различного уровня представляются в виде пирамиды, основание которой составляют индикаторы, характеризующие определенные экологические условия. Алгоритм интеграции и создания моделей представлен в виде трехуровневой системы комплексной количественной оценки экологического риска и имеет пирамидальную структуру (рис. 1).



**Рис. 1. Трехуровневая система комплексной количественной оценки экологического риска**

Первый уровень интеграции. Производится расчет относительных оценок последствий проявления опасностей  $S_1-S_4$  – определение индикаторов экологического состояния подземных вод: ИКВ, ИДВ, ИТН, ИПН на основании первичных экологических показателей.

Второй уровень интеграции. Включает попарную интеграцию индикаторов, полученных на первом уровне, оценку возможностей проявления опасных событий и собственно расчет экологического риска.

Индикаторы интегрируются следующим образом:

- ИКВ и ИДВ формируют оценку последствий для расчета гидроэкологического риска;
- ИТН и ИПН формируют оценку последствий для расчета геоэкологического риска.

В данной работе под гидроэкологическим риском понимается количественная мера возможности появления опасности, связанной с дефицитом

воды и ее низким качеством, с учетом последствий, возникающих при использовании подземных источников водоснабжения в исследуемом регионе [5].

Под геоэкологическим риском понимается количественная мера возможности появления опасности с учетом последствий, возникающих при определенном уровне техногенной нагрузки в районе использования подземных вод и плотности населения на данной территории.

Для интегральной оценки последствий рассмотренных комплексов опасностей в  $i$ -ом районе используются следующие модели:

1. Нелинейная аддитивная модель оценки последствий для гидроэкологического риска (1) [5]:

$$Z_i^{\text{ГИЭ}} = \alpha_1 Z_{1i} + \alpha_2 Z_{2i}, \quad (1)$$

где  $Z_{1i}$ ,  $Z_{2i}$  – значения индикаторов ИКВ и ИДВ для  $i$ -ого района, весовые коэффициенты интеграции  $\alpha_1$  и  $\alpha_2$  вычисляются по формулам (2), (3):

$$\alpha_2 = \frac{Z_{2i} \times e^{2,3105 \times Z_{2i}}}{Z_{2i} \times e^{2,3105 \times Z_{2i}} + 1,2699}, \quad (2)$$

$$\alpha_1 = 1 - \alpha_2 \quad (3)$$

Особенность данного способа интеграции заключается в возможности управления значимостью индикаторов качества подземных вод ( $Z_1$ ) и дефицита подземных вод ( $Z_2$ ) в общем интегральном индикаторе  $Z^{\text{ГИЭ}}$  за счет применения нелинейных весовых коэффициентов  $\alpha_1$  и  $\alpha_2$ , которые определяются через экспоненциальную сигмоиду (рис. 2).

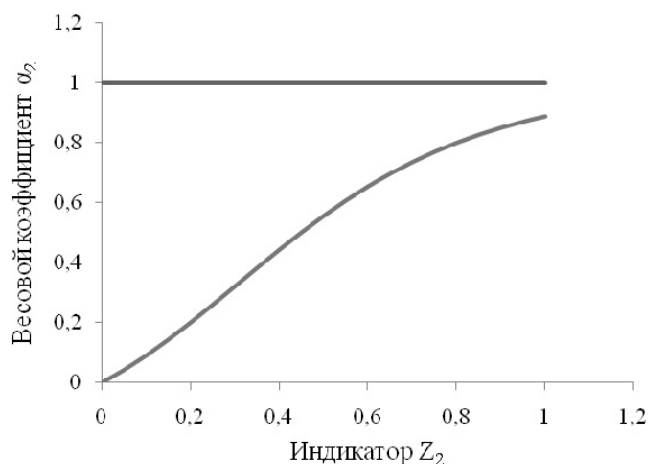


Рис. 2. График функции весового коэффициента  $\alpha_2$

Предлагаемые весовые коэффициенты действуют в интегральной форме таким образом, что при незначительном дефиците воды на первое место в интегральном показателе  $Z^{гнз}$  выходит качество подземных вод, а при увеличении дефицита вод – большую значимость приобретает индикатор дефицита подземных вод.

2. Линейная аддитивная модель оценки последствий для геоэкологического риска (4):

$$Z_i^{гез} = 0,5 \cdot Z_{3i} + 0,5 \cdot Z_{4i} \quad (4)$$

характеризует равнозначное влияние составляющих индикаторов техногенной нагрузки  $Z_{3i}$  и плотности населения  $Z_{4i}$  на интегральный индикатор  $Z^{гез}$ .

После проведения оценки последствий возможных опасностей с помощью вышеуказанных моделей перейдем к определению второй составляющей риска – оценке возможностей (или вероятностей) реализации событий  $S_1$ - $S_4$ , имеющих неблагоприятные последствия. Наибольшая неопределенность появления этих событий связана с использованием подземных вод в качестве источника водоснабжения. Для оценки меры возможности появления этого события предложено использовать долю подземных вод в общей структуре водопользования в рассматриваемом регионе, которая рассчитывается по формуле (5):

$$P_i^{гнз} = \frac{Q_{1i}}{Q_{1i} + Q_{2i} + Q_{3i}}, \quad (5)$$

где  $P_i^{гнз}$  – оценка возможности проявления опасности, связанной с использованием подземных вод в качестве источника водоснабжения для  $i$ -ого района;

$Q_{1i}$  – объем поставок воды из подземных источников для  $i$ -ого района;

$Q_{2i}$  – объем поставок воды из поверхностных источников для  $i$ -ого района;

$Q_{3i}$  – объем поставок воды из иных источников для  $i$ -ого района.

Следует отметить, что бесконтрольное изъятие подземных вод приводит к значительному ухудшению их качества за счет истощения и подтягивания соленых морских вод. При расчете показатели качества подземных вод закладываются в виде постоянных величин, однако методика позволяет учесть изменение их качественного состава путем перерасчета индикатора ИКВ, что, в конечном счете, приводит к ухудшению последствий.

Возможность проявления геоэкологического риска  $P_i^{гез}$  в  $i$ -ом районе оценивается статистическими, эвристическими или иными методами.

На завершающей стадии второго уровня интеграции с учетом моделей (1), (4) и оценок  $P_i^{гнз}$  и  $P_i^{гез}$  рассчитываются значения гидроэкологического ( $R_i^{гнз}$ ) (6) и геоэкологического ( $R_i^{гез}$ ) (7) рисков:

$$R_i^{гнз} = Z_i^{гнз} \cdot P_i^{гнз}, \quad (6)$$

$$R_i^{геэ} = Z_i^{геэ} \cdot P_i^{геэ}. \quad (7)$$

Третий уровень интеграции. Является заключительным и включает расчет гидрогеоэкологического риска, под которым понимается интегральная характеристика экологической опасности ситуации, связанной с уровнем геоэкологического и гидроэкологического риска.

Оценка гидрогеоэкологического риска производится с помощью следующих моделей:

1. Нелинейная аддитивная модель гидрогеоэкологического риска (8):

$$R_i^{ггэ} = \beta_1 \cdot R_i^{ггэ} + \beta_2 \cdot R_i^{геэ}, \quad (8)$$

где весовые коэффициенты интеграции гидроэкологического и геоэкологического рисков вычисляются по формулам (9), (10):

$$\beta_1 = \frac{R_i^{ггэ} \cdot e^{2,3105 \cdot R_i^{ггэ}}}{Z_i^{ггэ} \cdot e^{2,3105 \cdot R_i^{ггэ}} + 1,2699}, \quad (9)$$

$$\beta_2 = 1 - \beta_1, \quad (10)$$

В данном случае при незначительной антропогенной нагрузке на первое место в интегральном показателе  $Z_{ггэ}$  выходит гидроэкологический риск, а при увеличении техногенной нагрузки – большую значимость приобретает геоэкологический риск.

2. Модель оценки гидрогеоэкологического риска по наихудшему сценарию (11):

$$R_i^{ггэ} = \max \{R_i^{ггэ}; R_i^{геэ}\}, \quad (11)$$

Данная модель характеризует развитие экологической ситуации по пессимистическому сценарию, т.е. из двух составляющих итоговой оценки гидрогеоэкологического риска выбирается наихудшая.

Таким образом, представленная трехуровневая система позволяет произвести интегральную оценку экологического риска в регионе при использовании подземных вод в сложившихся экологических условиях и произвести ранжирование территории по уровню остроты проявления экологической ситуации.

#### Литература

1. Белоусова А.П., Гавич И.К., Лисенков А.Б., Попов Е.В. Экологическая гидрогеология: Учебник для вузов. М.: ИКЦ «Академкнига», 2006. 397 с.
2. Карлин, Л.Н., Музалевский А.А.. Экологические риски: теория и практика. СПб.: РГГМУ, 2011. 446 с.

3. Кудрик И.Д., Ошкадер А.В. Особенности оценки экологического риска при использовании подземных вод Керченского полуострова // Вестник Харьковского национального университета им. В.Н. Каразина. 2013. № 1084. С. 223-228.

4. Кудрик И.Д., Ошкадер А.В., Подлипенская Л.Е. Система унифицированных индикаторов как инструмент оценки экологических ситуаций прибрежных зон // Природно-ресурсный потенциал, экология и устойчивое развитие регионов России. – Пенза: РИО ПГСХА, 2015. С.44-47.

5. Ошкадер А.В., Подлипенская Л.Е. Оценка гидроэкологического риска на территории Керченского полуострова // Анализ, прогноз и управление природными рисками в современном мире. М.: РУДН, 2015. С. 286-291.

6. Ошкадер А.В., Подлипенская Л.Е. Подходы к оценке экологической ситуации при использовании подземных источников водоснабжения // Экологическая безопасность и охрана окружающей среды в регионах России: теория и практика. Волгоград, 2015. С. 197-200.

## **ФАКТОРЫ СОВРЕМЕННОЙ АКТИВИЗАЦИИ ПРИРОДНО-ТЕХНОГЕННЫХ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В УСЛОВИЯХ ХАБАРОВСКА**

**Т.И. Подгорная**

Тихоокеанский государственный университет, 680035,  
г. Хабаровск, ул. Тихоокеанская, д. 136. E-mail: tat-podg@yandex.ru

На территориях интенсивного освоения в условиях современного Хабаровска природные геологические процессы подвергаются существенным изменениям. В последнее десятилетие возникновение и активизация геологических процессов в городе достаточно часто связана с техногенными факторами, обусловленными производственной и инженерно-хозяйственной деятельностью при промышленном, транспортном, градостроительном освоении. Наибольшее внимание в связи с возрастающей опасностью и риском привлекает активизация таких природно-техногенных процессов, как оползни, подтопление подземными водами и техногенный литогенез.

Провоцирующим фактором для активизации указанных геологических процессов является техногенный литогенез. Целенаправленное накопление искусственных отложений для застройки «неудобий» происходит при засыпке оврагов, затапливаемых и заболоченных низин, или заброшенных карьеров. Мощность толщи техногенных отложений в таких местах достигает 10-15 м. Это приводит к существенным изменениям рельефа и поверхностного стока, а также изменению напряженного состояния массива грунтов. Неоднородные по составу и свойствам насыпные грунты становятся благоприятной водовмещающей средой для техногенных подземных вод с неустойчивым режимом. Создаются условия для формирования процесса подтопления как на локальных участках, так и на обширных территориях.



Активизация оползней в Хабаровске была зафиксирована в 2014-15 гг. на нескольких участках в прибрежной зоне Амура, на склонах холмов и оврагов (рис. 1).



**Рис. 1. Оползневой склон на правом берегу р. Амур ( $K_{оп} 0,7-0,95$ )**

Рассмотрим комплекс природных и техногенных факторов современной активизации оползней в Северном округе Хабаровска, где степень оползневой пораженности на склонах холмов колеблется от средней до весьма высокой ( $K_{оп} 0,7-0,95$ ) [1]. Склоны, сложенные глинистыми грунтами, обычно теряли устойчивость в дождливый период года при переувлажнении атмосферными осадками и подземными водами, либо вследствие речной эрозии у подножья склонов. Но в 2014-2015 гг. негативную роль в нарушении устойчивости склонов все чаще стали играть различные виды транспортного строительства. Это связано с некачественным выполнением планировочных работ, подрезками и пригрузками склонов, террасированием, а также насыщением грунтов техногенными водами.

Показателен пример, транспортной магистрали по ул. Правобережной, проложенной у подножья неустойчивого оползнеопасного склона холма. В природных условиях оползни здесь часто поражали правый берег Амура и склоны оврагов. Их существованию и развитию на данной территории способствуют типичные факторы: значительная крутизна склона ( $25-40^\circ$ ), увлажнение глинистых пород атмосферными осадками и подземными водами. Кроме того, в 100-150 м от бровки склона в искусственной выемке располагается железная дорога. Как свидетельствуют жители близлежащих домов, тяжело нагруженные железнодорожные составы вызывают вибрацию грунтов, как при слабых землетрясениях. Вибрационно-динамическое воздействие в течение длительного времени (более 50 лет), снижая прочность грунтов, усиливает негативное влияние на устойчивость искусственных откосов железнодорожной выемки и берегового склона. В процессе реконструкции автодороги по ул. Правобережной в 2014 г. при подрезке склона и создании искусствен-

ного откоса на протяжении 700 м произошло снижение устойчивости склона, образовались оползни и осыпи (рис. 2, 3).



**Рис. 2. Вершина оползня вблизи частного домовладения**



**Рис. 3. Оползень на участке подрезки склона**

Активные структурно-пластические оползни, сформировавшиеся в искусственном откосе вдоль автодороги в мае-июне 2015 г., имеют ступенчатую, циркообразную или сложную форму в плане. Стенки срыва высотой 1,5-3,5 м достигли бровки откоса. Оползающие глинистые грунты разрыхлены, имеют бугристую поверхность, покрывают откос и достигают дорожного полотна. Оползни, угрожая автодороге и 6 домовладениям, создали чрезвычайную ситуацию. Возникла необходимость экстренного применения защитных мер и приостановления автомобильного движения.

Другой случай возникновения чрезвычайной ситуации из-за оползня на освоенной территории в Хабаровске рассматривался в сентябре 2015 г. на участке новой малоэтажной застройки. Коттеджная застройка производилась в Северном округе на борту глубокого оврага, который в 90-х годах XX века был частично погребен в ходе строительства зданий детской поликлиники и соседних жилых домов. В результате инженерно-геологических изысканий, выполненных ОАО «ДальГИСИЗ» в 1988 г. на склонах оврага были обнаружены структурно-пластические оползни. Оползни различной активности были развиты на площади около 2000 м<sup>2</sup> в глинистых грунтах, перекрытых современными насыпными отложениями неоднородного состава и плотности [1]. Глубина захвата склона составляла 3-5 м.

В последние годы на оползнеопасных склонах описываемого оврага продолжалась отсыпка насыпи, увеличивалась ее площадь для строительства жилых домов. В ночь с 11 на 12 сентября 2015 г. на склоне погребенного ов-

рага вблизи новых жилых домов произошло резкое смещение толщи насыпных грунтов. В течение нескольких дней на насыпи образовалась вертикальная стенка срыва высотой 3-8 м. Трещины отрыва появились также на расстоянии 2-3 м от обрыва и вплотную подходят к жилым домам. Сформировался оползневой массив площадью более 5000 м<sup>2</sup> (рис. 4, 5).



**Рис. 4. Разрыхленный оползневой массив (17 сентября 2015 г.)**



**Рис. 5. Разгрузка подземных вод в стенке срыва оползня (22 сентября 2015 г.)**

Оползшие грунты разрыхлены, имеют бугристую поверхность, покрытую многочисленными трещинами. В обрыве отмечена интенсивная разгрузка техногенных вод, которые, насыщая оползшие грунты, усиливают их неустойчивость. Оползень характеризуется как глубокий, структурно-пластический. Дальнейшие оползневые деформации с отступанием бровки оползня в направлении жилых домов, создали угрозу для коттеджной застройки и других существующих зданий.

Свой «вклад» в нарушение устойчивости склонов внес катастрофический паводок на Амуре 2013 г., вызвавший обширное затопление поймы и интенсивную эрозию вдоль береговой линии. Предварительные прогнозы негативного влияния затопления и подтопления на снижение прочности грунтов и активизацию оползней в Хабаровске [2] подтвердились. В результате обследования оползнеопасных склонов надпойменных террас в рекреационной зоне Южного округа, а также освоенных склонов холмов в Центральном и Северном округе в 2014-2015 гг. были выявлены свежие оползневые деформации не только на языках старых оползней, но и в средней части склонов. Характерные признаки в виде обнаженных стенок срыва и оползневых ступеней на локальных участках, разорванный почвенно-растительный слой, оголенные корни и деревьев, «пьяный» лес указывают на основную причину активизации оползневого процесса, т.е. на его связь с затоплением и

размывом подошвы склонов. Оползни по генезису могут быть отнесены к эрозионным и полигенным, по структуре – к пластическим и структурно-пластическим.

Повышение уровня подземных вод в 2013 г. вызвало подтопление многочисленных подземных сооружений, трубопроводов, фундаментов зданий. Природное, а также техногенное подтопление жилых и общественных зданий, промышленных объектов до сих пор проявляется в просачивании воды в подвалы. Отмечено также отсыревание фундаментов и стен, деформации жилых и административных зданий, спортивных сооружений, грибка, плесени в помещениях, гибели растений на газонах, дворовых территориях и приусадебных участках.

Сложная ситуация существует в настоящее время на обширной территории спортивного комплекса и стадиона им. Ленина, построенного в пойме Амура в 1958 г. на насыпных грунтах мощностью от 5 м до 11 м. Впервые в истории города стадион и другие объекты подверглись затоплению в период паводка 2013 г. Проблемы для современной реконструкции стадиона вызваны подтоплением территории подземными водами и возникшей затем при спаде воды суффозии. Суффозионное разрыхление насыпных грунтов спровоцировало неравномерные деформации и провалы грунта в различных местах стадиона и на набережной Амура. Борьба с подтоплением и суффозией весьма сложно с технической точки зрения, и это требует немалых затрат.

**Заключение.** Перечисленные природные и техногенные факторы прямо или косвенно нарушают сложившееся равновесие и устойчивость оползнеопасных склонов холмов и берегов Амура в зоне освоения в условиях Хабаровска. Отмечается комплексное несбалансированное воздействие природных сил и техногенной деятельности, приводящее к активизации старых оползней и формированию новых. В зоне риска оказались транспортные магистрали, жилые дома, подземные коммуникации, спортивные сооружения. Экономический и социальный ущерб от описанных активных оползней и подтопления существует для автомагистрали, для жизни и здоровья людей, их жилых домов, для автомобилистов и т.д.

Выявлены основные ошибки организационного характера при транспортном строительстве, градостроительном освоении территории и выделении участков для строительства. Они заключаются в том, что игнорируется известная специалистам информация о наличии опасных процессов на территории Хабаровска, и по разным причинам не предусматриваются соответствующие меры инженерной защиты.

#### Литература

1. *Подгорная Т.И.* Опасные природно-техногенные геологические процессы на освоенной территории Дальнего Востока России. – Хабаровск Изд-во ТОГУ, 2013. – 285 с.
2. *Подгорная Т.И.* Прогноз изменения геологической среды Хабаровска в результате катастрофического наводнения на Амуре / Дальний Восток: проблемы развития архитектурно-строительного и дорожно-транспортного. – Хабаровск: Изд-во Тихоокеан. гос. ун-та, 2013. – Вып. 13. – С. 23-29.

**ИЗУЧЕНИЕ ГЕОДИНАМИКИ И ОЦЕНКА  
НАПРЯЖЕННОГО СОСТОЯНИЯ СРЕДЫ В РАЙОНЕ  
ПРОЕКТИРУЕМОЙ НИЖЕГОРОДСКОЙ АЭС ПО МАТЕРИАЛАМ  
СЕЙСМО-ЭКОЛОГИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА**

**О.Г. Попова<sup>1</sup>, М.Г. Попов<sup>2</sup>, Ф.О. Аракелян<sup>3</sup>,  
В.В. Недядько<sup>3</sup>, Е.В. Лаврик<sup>3</sup>**

<sup>1</sup> Институт геоэкологии им. Е.М. Сергеева РАН, 101000, г. Москва, Уланский пер., 13, стр. 2.

E-mail: oksana-p@list.ru

<sup>2</sup> Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Геологический факультет;  
119991, г. Москва, Ленинские Горы.. E-mail: mgpovov@list.ru

<sup>3</sup> ООО «Атомсейсмоизыскания», 125040, г. Москва, ул. Скаковая 32, кор. 2.

E-mail: asi\_47@mail.ru

Изменение напряженного состояния среды во времени в значительной степени связано с тектоническими процессами в земной коре. Однако, влияние внешних факторов может явиться триггером при подготовке опасных тектонических явлений. Эта задача является особенной при проектировании жизненно-важных объектов строительства, таких как строительство гидроэлектростанций (ГЭС) и атомных станций (АЭС), а также при эксплуатации этих объектов. Для выделения зон потенциальной геодинамической опасности при проектировании жизненно-важных объектов в последние годы все шире используются методы сейсмо-экологического мониторинга.

Сейсмо-экологический мониторинг – это локальный сейсмический мониторинг, который позволяет во времени оценивать состояние геофизической среды на ограниченных территориях с целью оценки степени экологической опасности и уменьшения риска опасных природных явлений.

В густонаселенных урбанизированных районах встал вопрос о возможности проведения сейсмического и сейсмо-экологического мониторинга, регистрирующего волны от естественных источников.

Обменные проходящие волны PS от далеких землетрясений позволяют изучать среду непосредственно под точкой наблюдения [2], поскольку лучи, вдоль которых распространяются колебания близки к вертикали, в отличие от взрывов, при которых источник удален от точки наблюдения на достаточно большое расстояние, и трудно оценить, на каком участке пути от источника до приемника в среде произошли изменения. Кроме того, анализ записей обменных волн PS по-разному поляризованных (типа SV и SH), позволяет изучать анизотропные свойства среды, которые в большой степени определяются ее напряженным состоянием [4].

В настоящей работе представлены результаты изучения геодинамики и оценки напряженного состояния среды в районе планируемой Нижегородской АЭС. Для этого на Нижегородском полигоне в течение 2011 г. проводился сейсмо-экологический мониторинг с целью изучения особенностей геодинамики среды во времени и выявления зон потенциальной геодинами-

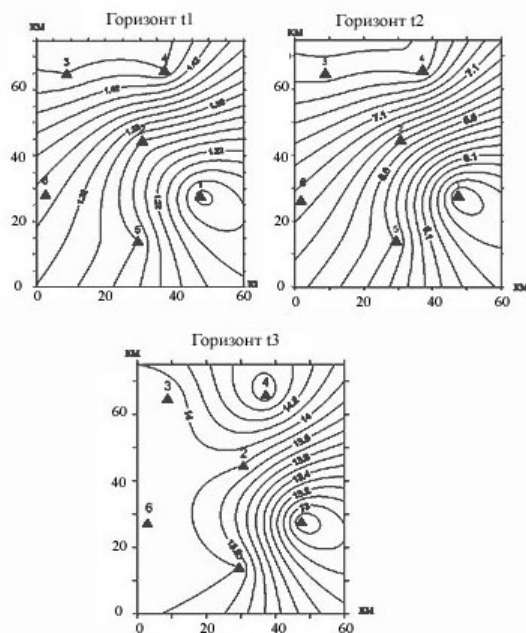
ческой опасности, используя записи далеких землетрясений. Записи далеких землетрясений регистрировались площадной расстановкой размером 60\*70км, состоящей из 6-и пунктов наблюдения, на которых были установлены сейсмические цифровые станции Дельта-Геон. Расстояния между станциями 10-15 км.

Прежде, чем приступить к оценке изменения геодинамики среды были рассмотрены особенности глубинного строения изучаемого региона, правда очень схематично, поскольку станций мало, и они расположены на больших расстояниях друг от друга. Исходя из общеизвестных данных о геологии Российской Федерации, изучаемый район находится в области неглубокого залегания фундамента порядка 1,5 км. Никаких более детальных данных о строении изучаемой среды планируемой АЭС не имелось. По полученным суммограммам для всех пунктов наблюдения составлен монтаж и проведена корреляция осей синфазности. По монтажу выделились 4-е четкие оси синфазности  $t_1$  (0,3-0,36с),  $t_2$  (0,81-1,02),  $t_3$  (1,59-1,77) и  $t_4$  (2,19-2,43). Оси синфазности  $t_1$ ,  $t_2$  и  $t_3$  прослеживаются непрерывно, что позволяет предположить отсутствие разрывных нарушений в этих горизонтах на территории исследуемой площади под АЭС. Далее проведена оценка глубин границ, соответствующих выделенным осям синфазностей.

Горизонт  $t_1$  соответствует глубинам 1,13 км-1,46 км (рис. 1). Согласно скоростной зависимости и увязке с профилем ГСЗ, который проходит недалеко от территории исследования, этот горизонт соответствует поверхности кристаллического фундамента. Как видно из рисунка, поверхность фундамента представляет собой моноклираль, погружающуюся с ЮВ на СЗ. Согласно с фундаментом залегает и горизонт  $t_2$ , который определяется как граница в косолидированной коре. Глубины его также увеличиваются с ЮВ на СЗ от 5,6 км до 7,55 км (рис. 1). Глубины горизонта  $t_3$  изменяются от 13,28 км до 14,349 км в направлении на север. Согласность с двумя верхними горизонтами нарушается (Рис.1) в северной части района наблюдения, отмечается небольшой разворот структурного плана этого горизонта по отношению к границам  $t_1$  и  $t_2$ . Глубины горизонта  $t_4$  оценены значениями 18,35 км-20,53 км. Таким образом, до глубин 18 км среда представляет собой моноклираль, спокойно, без резких градиентов, углубляющуюся в СЗ направлении. Ожидать, что в такой среде могут отмечаться скачки скоростей, не приходится. Все выше сказанное позволяет предполагать слабую геодинамическую активность изучаемой территории.

Далее рассмотрим геодинамику среды по пяти выделенным интервалам времени. К материалу, полученному на Нижегородском полигоне, была применена методика изучения геодинамики среды по энергетическим характеристикам волн PS от далеких землетрясений, разработанная по материалам долговременного сейсмического мониторинга на Северном Кавказе [3]. Энергия обменных волн PS, как волн поперечных, существенно зависит от степени трещиноватости, пористости, флюидизации и анизотропных свойств среды [4]. Анализ записей обменных волн, по-разному поляризованных типа SV и типа SH, позволяет изучать анизотропные свойства среды, которые в боль-

шой степени определяются напряженным состоянием среды [4]. Это и послужило предпосылкой использовать для изучения геодинамики среды и оценки ее напряженного состояния энергетические характеристики волн PS, зарегистрированных на радиальной и тангенциальной составляющих записи ( $E_v$  и  $E_t$ ).



**Рис. 1. Схемы распределения глубин горизонтов t1, t2, t3**

Для оценки геодинамики среды весь материал был разбит на пять интервалов времени: первый с 15.01.2011 г. по 10.03.2011 г., второй – с 11.03.2011 г. по 5.04.2011 г., третий – с 10.06.2011 г. по 31.07.2011 г. и четвертый – с 1.09.2011 г. по 21.10.2011 г. и пятый – с 21.10.2011 г. по 10.11.2011 г. Таким образом, были проанализированы геодинамические изменения в среде почти за 6 месяцев. Такое разбиение на интервалы времени обосновывалось тем, что 11-го марта 2011 г. в Японии произошло катастрофическое землетрясение с цунами ( $M=9,0$ ), а 21-го октября 2011 г. в Турции также произошло разрушительное землетрясение с магнитудой  $M=7,1$ . Поэтому важно было посмотреть, влияют ли наведенные процессы [1] от этих землетрясений на геодинамику и напряженное состояние среды Нижегородского полигона – среды платформенной и асейсмичной, поскольку в работе [3] было показано, что наведенные процессы [1] от катастрофических землетрясений существенно усиливают степень анизотропности и напряженного состояния сейсмо-

опасной среды, что приводит к активизации местной сейсмической активности с магнитудами  $M > 4,3$ . Выяснение влияния наведенных процессов от катастрофических землетрясений в асейсмичных, платформенных регионах является важным вопросом при проектировании жизненно-важных объектов строительства.

Для каждого из интервалов времени были рассчитаны значения показателей анизотропности  $\gamma = \Sigma E_T / \Sigma E_V$ , соответствующие каждому из пунктов наблюдения, построены схемы распределения параметра  $\gamma$  по площади сети наблюдений и рассчитан показатель напряженного состояния среды  $S$  [3] (табл.). Схемы распределения показателя  $\gamma$  для всех пяти интервалов времени представлены на рис.2. Как видно из рисунка, никаких аномалий параметра  $\gamma$  за весь период наблюдения не отмечалось, значения  $\gamma$  варьировали от 0 до 0,6, а показателя напряженного состояния  $S$  – от 0 до 0,061 (табл.).

В работе [3] было показано, что изменение степени анизотропности и напряженного состояния среды сейсмоопасного региона за счет влияния далекого катастрофического землетрясения связано с воздействием интенсивных низкочастотных поверхностных волн, которые регистрируются после волны  $P$ . В районе Нижегородского полигона поверхностные волны после японского катастрофического землетрясения 11.03.2011 г. (Фукусимское землетрясение) регистрировались в течение одного часа. Тем не менее, никакого усиления степени анизотропности и напряженности в среде Нижегородского полигона после японского катастрофического землетрясения не наблюдается (рис. 2, табл., 2-й интервал наблюдений 11.03.2011 г.-5.04.2011 г.). Схема распределения показателя  $\gamma$  в интервале времени после Фукусимского землетрясения не показывает никаких аномалий, значения показателя  $\gamma$  не превышают 0,2. Значение показателя  $S$  равно 0.

Таблица

**Геодинамические характеристики среды Нижегородского прогностического полигона**

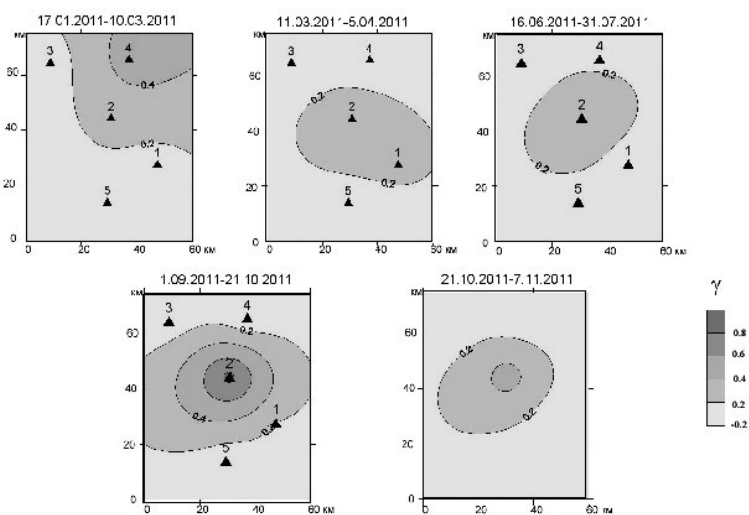
| Год проведения исследований | Временные границы интервалов наблюдения | Показатель анизотропности среды $\gamma = E_R/E_V$ | Интегральный показатель напряженного состояния среды $S$ |
|-----------------------------|---|--|--|
| 2011                        | 15.01.11-10.03.11                       | 0-0,4  | 0,012  |
|                             | 11.03.11-5.04.11                        | 0-0,2  | 0  |
|                             | 10.06.11-31.07.11                       | 0-0,2  | 0,001  |
|                             | 1.09.11-21.10.11                        | 0-0,6  | 0,061  |
|                             | 21.10.11-10.11.11                       | 0-0,4  | 0,0015   |

Аналогичный результат получен и для турецкого разрушительного землетрясения ( $M=7,1$ ) 21.10.2011 г. Пятый интервал наблюдений – это двухнедельный интервал времени непосредственно после этого землетрясения. Показатель  $\gamma$  в этом интервале наблюдения изменяется от 0 до 0,4, а значение величины  $S$  составило 0,0015 (табл., рис. 2).



Следовательно, и в случае второго сильного землетрясения с  $M > 7,0$  никакого увеличения степени напряженного состояния в среде Нижегородского полигона не произошло, и ожидать наведенных процессов усиления сейсмической активности нет никаких оснований.

Таким образом, в платформенной асейсмичной среде влияние далеких катастрофических землетрясений может не проявляться, поскольку, вероятно, такие среды имеют другую структуру и большую устойчивость.



**Рис. 2. Распределение показателя анизотропности  $\gamma = E_T/E_V$  по площади наблюдения Нижегородского полигона в разные интервалы наблюдения**

Изучение геодинамики среды в районе Нижегородской планируемой АЭС показало, что среда за время исследования находилась в спокойном состоянии, значения  $S$  за все время исследования не превышали 0,06. Это в 100 раз меньше максимальных значений  $S$ , характерных для региона с высокой степенью сейсмической активности (например, Кавминводского полигон). Полученные результаты предполагают слабую геодинамическую активность региона.

#### Литература

1. Николаев А.В. Проблемы наведенной сейсмичности. Наведенная сейсмичность. М.: Наука, 1994. 222 с.
2. Померанцева И.В., Мозженко А.Н. Сейсмические исследования с аппаратурой Земля. М.: Недра, 1997, 256 с.
3. Попова О.Г., Серый А.В., Коновалов Ю.Ф. Результаты долговременного сейсмического мониторинга в сейсмоопасном районе Кавказских Минеральных Вод. Геоэкология. №2, 2008, с. 135-140.
4. Crampin S.A. Rewrew of wave motion in anisotropic and cracked elastic-media. Wave motion № 3, 1981, p. 343-391.

## **ОБОСНОВАНИЕ ВЫБОРА ПАРАМЕТРОВ ДЛЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО МОНИТОРИНГА КАРСТОВЫХ ДЕФОРМАЦИЙ (ПОДГОТОВКИ КАРСТОВОГО ПРОВАЛА) НА УЧАСТКЕ ОТВЕТСТВЕННОГО ОБЪЕКТА**

**Г.П. Постоев**

Институт геоэкологии им. Е. М. Сергеева РАН  
101000, Москва, Уланский пер. дом 13, стр.2, E-mail: opolzen@geoenv.ru, www.opolzni.ru

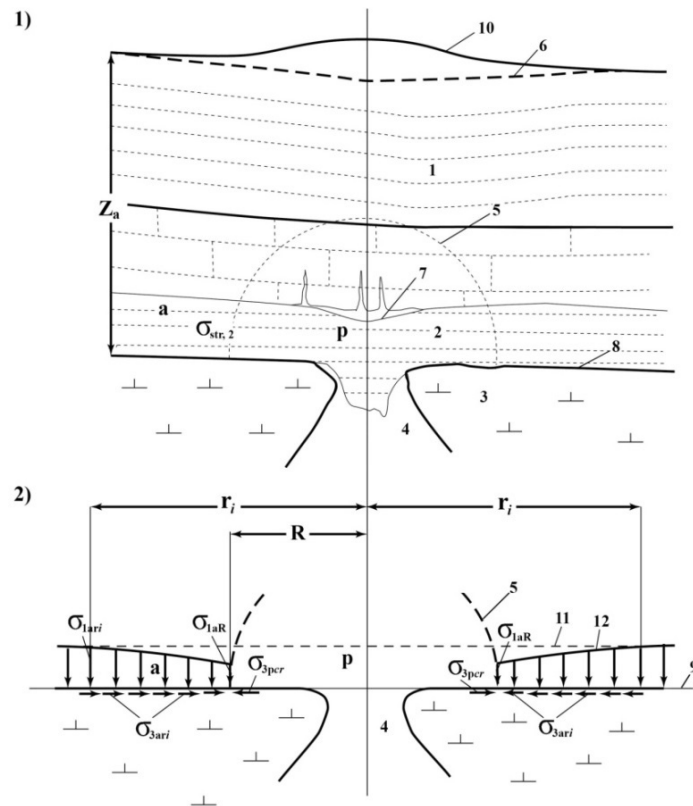
**Введение.** Возникновение провала на земной поверхности часто происходит неожиданно. Причём диаметр провалов может достигать 100м и более с угрозой разрушения всех объектов, попадающих в зону его воздействия. При строительстве объектов на территории распространения карстующихся пород необходимо иметь информацию о наличии, глубине расположения и объеме возможных карстовых х полостей. Однако в связи с трудностью выявления полостей на больших глубинах такие данные часто отсутствуют. Вместе с тем задача обеспечения безопасности в период строительства объекта и его эксплуатации является чрезвычайно важной, и в значительной мере может быть решена посредством организации и ведения мониторинга, основанного на учёте закономерностей развития карстовых деформаций, связанных с подготовкой и проявлением провала.

Целевое назначение системы автоматизированного мониторинга карстовых деформаций на площадках хозяйственных объектов – автоматизированный контроль состояния грунтового массива на участках с возможным наличием карстовых полостей в карстующихся породах, выявление особенностей механизма и динамики глубоких подвижек, оценка и предупреждение об опасности провала, разработка предложений по эффективным защитным мероприятиям для обеспечения нормальной эксплуатации объектов.

Точками контроля системы мониторинга охватывается грунтовый массив (на строительной площадке, участке ответственного сооружения) на территории возможного развития карстовых деформаций, образования провала. Формирование карстовых деформаций происходит, если в карстующихся породах имеется полость, причём она имеет выход (контакт) к покровной толще, т.е. установлена карстовая опасность на данном участке.

В данной статье рассматриваются процессы, происходящие в массиве при подготовке карстового провала, которые могут быть использованы при назначении параметров, используемых в системе мониторинга.

**Механизм формирования провала.** Появление в массиве локального силового возмущения, в виде образования полости в карстующихся породах (или в пласте льда) вызывает изменение напряжённо-деформированного состояния (НДС) толщи над полостью (рис. 1).



**Рис. 1. Схема формирования провала:**

*1* – схематический разрез на участке формирования провала;

*2* – схема распределения главных напряжений в слое над полостью

Условные обозначения: *1* – покровная толща над горизонтом с отверстием в полость; *2* – пограничный слой на контакте с полостью; *3* – карстующиеся породы; *4* – полость; *5* – свод напряжений над отверстием в полость; *6* – мульда; *7* – изгиб и деформации слоев; *8* – подошва пограничного слоя; *9* – горизонт контакта с полостью; *10* – возможный бугор при промерзании воды в трещинах; *11* – исходное равномерное распределение напряжений  $\sigma_{1a} = \gamma Z_a$  на глубине  $Z_a$ ; *12* – распределение напряжений  $\sigma_{1aR}$  на глубине  $Z_a$ , вокруг оси через полость, со снижением значения при уменьшении  $r_i$ ; *a* – «активная» зона изменения напряженного состояния массива вокруг отверстия в полость; *p* – условно «пассивная» зона разгрузки напряжений над отверстием.

Свод над отверстием в полость является не материальным куполом (подобно потолочной части пещеры), образуемому например, при обрушении грунтов вниз, а является виртуальной полусферой, характеризующей перераспределение напряжений в массиве над полостью и условия формирования предельного состояния на контакте с карстующимися породами.

Установлено, что предельное состояние массива перед образованием провала принимает вид:

$$\gamma \times Z_a - \sigma_{str} = \frac{\pi}{2} \gamma R \frac{1}{1 - \frac{1}{R}} \quad (1)$$

где  $R$  – радиус кривизны границы, определяющей опорную часть свода над полостью на глубине  $Z_a$  (мощность толщи над полостью) в предельном состоянии;  $\gamma$  – среднее значение удельного веса грунтов, залегающих над горизонтом на глубине  $Z_a$ ;  $\sigma_{str}$  – структурная прочность грунта пограничного слоя,  $\sigma_{str} = 2c \times \text{tg}(45 + \varphi / 2)$ , где  $c$  и  $\varphi$  – сцепление и угол внутреннего трения грунта.

С началом образования отверстия 4 (рис. 1) начинаются деформации грунтов слоя 2 (прогиб, разуплотнение, обрушение) и соответственно разгрузка («утечка») напряжений как вертикальных, так и горизонтальных в районе отверстия. Вслед за данным слоем происходит оседание (допредельное деформирование) в виде мульды всех слоев толщи 1. Горизонтальное напряжение в слое 2 снижается по сравнению с исходным значением (при возникновении локального силового возмущения в виде разгрузки напряжений) по мере приближения к полости:

$$\sigma_{3aj} = (\sigma_{1a} - \sigma_{str}) \text{tg}^2(45 - \varphi / 2) (1 - 1/r_j), \quad (2)$$

где  $r_j$  – расстояние от рассматриваемой  $j$ -ой точки слоя (на глубине  $z_a$ ) массива до вертикальной оси, проходящей через центр отверстия полости (зоны разгрузки напряжений).

Следует отметить, что деформации слоёв покрывающей толщи над полостью начинаются с нижних горизонтов. Процесс деформирования регламентирует изменение прочности грунтов при изгибе слоёв и в конечном итоге формирует разрушительные смещения в виде провала, диаметр которого может быть определён по выражению (1), в соответствии с исходными условиями массива. Образование полости приводит к допредельному изменению НДС пограничного слоя (горизонта). Вследствие влияния средних главных горизонтальных напряжений в каждой точке, удалённой от оси, проходящей через полость на  $r_i$ , происходит снижение исходных значений как наименьшего (горизонтального) так и наибольшего (вертикального) главных напряжений (см. рис.1, обозначение 12) в зависимости от величины  $r_i$ , в соответствии с (1):

$$\sigma_{1ari} = \gamma Z_i = (\gamma Z_a - \sigma_{str}) (1 - 1/r_i) + \sigma_{str} \quad (3)$$

Снижение вертикального давления в указанном слое вызывает также деформации осадки слоя  $\Delta Z_i$ . Эти процессы вызывают деформирование всей толщи, образуя мульду на дневной поверхности, а при отрицательных температурах – бугра, вследствие замерзания воды в трещинах (см. рис., обозначение 10). Опорное давление свода (виртуального, в напряжениях) обеспечивает устойчивость коренного массива по граничной кривой (кольцу в пограничном слое) радиусом  $R$ , в соответствии с (3), но не столба над сводом, а его граничную поверхность с массивом.

Каков порядок изменения величин осадки слоя над полостью? Принимая глубину до полости  $Z_a = 80\text{м}$ ; структурную прочность грунтов пограничного слоя  $\sigma_{\text{str}} = 1100\text{кН/м}^2$ ; среднее значение удельного веса толщи  $\gamma = 20\text{кН/м}^3$ , получено по уравнению (1), что радиус провала  $R = 14,8\text{м}$ . Т.е. это радиус цилиндрического образования в массиве покрывающей толщи с устойчивой боковой поверхностью, благодаря которому разрушительные деформации концентрируются только внутри цилиндра, обеспечивая устойчивость окружающего массива. Согласно проведённым расчётам, к моменту достижения предельного состояния массива в локальной зоне над полостью (т.е. перед обрушением) величины осадки дневной поверхности вокруг оси, проходящей через полость, изменяются от 0,25 м (на расстоянии 100 м от оси формирующегося провала) до 2 м (у границы провала).

В соответствии с уравнением (1) значение  $R$  определяется из квадратного уравнения

$$aR^2 + bR + c = 0, \quad (4)$$

где, в соответствии с обозначениями на рис. 1,  $a = \pi$ ;  $b = -2(Z_a - \sigma_{\text{str}}/\gamma)$ ;  $c = 2(Z_a - \sigma_{\text{str}}/\gamma)$ .

$$\text{Из этого следует, что } R = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}. \quad (5)$$

Рассмотрим основные факторы параметры и процессы, которые играют важную роль при подготовке и проявлении провала.

#### **Для локального мониторинга:**

– **Грунты пограничного слоя.** В соответствии с формулой (1), если в грунте отсутствует структурная прочность,  $\sigma_{\text{str}} = 0$  (пески), то получается, что чем больше  $\gamma Z_a$ , т.е. глубина положения кровли карстующихся пород, тем больше должен быть радиус возможного провала:

$$R = 2 Z_a / \pi, \text{ при } 1/R = 0. \quad (6)$$

Однако в связи с отсутствием сцепления песок быстро реагирует на изменение НДС и перераспределяет напряжения в массиве, устраняя локальные силовые возмущения. Действительно, если возникает «окно» в полость на большой глубине, то потребуются и участие массива, объёмом в соответствии с (6), чтобы заполнить полости и восстановить исходное состояние. При этом «провал» может проявиться в виде плавного понижения в рельефе, подобно мульде.

**В связных грунтах** структурная прочность может изменяться в значительном интервале значений и соответственно разность слагаемых в правой части уравнения (1), в зависимости от величин  $\gamma Z_a$  и  $\sigma_{\text{str}}$ , варьирует в больших пределах.

**В прочных скальных и полускальных грунтах**, где  $\sigma_{\text{str}}$  может быть незначительно меньше действующего вертикального давления на контакте с карстующимися породами, радиус возможного провала может достигать 1 м.

С этим обычно трудно согласиться, поскольку представляется, что чем прочнее грунт (порода) над полостью, тем, по-видимому, должен потребоваться больший пролёт (диаметр) полости, чтобы вызвать деформирование и обрушение грунта в полость. Однако как показывают расчёты по уравнению (1) и натурные исследования подобных проявлений (провалы диаметром около 1 м в потолочной части гипсовой «Ледяной» пещеры в Кунгуре, с полускальными грунтами над пещерой) подобные события вполне реальны.

– **Процесс формирования мульдообразного понижения дневной поверхности над полостью.** Возможен контроль осадки поверхности рассматриваемого карстоопасного участка, её наклона к центру понижения.

– **Особенности осадки массива над полостью,** которые заключается в увеличении осадки с глубиной вследствие первоочередной разгрузки напряжений и оседания слоя над полостью.

Возможен контроль величин осадки различных слоёв толщи над карстующимися породами и сравнение результатов измерений с проверкой указанной закономерности.

– **Разуплотнение, растрескивание, трещинообразование грунтов** в слоях толщи, с увеличением интенсивности процесса с глубиной и с близостью к оси, проходящей через центр полости.

Возможен контроль параметров, определяющих плотность, пористость грунтов, пустотность, трещиноватость грунтовых массивов. Возможен контроль за динамикой процесса, например за электро-магнитной и акустической эмиссией.

– **Снижение вертикальных и горизонтальных напряжений** в пограничном слое над карстующимися породами.

Возможен инструментальный контроль грунтового давления в указанном слое посредством соответствующих датчиков.

– **Разгрузка напряжений в массиве, опережающая процесс формирования мульды.**

Возможен контроль изменения напряжений и деформаций в нескольких точках по глубине массива для выявления указанной закономерности.

#### **Для территориального мониторинга:**

– Процесс оседания массива вокруг полости приводит к образованию **понижений в рельефе (западин, озёр) с пологими склонами** (берегами).

– Разуплотнение грунтов, формирование стока и обводнение приповерхностных слоёв способствуют распространению **влаголюбивой растительности.** Эти признаки могут быть использованы в системе распознавания и выделения опасных участков в части возможного образования карстовых провалов.

– **Формирование жерла провала вызывает аномалию** по деформированию слоёв толщи в сторону полости и по глубинному разрушительному разуплотнению грунтов с образованием канала связи поверхности массива с глубокими пластами толщи. В зимнее время в зоне подготовки провала может быть **тепловая аномалия,** а в летний период – наоборот **зона понижения температуры.**

Таким образом рассмотренные процессы и параметры изменения напряжённо-деформированного состояния грунтовой толщи над карстовой полостью, которые характеризуют динамику и особенности подготовки провала могут быть использованы в системе мониторинга карстовых деформаций.

## **ОСОБЕННОСТИ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ОПОЛЗНЕВЫХ ПРОЦЕССОВ НА СЕВЕРНОМ КАВКАЗЕ**

**В.В. Разумов\*, Н.В. Разумова\*\***

\* ФГБУ «Всероссийский научно-исследовательский институт по проблемам гражданской обороны и чрезвычайных ситуаций» МЧС России, 121352, г. Москва, ул. Давыдовская, д. 7.  
E-mail: razumov\_vv@mail.ru

\*\* АО «Российские космические системы», 111250, г. Москва, ул. Авиамоторная, д. 53, к. 1.  
E-mail: razumova-nv@yandex.ru

В России по условиям рельефа и геологическим особенностям местности оползнеопасными являются около 40% территории. Наибольшей площадью и интенсивностью оползневые процессы характеризуются в горных областях Кавказа и Урала. В южных районах Сибири оползни развиваются в основном на берегах водохранилищ и рек, а в пределах Дальнего Востока – еще и в примыкающей к морским берегам полосе [1].

В Северо-Кавказском регионе по пораженности оползневыми процессами особенно выделяется территория Ставропольского края, а также предгорные и горные районы северокавказских республик в пределах северного склона Большого Кавказа. Данные мониторинговых наблюдений ФГУП «Гидроспецгеология» Южного регионального центра государственного мониторинга состояния недр (ЮРЦ ГМСН) показывают [8], что максимальная активность оползней в регионе приурочена к весенне-летнему периоду, что связано с усилением влияния атмосферных осадков, таянием снежного покрова и речной (боковой) эрозии. Интенсивность развития оползневых процессов в регионе возрастает в восточном направлении, достигая наибольшего развития на территории Республики Дагестан.

В Ставропольском крае имеются благоприятные инженерно-геологические условия для развития оползневых процессов, связанные в основном с усилением инфильтрации и разгрузкой подземных вод в теле оползневых склонов. По данным [8], оползни на территории края развиваются на современных делювиально-коллювиальных отложениях (мощностью до 40 м), представленных щебнисто-глыбовыми и дресвяными породами, перемытыми суглинками и глинами оползневых накоплений в основном в западной половине края: в пределах Ставропольской возвышенности, Воровсколесских высот и Кубанской равнины. Общая площадь потенциально оползне-

вых территорий в крае, на которых возможно возникновение чрезвычайных ситуаций (ЧС), связанных с активизацией оползневой деятельности, составляет более 1400 кв. км [11, 13]. В зоне распространения оползневых процессов находятся 14 административных районов края и многие города, включая Ставрополь. Наибольшее распространение оползневые процессы получили в Шпаковском, Грачевском, Петровском, Кочубеевском, Андроповском административных районах и на территории городов Невинномысск и Ставрополь [7].

Большинство случаев разрушительных деформаций жилых домов и других хозяйственных объектов г. Ставрополь связаны с регулярными активизациями процессов смещений грунтовых масс на уже существующих оползнях и с ростом площади этих оползней. Данные наблюдений [7] показали, что в оползневых районах селитебной части города за период 1961–2003 гг. были зафиксированы деформации и разрушения 782 жилых домов. Более 130 оползней, общей площадью 5,8 кв. км, находятся в пределах муниципальных земель в районе Сенгилеевского водозаборного комплекса – единственного источника водоснабжения г. Ставрополя [12].

Распространение оползней в пределах предгорной и низкогорной областей Кавказских Минеральных Вод (КМВ) носит отчетливый зональный характер, обусловленный геолого-геоморфологическими особенностями местности. По данным [8], оползни различных типов распространены вдоль уступов древних и современных речных террас, в подэскарповой зоне Пастбищного хребта, а также по склонам гор-лакколитов, образуя довольно протяженные оползнеопасные зоны, площадь которых составляет около 0,3 тыс. кв. км, или более 5% площади всего региона КМВ. Активизация оползней в районе КМВ отмечалась в 1989, 1992–1993, 1997, 2002, 2009–2010 гг., в среднем, через каждые 4 года (ранее – с периодичностью 6–8 лет) [12].

На Западном и Центральном Кавказе наибольшего размаха оползневые деформации достигли в междуэстовой депрессии от Бол. Зеленчука до Чегема. Пораженность склонов в этой части среднегорья чрезвычайно высока и колеблется на разных участках от 10 до 100% [8].

В пределах Карачаево-Черкесской Республики оползневые процессы максимально развиты вдоль высоких уступов надпойменных террас рек Кубань, Уруп, Лаба, Большой Зеленчук. Данные [6] указывают на активность оползневых процессов на высокой правобережной террасе р. Кубань на участке от восточной окраины г. Черкесск до с. Чапаевского. Оползни большой площади и объемом в несколько миллионов кубических метров деформируют и разрушают автотрассу Пятигорск – Черкесск на спуске в г. Черкесск, жилые дома, дачные участки, линии электропередачи, водо- и газонесущие коммуникации. Активные оползни наблюдаются в селах Счастливое, Светлое, Пристань Прикубанского района и Эркин-Юрт Адыге-Хабльского района и др. Высокому воздействию оползневого процесса подвержен участок автодороги Сторожевая – Исправная Зеленчукского района на правом борту долины р. Большой Зеленчук.



На территории Кабардино-Балкарской Республики оползневые процессы в горах и предгорьях развиты очень широко и в самых разных геологических породах. По данным [14], в республике зарегистрировано 140 оползней, которые в основном сосредоточены в южной половине республики в предгорных и горных районах и приурочены к долинам рек Малки, Баксана, Чегема, Черка и их притокам. Из них 3 находятся в бассейне р. Малка, 47 – в бассейне р. Баксан, 54 – в бассейне р. Чегем, 36 – в бассейне р. Черк. Площадь, подверженная оползневой деятельности, составляет более 4,4 тыс. кв. км. Наиболее сильно оползневые процессы развиты в предгорно-низкогорной зоне (оползневые массивы Герпегежский, Белореченский, Верхне-Куркужинский). В среднегорной зоне расположены крупные оползни на Тырныузском («Бузулган») и Верхне-Балкарском участках.

Оползневые процессы широко развиты в пределах Северо-Юрской депрессии, чему способствуют наличие легкоразрушающихся песчано-глинистых пород нижней и средней юры и большое количество рыхлого обломочного материала, поступающего с эскарпа Скалистого хребта. Поэтому практически все дороги в этом районе в той или иной мере находятся под угрозой воздействия оползневых процессов. Наличие обширных территорий с благоприятными для развития оползней природными условиями и зачастую непродуманная деятельность человека по освоению этих территорий привели к тому, что в настоящее время в зоне распространения оползней находятся многие населенные пункты республики: села Сармаково и В. Куркужин – в бассейне р. Малка; г. Тырныуз и с. Лашкута – в бассейне р. Баксан; села Верхний и Нижний Чегем – в бассейне р. Чегем; г. Нальчик, села Кашхатау, Верхняя Балкария – в бассейне р. Черк. По данным [8], на территории республики зарегистрировано 13 опасных оползневых участков, создающих угрозу для 13 населенных пунктов. Одними из наиболее опасных можно считать следующие [4]: Приэльбрусский участок, где оползень может спровоцировать сход селевого потока по р. Губасанты; Тырныузский участок – оползни деформируют десятки метров автодорог Тырныузского ГОКа, а оползни-обвалы в бортах селевого каньона р. Герхожансу могут подпруживать реку оползневыми массами с последующим формированием селевого потока; Верхне-Балкарский участок – оползни, пересекающие федеральную автодорогу Урвань – Уштулу в районе с. Верхняя Балкария могут привести к деформации сотен метров полотна федеральной автодороги и повреждению магистрального газопровода; Кашхатауский участок – Герпегежский оползневой массив угрожает с. Герпегеж и автодороге республиканского значения «Хасанья – Герпегеж»; Район с. Заюково – возможна активизация древнего оползня с перекрытием реки Баксан. Протяженность подножия древнего оползня вдоль русла р. Баксан – 700 м.

В Республике Северная Осетия-Алания оползневые процессы охватывают площадь 2300 кв. км [10]. Они угрожают населенным пунктам, автодорогам, линиям электропередачи как в предгорьях, так и в высокогорьях. Из числа известных высокогорных оползней республики, катастрофическая активизация которых зарегистрирована в XX в., можно отметить Даллагкау-

ский (1905, 1987 гг.), Луарский (1937, 1984 гг.), Бизский (1963 г.), Турмонский (1981 г.), Мацутинский (1990 г.) и др. Многие оползни имеют сейсмогенное происхождение. Кроме высокогорных, к наиболее опасным следует отнести оползни Сунженского и Терского хребтов, суффозионные оползни-обвалы высокой террасы на правом берегу р. Терек в Моздокском районе, Дур-Дурские оползни на Лесистом хребте [8, 10, 13].

За счет неконтролируемого интенсивного антропогенного давления – подрезки и обводнения оползнеопасных склонов при строительстве объектов экономики: Зарамагской ГЭС, ЛЭП-35 кВ Фиагдон – Цхинвал, сети внутрирайонных дорог и др., происходит активизация оползневой деятельности на территории республики. Данные наблюдений [8] показывают, что систематические деформации дорожной полки и оползание крупных масс грунта на дорожное полотно автодороги Бурон – Цей на участке Нижне-Цейского оползня отмечаются ежегодно на участке протяженностью 150 м. Фрагментарная отсадка отдельных блоков по фронту Мацутинского оползня приводит к поражению практически всех коммуникаций в Горной Дигории (автодороги Чикола – Мацута, ЛЭП, линии телефонной связи) на протяжении 400 м. На обоих участках развитие оползневых процессов ставит под вопрос возможность функционирования автодорог в существующем состоянии. Активны оползневые процессы на бортах Зарамагского водохранилища, по берегам которого проходят две автомобильные трассы – ТрансКАМ (правый берег) и обходная дорога в Мамисонскую долину.

Оползни в Республике Ингушетия представлены чрезвычайно широким разнообразием типов и развиты практически во всех геолого-структурных зонах – от предгорных наклонных и внутригорных равнин до высокогорной области. Они угрожают ряду нефтедобывающих комплексов, нефте- и газопроводам и значительной части населенных пунктов республики. Площадь пораженности республики оползневыми процессами составляет 1330 кв. км, в отдельных районах на долю оползнеопасных участков приходится до 90% территории [9]. Наиболее интенсивно поражен оползнями Терский хребет [13]. Катастрофическая активизация оползней, вследствие большого количества осадков, здесь наблюдалась весной 1989 г. на территории селений Верхние Ачалуки и Нижние Ачалуки и станицы Вознесенской.

В Чеченской республике оползневые процессы широко развиты в породах всех возрастов и типов: от древних кристаллических до рыхлых современных. По данным [3], площадь республики, подверженная оползнепроявлению, занимает 2,5 тыс. кв. км. Наибольшей пораженностью и катастрофичностью проявления характеризуются три оползневых района: Бенойский, Шатойский и Горагорско-Грозненский. Наиболее крупным как по площади, так и интенсивности проявления является Бенойский оползневый район, площадь которого достигает 870 кв. км. Он охватывает практически весь Ножай-Юртовский административный район и восточную часть (до р. Хулхулау) Веденского района. Шатойский оползневый район занимает бассейн рек Аргун и Шаро-Аргун от с. Малые Варанды на севере до с. Дай – на юге.

Площадь оползневого района составляет 200 кв. км. Третий оползневый район – Горагорско-Грозненский, расположен в западной части Терского передового хребта (от г. Грозного до п. Горагорск). Площадь района – 80 кв. км. По данным [2], в республике насчитывается 484 оползневых участка. По бассейнам рек оползнеопасные участки распределяются следующим образом: наибольшее количество участков характерно для бассейнов рек Аргун – 167 участков общей площадью 255,6 кв. км и Шаро-Аргун – 112 участков общей площадью 151,6 кв. км; наименьшее – для бассейна реки Ярык-Су (всего один участок площадью 1,4 кв. км). Сильной пораженностью отличаются междуречья Аксая и Ямансу, а также Шатойская котловина. В среднем пораженность склонов оползнями составляет 30–50%, а на отдельных участках их интенсивность возрастает до 60–70% [13]. В равнинной части республики наибольшую угрозу представляют оползневые процессы в районе Грозненских нефтепромыслов.

Активным развитием оползневых процессов характеризуется территория Республики Дагестан. Так, в апреле – июне 2001 г. была зафиксирована активизация оползневой деятельности в Цумадинском, Цунтинском, Ботлихском, Ахвахском, Шамильском, Буйнакском, Докузпаринском районах республики. Частично активизация опасных экзогенных геологических процессов затронула территории Казбековского, Табасаранского, Тляратинского районов [13]. В 2004 г. было зафиксировано 98 проявлений оползневого процесса, в том числе 49 новых [8]. Катастрофические оползни (площадью 700 тыс. кв. м) активизировались на автодороге Усучай – Мискинджа Докузпаринского района, в Гумбетовском районе в с. Кунзах (1,26 кв. км) и в с. Хвайни Цумадинского р-на (1,25 кв. км). Крупные оползни от 30 до 350 тыс. кв. м были зафиксированы в Ахвахском, Гумбетовском, Цумадинском и Шамильском, Унцукульском районах и г. Буйнакск. Активизация оползневых процессов была отмечена в Акушинском, Ботлихском, Дахадаевском, Дербентском, Докузпаринском, Казбековском, Табасаранском, Тляратинском, Хунзахском районах. В 2009 г. наиболее крупные оползневые подвижки произошли в районе селений Чох, Куркал и в г. Буйнаксе. Активизация оползневого процесса произошла на 814 и 816-м километрах федеральной автодороги М-29 «Кавказ» (в районе пос. Агачаул) [8]. По данным [5, 8], в 2011 г. на территории республики было зарегистрировано 88 опасных оползневых участков, создающих угрозу 78 населенным пунктам.

Проведенный нами анализ фондовых материалов МЧС РФ показал, что за последние 25 лет на территории Северного Кавказа произошло более 400 чрезвычайных ситуаций природного характера, из них более 50 ЧС были связаны с катастрофической активизацией оползневых процессов. Наиболее часто чрезвычайные ситуации происходят в теплый период года. Так, согласно 25-летней статистики, только в весенне-летний период в регионе происходит 70% всех ЧС оползневого характера. На май месяц приходится 20% ЧС, обусловленных оползневыми процессами.

Максимальное количество произошедших ЧС оползневой природы приходится на предгорные и частично горные районы Северного Кавказа. Наибольшее их количество наблюдается в Карачаево-Черкессии (38% от общего числа), Ставропольском крае (30%) и Дагестане (14%). Следует отметить, что на фоне практически ежегодной широкомасштабной активизации оползней в Дагестане, достижение состояния чрезвычайной ситуации здесь наступает сравнительно редко, хотя причиняемый ущерб народному хозяйству в результате проявления наиболее крупных оползневых процессов исчисляется миллионами рублей.

### Литература

1. Атлас природных и техногенных опасностей и рисков чрезвычайных ситуаций Российской Федерации (под ред. С.К.Шойгу). М.: Дизайн. Информация. Картография, 2010. 696 с.
2. *Бекмурзаева Л.Р.* Геоэкологическая оценка опасных природных процессов в ландшафтах Чеченской Республики методами ГИС-технологий // Автореф. дис. на соиск. уч. степ. канд. геогр. наук. М., 2011. 28 с.
3. *Гакаев Р.А.* Основные типы оползней Чеченской Республики и механизмы их формирования // Вопросы современной науки и практики. Университет имени В.И.Вернадского. №3 (17), 2009, с. 133-140.
4. Государственные доклады «О состоянии защиты населения и территорий Кабардино-Балкарской Республики от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера в 2003-2014 годах». Нальчик: Главное управление МЧС РФ по Кабардино-Балкарской Республике, 2004-2015.
5. Государственные доклады «О состоянии защиты населения и территорий Республики Дагестан от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера в 2003-2014 годах». Махачкала: Главное управление МЧС РФ по Республике Дагестан, 2004-2015.
6. Доклады «О состоянии защиты населения и территорий Карачаево-Черкесской Республики от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера за 2004-2014 годы». Черкесск: Главное управление МЧС РФ по Карачаево-Черкесской Республике, 2005-2015.
7. Информационный бюллетень о состоянии геологической среды на территории Ставропольского края за 2005 год. Вып. 10. В 2-х книгах. Железноводск: Южный региональный центр ГМСН, 2006. 211 с.
8. Информационные бюллетени о состоянии недр на территории Российской Федерации в 2004-2013 гг. Вып. 28-37. М.: ФГУП «Гидроспецгеология», 2005-2014.
9. Материалы для ежегодных государственных докладов «О состоянии защиты населения и территории Российской Федерации от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера» по Республике Ингушетия в 2006-2014 годах. Назрань: Главное управление МЧС РФ по Республике Ингушетия, 2006-2014.
10. Материалы для ежегодных государственных докладов «О состоянии защиты населения и территорий Республики Северная Осетия-Алания от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера в 2005-2014 годах». Владикавказ: Главное управление МЧС РФ по Республике Северная Осетия-Алания, 2005-2014.
11. Материалы для ежегодных государственных докладов «О состоянии защиты населения и территории Российской Федерации от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера» по Ставропольскому краю в 2003-2014 годах. Ставрополь: Главное управление МЧС РФ по Ставропольскому краю, 2004-2015.
12. *Одер И.В., Дмитриева Е.В.* Потенциальные источники чрезвычайных ситуаций природного характера на территории Ставропольского края. Ставрополь: ГУП СК «Краевые сети связи», 2006. 88 с.

13. Разумов В.В., Аджиев А.Х., Разумова Н.В. и др. Опасные природные процессы Северного Кавказа (под ред. проф. Разумова В.В.). М.: Изд-во «Феория», 2013. 320 с.

14. Разумов В.В., Стрешнева Н.П., Перекрест В.В., Кюль Е.В. Атлас природных опасностей и стихийных бедствий Кабардино-Балкарской республики / Под ред. акад. РАН М.Ч. Залиханова. Санкт-Петербург: Гидрометеоздат, 2000. 66 с.

## **СПОСОБ ОЦЕНКИ ФЛЮВИАЛЬНОЙ ЭРОЗИИ ПО ДАННЫМ РЕЖИМНЫХ ГИДРОЛОГИЧЕСКИХ НАБЛЮДЕНИЙ НА РЕКАХ-АНАЛОГАХ**

**О.Г. Савичев**

Томский политехнический университет, 634050, Томск, пр. Ленина, 30.  
E-mail: OSavichev@mail.ru

Определение масштабов флювиальной эрозии является важной составляющей исследования экзогенных геологических процессов как в рамках государственного мониторинга геологической среды, так и при проектировании гидротехнических сооружений, мостовых переходов и трубопроводов [4, 6, 7, 10, 12]. В ряде случаев эта задача решается на основе анализа карт или схем эрозионных форм (например, речного русла), составленных в разные годы, но с интервалом не менее 5 лет [4, 10]. Общий смысл методики заключается в сравнении поперечных профилей, полученных в результате топо- и русловых съемок за разные годы. Недостатками этой методики (помимо относительно высокой трудоёмкости, характерной для многих видов геоморфологических и инженерно-геологических работ) являются: сложность или невозможность получения расчётных параметров в сжатые сроки; в случае водных объектов метод неприменим при отсутствии надёжных русловых съёмов, выполненных в разные годы с интервалом не менее 5 лет; даже при наличии разновременных русловых съёмов процесс сравнения нескольких планов или схем сопряжён с дополнительными погрешностями и недостаточно чётко формализован.

При отсутствии данных наблюдений известна методика построения линии возможной глубинной эрозии (вертикального размыва речного русла) при условии деформаций за счёт переформирования русловых микроформ (гряд) [4, 10]. Данная методика заключается в оценке вертикальных деформаций по зависимостям (1–4) между размерами русловых микроформ и глубиной потока [1], но возможность её использования фактически ограничена исследованиями водотоков при наличии грядового движения наносов.

$$Z_{\text{lim}} = Z_{\text{min}} - h_{rb} - \Delta_{rb} - \delta_h, \quad (1)$$

$$\Delta_{rb} = 0.1 \cdot k_r \cdot (h_{5\%} - h), \quad (2)$$

$$h_{rb} = 0.25 \cdot h, \text{ если } h < 1 \text{ м}, \quad (3)$$

$$h_{rb} = 0.2 + 0.1 \cdot h, \text{ если } h > 1 \text{ м}, \quad (4)$$

где  $Z_{\text{lim}}$  – минимальная отметка профиля предельного (глубинного) размыва русла;  $Z_{\text{min}}$  – минимальная отметка дна водотока в расчётном створе;  $h_{rb}$  – высота гряды;  $\Delta_{rb}$  – дополнительная деформация дна за счёт переформирования русловых форм;  $\delta_h$  – погрешность определения глубины потока;  $k_r$  – коэффициент, учитывающий разницу между измеренными и расчётными значениями высоты гряды;  $h_{5\%}$  – глубина водотока в створе при уровне воды обеспеченностью 5 %;  $h$  – глубина водотока в том же створе.

Прогноз боковой эрозии  $L_b$ , согласно [4, 10], может быть выполнен по формуле:

$$L_b = k_L \cdot C_{\text{max}} \cdot T \cdot (h_{\text{max}} - h_{m,a}) / (h_{pl} - h_{m,a}), \quad (5)$$

где  $h_{\text{max}}$  – наибольшая глубина потока в расчётном створе;  $h_{m,a}$  – средняя глубина потока двух смежных перекатов (с приводкой к одному уровню);  $h_{pl}$  – наибольшая глубина потока в пределах всей излучины;  $T$  – период прогноза (эксплуатации проектируемого объекта);  $k_L$  – коэффициент скорости развития излучины в зависимости от угла её разворота;  $C_{\text{max}}$  – наибольшая скорость смещения берега в пределах каждой излучины, принимаемая либо по материалам наблюдений, либо по данным о реке-аналоге. Методика в среднесрочной перспективе позволяет получить приемлемые результаты, но, главным образом, на участках, где проводились измерения  $C_{\text{max}}$ .

В ряде случаев (при оценке боковой эрозии на крупных равнинных реках) применяется методика оценки перемещения бровки берега за один год (или половодье)  $\Delta L_b$ , по формулам общего вида [6]:

$$\Delta L_b = k_x \cdot (\rho_w / \rho_s) \cdot f(B) \cdot (h_a + h_1) / (h_{\text{max}} + h_b), \quad (6)$$

где  $k_x$  – коэффициент, учитывающий асимметрию русла, размываемость берега и увлажнение его грунтов;  $\rho_w$  и  $\rho_s$  – плотность воды и грунта;  $f(B_r)$  – функция ширины потока  $B$ ;  $h_a$  и  $h_{\text{max}}$  – средняя и наибольшая глубина потока в расчётном створе;  $h_1$  – разница между максимальной глубиной на пике половодья и при уровне воды обеспеченностью 50 % в расчётном створе;  $h_b$  – высота берега в расчётном створе (над урезом воды при уровне обеспеченностью 50 %). Несмотря на кажущуюся простоту, расчёт параметров уравнения (6) сопряжён с определёнными трудностями, игнорирование которых может привести к получению неадекватного результата (особенно в случае попытки использовать методику для оценки боковой эрозии на малых реках с торфяными берегами и в зоне распространения многолетней мерзлоты; градации рек приняты согласно [5]: малые – с площадью водосбора до 2000 км<sup>2</sup>; средние – от 2000 до 50000 км<sup>2</sup>; большие – более 50000 км<sup>2</sup>). Ещё один вариант оценки боковой эрозии – использование эмпирических формул на основе критериальных соотношений диаметра наносов, глубины потока, уклона водной поверхности и иных параметров [2, 3, 12, 13].

Максимально возможную боковую эрозию (горизонтальные деформации речных русел) в виде длины профиля предельного размыва  $L_{\text{lim}}$  при отсутствии данных наблюдений могут быть ориентировочно определены, согласно [10], по формуле:

$$L_{\text{lim}} = B_{FP,x} \cdot (B_{CT,a}/B_{FP,a} + \sigma_{CT,a}), \quad (7)$$

где  $B_{FP,x}$  – ширина исследуемого пойменного потока;  $B_{CT,a}/B_{FP,a}$  – соотношение ширины пояса руслоформирования  $B_{CT,a}$  и ширины пойменного потока  $B_{FP,a}$  для установленного на исследуемом участке руслового процесса;  $\sigma_{CT,a}$  – стандартное отклонение величины  $B_{CT,a}/B_{FP,a}$ . Методика позволяет получить в целом достоверные данные о предельно возможных горизонтальных деформациях, но без привязки ко времени (что ограничивает возможность долгосрочного прогноза).

Общие недостатки существующих методов, имеющие отношение к задаче оценки и прогноза боковой и глубинной флювиальной эрозии – следующие: 1) у большинства существующих способов необходима разновременная топо- и русловая съемка с интервалом не менее 5 лет на исследуемой водотоке или на водотоке-аналоге; 2) во многих случаях сложно выполнить установленные в [4] требования по точности; 3) высокая трудоёмкость, сложность или невозможность получения расчётных параметров в сжатые сроки; 4) высокая степень неопределённости при оценке параметров, используемых в косвенных способах расчёта и прогноза боковой и глубинной эрозии; 5) сложность учёта местных природных условий при использовании методик, разработанных для других регионов [14].

В программу стандартных гидрометрических наблюдений на государственной режимной сети на территории Российской Федерации (на расходных постах) входит ежедневное измерение уровней воды и измерение скоростей течения, глубины и ширины потока, как правило, не менее одного раза в месяц. Гидрологические посты расположены преимущественно на относительно прямолинейных и устойчивых к деформациям участках. Гидрометрические работы в некоторых случаях проводятся с 1930-х гг., чаще – с 1950-1960 гг. Благодаря этому имеются достаточно длинные ряды наблюдений за уровнями воды, шириной потока, его средней и максимальной глубиной. На основе результатов анализа этих данных предложен подход к оценке боковой и глубинной эрозии, основанный на определении параметров потока, при которых наблюдаются наибольшие деформации русла [8, 9, 14].

Реализация этого подхода заключается в выборе данных многолетних наблюдений, соответствующих фиксированному уровню воды, задаваемому с постоянным приращением. Пример расчёта приведён в таблице. В том случае, когда в данных отсутствует именно такое значение уровня воды, оно находится интерполяцией между ближайшими датами. В результирующей выборке должно быть чётное количество выбранных уровней, соответствующих как подъёму, так и спаду воды в реке. В соответствии с выполненными ранее исследованиями [8, 9, 14], для каждой выборки данных при фиксированном

уровне воды необходимо определить минимальное и максимальное значение искомой величины (ширины и максимальной глубины водотока) и рассчитать максимальную амплитуду её колебаний (разность между максимумом и минимумом). Сравнение с результатами измерений и расчётов согласно [4, 10] и по эмпирическим формулам [3] позволило сделать вывод о том, что максимальные значения амплитуды для всего изученного диапазона изменений уровня воды могут рассматриваться в качестве характеристики глубинной  $A_{\max}(h_{\max})$  (для максимальной глубины потока  $h_{\max}$ ) или боковой  $A_{\max}(B)$  (для ширины водотока  $B$ ) эрозии [9]. При этом долгосрочный прогноз на  $T$  лет осуществляется в случае: боковой эрозии  $DB(T)$  – по формуле (8), глубинной  $Dh(T)$  – по формуле (9):

$$DB(T) = T \cdot (A_{\max}(B) + \delta_B), \quad (8)$$

$$Dh(T) = Z_{\min} - A_{\max}(h_{\max}) - \delta_h, \quad (9)$$

где  $\delta_B$  – погрешность определения ширины потока.

Таблица.

**Расчёт боковой и глубинной эрозии реки Васюган у п. Майск  
(Томская область, элемент речной сети: Васюган – Обь – Карское море)**

| Показатель | Уровень воды, см | $B$ , м    | $h_{\max}$ , м |
|------------|------------------|------------|----------------|
| $SD$       | 300              | 0.22       | 0.03           |
| $A$        |                  | 3.8        | 0.57           |
| $SD$       | 400              | 0.14       | 0.03           |
| $A$        |                  | 3.7        | 0.81           |
| $SD$       | 500              | 0.23       | 0.04           |
| $A$        |                  | <b>4.6</b> | <b>0.96</b>    |
| $SD$       | 600              | 0.11       | 0.04           |
| $A$        |                  | 1.9        | 0.50           |
| $SD$       | 700              | 0.14       | 0.03           |
| $A$        |                  | 2.1        | 0.45           |

Примечание:  $SD$  и  $A$  – стандартное отклонение и амплитуда изменений гидравлических характеристик потока при уровнях 300, 400, 500, 600, 700 см над «нулём графика поста»; полужирным шрифтом выделены значения  $A_{\max}(B)$  и  $A_{\max}(h_{\max})$ .

Возможно, что теоретически более понятной характеристикой русловых деформаций является максимальное значение не амплитуды, а стандартного отклонения рассматриваемой величины ( $h_{\max}$  или  $B$ ), когда в предположении нормального распределения вероятностей в качестве оценки боковой или глубинной эрозии принимается величина, равная или превышающая значение  $\gamma SD_{\max}$ , где  $\gamma$  – квантиль нормального распределения при заданном



уровне значимости;  $SD$  – стандартное отклонение исследуемой величины ( $h_{\max}$  или  $B$ ). В этом случае прогноз боковой эрозии  $DB(T)$  выполняется по формуле (10), а прогноз глубинной эрозии  $Dh(T)$  – по формуле (11):

$$DB(T) = T \cdot (\gamma SD(B)_{\max} + \delta_B), \quad (10)$$

$$Dh(T) = Z_{\min} - \gamma SD(h_{\max})_{\max} - \delta_h, \quad (11)$$

где  $SD(B)_{\max}$  и  $SD(h_{\max})_{\max}$  – максимальное значение стандартного отклонения  $B$  или  $h_{\max}$  из  $M$ -значений, соответствующих уровням воды  $H_m = H_{\min} + (m-1) \cdot \Delta H$ ,  $m=1, \dots, M$ . К сожалению, пока не совсем понятен принцип и способ определения величины  $\gamma$ . Поэтому для практического использования пока более предпочтительны формулы (8, 9).

В целом, следует отметить, что, во-первых, гидрометрический створ обычно устанавливается на наименее деформируемом и наиболее прямолинейном участке реки. С учётом этого результирующие значения русловой деформации могут рассматриваться как максимальные для наиболее устойчивых участков, что обычно соответствует задачам проектирования [14]. Во-вторых, максимальные значения  $A_{\max}$  или  $SD_{\max}$  фактически соответствуют руслоформирующему расходу воды [11]. В-третьих, при определении  $A_{\max}$  или  $SD_{\max}$  целесообразно учитывать погрешности измерения параметров потока при выходе на залесённую и/или заболоченную пойму (вплоть до ограничения в наиболее сложных случаях верхней границы расчётного диапазона уровней воды отметкой выхода на пойму).

Таким образом, предложена методика оценки флювиальной (боковой и глубинной) эрозии по материалам режимных гидрологических наблюдений на сети Росгидрометслужбы. Безусловно, такие оценки не могут полностью заменить результаты соответствующих наблюдений, но являются важным фактором обеспечения надёжности проектных решений на неизученных и труднодоступных территориях за счёт формирования обширной базы данных оценок русловых деформаций малых, средних и больших рек в самых разных природных условиях.

### Литература

1. Алексеевский Н.И. Гидрофизика. М.: Академия, 2006.
2. Антроповский В.И. Критериальные зависимости типов руслового процесса // Труды Государственного гидрологического института. Вып. 190. Исследования морфологии и гидравлики речных русел, пойм и водоёмов для нужд строительного проектирования. Л.: Гидрометеиздат, 1972.
3. Беркович К.М., Злотина Л.В. Расчёт стабильности речных русел в условиях антропогенной нагрузки // География и природные ресурсы. 2003. № 2. с. 117-123.
4. Ведомственные строительные нормы. Учёт деформаций речных русел и берегов водоёмов в зоне переходов магистральных трубопроводов (нефтегазопроводов). ВСН 163-83. М.: Госкомгидромет, 1985.
5. Гидрология суши. Термины и определения. ГОСТ 19179-73. М., Изд-во стандартов, 1988.

6. Рекомендации по оценке и прогнозу размыва берегов равнинных рек и водохранилищ для строительства. ПНИИИС Госстроя СССР. М.: Стройиздат, 1987.
7. Рычагов Г.И. Общая геоморфология. М.: МГУ, Наука, 2006.
8. Савичев О.Г. Водные ресурсы Томской области. Томск: Изд-во Томск. политехн. ун-та, 2010.
9. Савичев О.Г., Решетько М.В. Методы ориентировочной количественной оценки твёрдого стока и русловых деформаций для равнинных рек таёжной зоны Западной Сибири // Инженерные изыскания. 2012. № 1, с. 52-56.
10. Учёт руслового процесса на участках подводных переходов трубопроводов через реки. Стандарт организации. СТО ГУ ГГИ 08.29-2009. СПб.: Нестор-История, 2009.
11. Чалов Р.С. Руслоформирующие расходы воды // Вестник Московского гос. ун-та. Сер. 5. География. 2006. № 1, с. 1-19.
12. Chang H.H. Fluvial Processes in River Engineering. Malabar, Florida., Krieger publishing company. – 2008.
13. Leopold L.B., Maddock T. The hydraulic geometry of stream channels and some physiographic implications, Washington, USA, United States Government Printing Office, 1953.
14. Savichev O.G., Reshetko M.V., Matveenko I.A., Ivanova Ye.V. Evaluation of plain river channel deformation in the absence of observation data // IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science (012027). 2015. 24. 6. doi:10.1088/1755-1315/24/1/012027.

## **ОЦЕНКА ПОТЕНЦИАЛЬНОЙ ОПОЛЗНЕОПАСНОСТИ ТЕХНОГЕННО НАГРУЖЕННОГО ЛЕССОВОГО СКЛОНА**

**И.А. Садовенко, Н.И. Деревягина, А.Н. Загриценко, Е.О. Подвигина**

ГБУЗ “Национальный горный университет”, 49005, Украина, г. Днепропетровск,  
пр. Карла Маркса, 19. E-mail: natali.derev@gmail.com

**Введение.** Одними из наиболее проблемных оснований для зданий и сооружений считаются лессовые грунты. Прогноз оползней и эффективное противодействие этим процессам является актуальной задачей в связи с широким распространением лессовых массивов [4]. Некачественная эксплуатация водонесущих коммуникаций, плотная многоэтажная застройка территории является основным видом техногенной нагрузки склоновых частей городских агломераций и может приводить к аварийным ситуациям. Например, масштабный оползень произошел в 1997 году на присклоновой части территории ж/м “Тополь” (г. Днепропетровск, Украина), при этом были разрушены 9-ти этажный жилой дом, школа, два детских комбината. Объем оползневых масс составил 250 тыс. м<sup>3</sup> (рис. 1).

Нормативные расчеты устойчивости склона показали его устойчивое состояние, т.е. проектные строительные нормативы недостаточно учитывают специфику несущих свойств лессовых грунтов и их возможные изменения.

В связи с этим, целью данной работы было исследование потенциальной оползнеопасности лессового склона с количественной оценкой его устойчивости и обоснование мероприятий по предупреждению и ликвидации

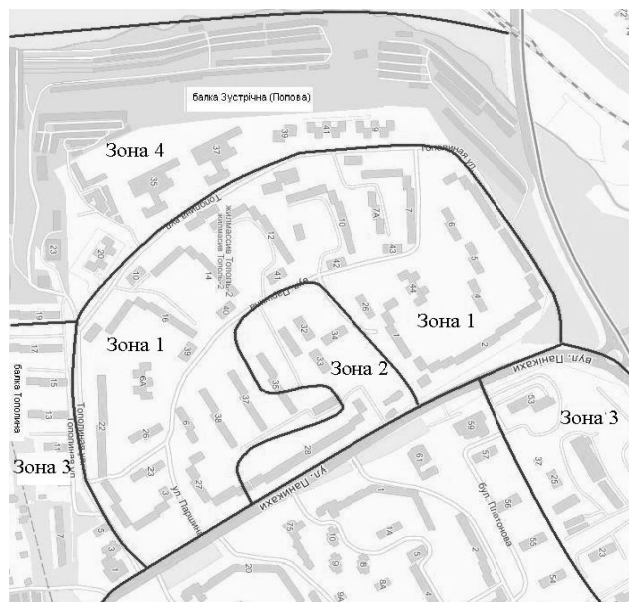
локальных техногенных источников развития оползневых процессов на примере ж/м «Тополь» (г. Днепропетровск, Украина).



Рис. 1. Оползень на ж/м «Тополь» (1997 г.)

**Основные результаты.** Основным фактором активизации оползневых процессов является изменение гидродинамического режима территории. В связи с этим был количественно оценен механизм и степень влияния природной и техногенной составляющей в формировании гидрогеомеханического режима территории с использованием системы конечно-разностных уравнений [3]. Решение вариантного ряда нестационарных обратных задач позволило сформировать полную ретроспективную картину динамики формирования уровня режима подземных вод во времени и количественно оценить основные факторы его формирования. Установлено, что основным фактором формирования уровня поверхности грунтовых вод во времени является составляющая инфильтрационного питания, которая почти на 75% определяется величиной техногенной инфильтрации. Также выполнены прогнозные расчеты.

Рис. 2. Зоны по условиям гидрогеомеханической устойчивости (ж/м «Тополь», г. Днепропетровск)



Проведенные испытания лессовых пород в условиях трехосного сжатия при различных значениях нагрузок и направлениях фильтрации позволили установить явление фильтрационной анизотропии лессового массива, и являются основой для прогнозирования оползней течения, возникающих при техногенном нагружении склонов [3, 5]. На основании натурного обследования, моделирования фильтрации подземных вод и экспериментальных исследований территория ж/м «Тополь» разделена на зоны проявлений и активизации негативных инженерно-геологических процессов (рис. 2). Наиболее опасной по возможности формирования оползня течения является площадь грунтового склона с максимальными градиентами фильтрации в четвертичном водоносном горизонте (зона 4), наибольшей плотностью водокоммуникационных сетей и величиной инфильтрационного питания в пределах 150-270 мм/год. К этой же зоне относятся поверхности застроенных склонов с воронковидными и оврагообразными формами техногенного рельефа и засоренным базисом дренирования в руслах балок. Глубина залегания уровня грунтовых вод здесь существенно зависит от условий фильтрации к зоне разгрузки, дополнительных источников техногенной инфильтрации из поврежденных ливневых сетей, наличия искусственных препятствий на пути поверхностного стока.

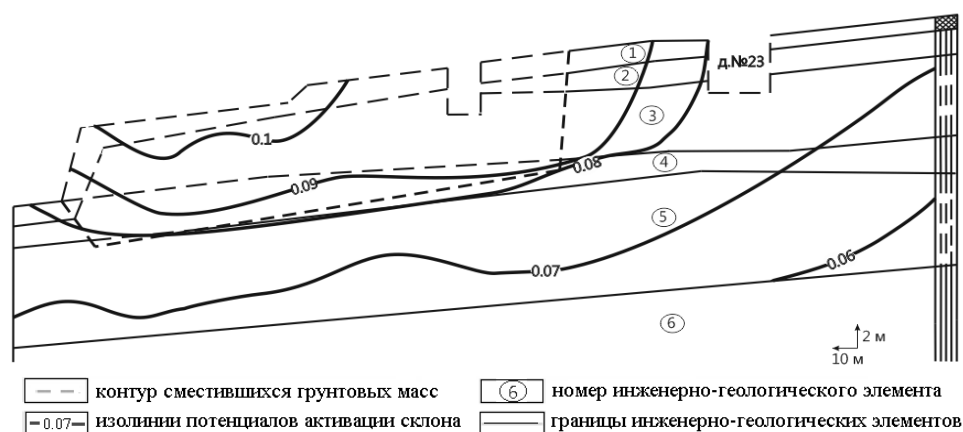


Рис. 3. Результаты моделирования оползневого склона на ж/м «Тополь»

Для оценки влияния деформационных нарушений в лессовых породах на устойчивость техногенно нагруженного массива на основе методического подхода [2] проведено моделирование оползневого склона ж/м «Тополь» (рис. 3). Изменение суммарной потенциальной энергии частиц грунта при их перемещении на величину  $dl$  составляет [1]

$$\Delta U = gS \int_0^{h-H} mdl, \quad (1)$$

где  $g$  – ускорение свободного падения;  $m$  – масса единицы объема частиц;  $S$  – площадь горизонтального сечения грунтового массива, для которого рассматривается изменение энергии;  $H$  – мощность слоя;  $l$  – длина пути перемещения частиц, зависящая от глубины, структуры (пористости) породы и прочности структурных связей;  $h$  – высота столба породы, для которого производится подсчет энергии  $\Delta U$ .

Уравнение (1) удобно использовать в виде

$$\Delta U = \int_0^H P(h) dl, \quad (2)$$

где  $P(h) = gS\gamma h$  – вес столба грунта с основанием  $S$  на глубине  $h$ .

Для бесконечно малых величин перемещения частицы грунта и высоты столба породы  $dh$  можно принять, что  $dl = \delta dh$ , где  $\delta$  – коэффициент пропорциональности, который представляет собой относительную просадочность лесса при природном давлении. Для одного слоя с плотностью  $\gamma$

$$\Delta U = \frac{gS\gamma\delta H^2}{2}. \quad (3)$$

Потенциальная энергия недоуплотнения для любого слоя лесса с глубинами его подошвы  $H_1$  и кровли  $H_2$  составляет

$$\Delta U_c = \frac{g\gamma\delta(H_1^2 - H_2^2)}{2}. \quad (4)$$

Кроме энергии недоуплотнения лессовых слоев склона, потенциальный энергетический ресурс этих частиц обусловлен положением базиса возможного перемещения оползневого тела по вертикали вследствие сил тяжести.

$$\Delta U_e = gS \int_0^{h+H_e} m dl, \quad (5)$$

где  $H_e$  – расстояние от слоя до эрозионного вреза склона в рельефе.

Третья составляющая потенциальной энергии лессового массива обусловлена силами реакции в слое лесса на воздействие сил тяжести  $n$ -го количества вышележащих слоев, т.е.

$$\Delta U_p = gSh \sum_{i=1}^n \gamma_i \frac{H_i}{2}. \quad (6)$$

Таким образом, реальный подход к оценке устойчивости лессового склона может состоять в численном сопоставлении конечно-элементных сечений, с рассчитанными составляющими энергий недоуплотнения, положения, давления и энергии связей. Учет последних проблематичен. В связи с

этим, в качестве реальной предпосылки принято наличие плотной корреляции показателей энергии внутренних связей в лессе и показателей его физико-механических свойств – плотности, модуля общей деформации, удельного сцепления, угла внутреннего трения, коэффициента Пуассона и коэффициента консолидации.

Энергия деформирования для конечного элемента модели

$$\Delta U_i = E\Delta S_i b, \quad (7)$$

где  $E$  – модуль деформации грунта;  $\Delta S_i$  – изменение площади сечения конечного элемента;  $b$  – его единичная толщина.

Это позволило предложить новое понятие – потенциал активации склона в полуэмпирическом толковании в виде суммы градиентов полной энергии и градиентов деформаций конечных (или бесконечно малых) элементов лессового массива

$$\Pi_a = grade + gradU_p. \quad (8)$$

Принятая в физике интерпретация поля потенциалов (в нашем случае потенциалов активации) позволяет по нормалям выделить прогнозные зоны деформаций в теле оползня с их количественной характеристикой по величине потенциалов активации.

Модель отражает состояние массива на момент, предшествующий оползневым процессам. Данные о присутствии трещин и пустот в массиве, которые образованы в грунте под действием техногенной фильтрации, учтены в виде зон с соответствующими значениями прочностных свойств пород. По результатам моделирования выделены наиболее опасные зоны, в которых значения потенциала активации склона в стадии предоползневого состояния массива составило 0,08 – 0,09, что дает возможность выделить их в качестве критического диапазона. Рассчитано значение градиента потенциала активации этих величин, которое составило 0,0014. При этом значении в лессовом массиве активизируются оползневые процессы. Результаты моделирования подтверждаются данными об установленной инверсии фильтрационной анизотропии лессов, которая провоцируется техногенными изменениями грунтовых массивов.

По результатам проведенных исследований обоснованы мероприятия по предупреждению и ликвидации негативных инженерно-геологических явлений на ж/м "Тополь": проведение инженерно-технического мониторинга с периодичностью обследования дважды в год, содержащий оценку состояния поверхностного стока, ливневой сети, наличия искусственных водосборных воронок, оврагов в рельефе, данных о появлении суффозионных конусов выноса, а также интенсификации деформаций зданий; прекращение любых строительных и земляных работ, которые замедляют поверхностный сток и разгрузку грунтовых и поверхностных вод в тальвеги балок, формируют водосборные воронки и овраги; инженерно-технический контроль и поддержка гео-

технического состояния гаражных зданий; составление проекта ремонта (или реконструкции) водокommunikационных сетей, с очередностью их ремонта уровню опасности выделенных зон (рис. 2).

### **Выводы.**

1. Обоснование математической модели фильтрационных процессов техногенно нагруженного лессового массива территории ж/м «Тополь» позволило сформировать полную ретроспективную картину динамики формирования уровня режима подземных вод и установить, что техногенная инфильтрация почти втрое превышает естественную и является основным фактором оползнеопасности.

2. На основании экспериментальных закономерностей ослабления структурной устойчивости лессовых пород установлено явление фильтрационной анизотропии лессового массива, что является основой для прогнозирования оползней течения, возникающих при техногенном нагружении склонов.

3. Апробирована методика оценки устойчивости лессовых склонов, основанная на учете энергетических и гидродинамических параметров, которая адаптирована для решения задач устойчивости лессов в техногенно нарушенном массиве. Основным параметром, определяющим оползнеопасность лессового массива, является потенциал активации склона, который в стадии активизации оползневого процесса находится в диапазоне 0,08 – 0,09 и является критическим.

4. Результаты решения прогнозных гидродинамических задач, основанные на исследованных закономерностях формирования оползневых процессов с предложенной оценкой устойчивости массива, послужили основой для принятия технических решений по ликвидации существующих деформационных процессов на территории ж/м «Тополь».

### **Литература**

1. Кригер Н.И. Лесс, его свойства и связь с географической средой. – М.: Наука, 1965. – 196 с.
2. Садовенко И.А., Деревягина Н.И. О потенциале активации оползневого лессового массива // Науковий вісник НГУ. – 2012. – № 2. – С. 80-84.
3. Садовенко И.А., Подвигина Е.О., Загрищенко А.Н., Деревягина Н.И. Оценка факторов устойчивости техногенно нагруженных лессовых склонов // Горный информационно-аналитический бюллетень. – М., 2014. – № 3. – С. 37-43.
4. Трофимов В.Т. Инженерная геология массивов лессовых пород. – М.: КДУ, 2007. – 398 с.
5. Sadovenko I., Derevyagina N. Phenomena of filtration inversion and depth erosion of technogenic loaded loess slopes // Вісник Кременчуцького нац. ун-ту імені Михайла Остроградського. – 2014. – № 1 (84). – С. 150-153.

## СОВРЕМЕННАЯ АКТИВНОСТЬ КАРСТА ЮЖНОГО ПРЕДУРАЛЬЯ

**А.И. Смирнов**

Институт геологии УНЦ РАН, 450077, г. Уфа, ул. К. Маркса, 16/2  
E-mail: smirnov.ai@bashkortostan.ru, smalil@mail.ru

Активные проявления карстового процесса в Южном Предуралье известны еще с середины XVIII века, со времен экспедиций Российской академии наук.

В Южном Предуралье в границах Республики Башкортостан карстующиеся породы распространены не менее, чем на 40% ее территории, почти 30% его площади поражено поверхностными карстопроявлениями, около 45% городского и не менее 20% сельского населения РБ проживает в районах развития карста [3].

Южное Предуралье относится к карстовой стране Восточно-Европейской равнины, где по составу карстующихся пород до глубины 200 м (то есть в экзокарстовом этаже карстоферы) наибольшее распространение получили сульфатный и карбонатный карст. Имеются также участки с одновременным их развитием (вдоль западной окраины Уфимского плато), а также площади с развитием кластокарста, связанного с загипсованными и сильно карбонатизированными терригенными породами кошелевской свиты нижней перми (западная часть Приайской равнины).

Одним из факторов современной карстоопасности является соотношение пространственного взаимоположения карстующихся пород с некарстующимися, определяющее характер проявления карста на поверхности. Исходя из этого, по степени перекрытости карстующихся пород некарстующимися в Южном Предуралье выделены голый, покрытый, перекрытый и закрытый типы карста и их сочетания [1].

Наиболее ярко активность развития карста выражается в образовании новых карстовых провалов.

Сегодня уже достоверно установлено, что возникновение провалов находится в прямой зависимости от степени пораженности территории поверхностными карстопроявлениями, что обусловлено унаследованным характером развития карста на современном этапе от его развития в неоген-четвертичное время. В новейший этап геологического развития, резко активизировавшись в раннем плиоцене в местах с наиболее благоприятными геолого-геоморфологическими и гидрогеологическими условиями (склоны палеодолин рек и придолинные их части), карстовый процесс продолжает наиболее активное свое развитие в настоящее время на тех же самых участках [2].

В Южном Предуралье ежегодно образуется не менее новых 3-4 карстовых провалов. Только на Уфимском карстовом кособоре, где развит сульфат-



ный открытый, покрытый и реже закрытый типы карста и сформирована гидрогеологическая обстановка интенсивного водообмена со свободной разгрузкой трещинно-карстовых вод [4], в среднем образуется 3 карстовых провала в год. За непрерывный, почти 40-летний ряд (с 1976 по 2015 гг.) режимных наблюдений, которые ведутся в настоящее время Центром мониторинга состояния недр (ЦМСН) ОАО «Башкиргеология», на нем образовалось 122 провала и воронки.

Небольшие по размерам (обычно не превышающие 10 м в поперечнике, при глубине не более 5 м) карстовые воронки и провалы ежегодно образуются по всему Южному Предуралью.

По нашим данным не менее чем в 85 населенных пунктах Южного Предуралья на территории различных муниципальных районов (МР) Республики Башкортостан (РБ), карстовые провалы образовывались в пределах их селитебных зон или в непосредственной близости от них. За последние 50 лет в этих пунктах достоверно зафиксировано возникновение не менее 200 новых небольших карстовых провалов, образование которых, нередко сопровождалось деформациями жилых и административных зданий и других инженерных сооружений [3].

Частота образования карстовых провалов не снижается и в настоящее время. Так, в 2013 году зафиксировано образование двух небольших карстовых провалов. Один из них образовался в д. Старобурново МР Бирский район РБ, другой – на участке Кургашского водозабора недалеко от д. Юлдашево МР Учалинский район РБ. Объем новых образований составил 1416 м<sup>3</sup>. В 2014 году зафиксировано образование двух карстовых провалов в д. Зинино МР Уфимский район РБ и в Кировском районе в г. Уфе. Первый провал произошел 28 апреля в коллективном саду «Рассвет» на участке № 62 в 4-5 м от жилого дома на юго-восточной окраине д. Зинино. Объем его составил 904,8 м<sup>3</sup>. Второй провал образовался 13 ноября в г. Уфе, по ул. Авиаторской под жилым домом № 33. Объем провала составил 304,8 м<sup>3</sup>.

В первой половине 2015 года зафиксировано образование провала на север-северо-восточной окраине с. Мишкин (МР Мишкинский район РБ). Диаметр его составил около 5 м при глубине 3 м (обследование О.В. Садыковой, ЦМСН ОАО «Башкиргеология»).

Кроме образования трех-четырёх небольших провалов в год в Южном Предуралье фиксируется возникновение anomalно крупных карстовых провалов поперечником более 10 м и глубиной более 5 м. По собранным нами данным за последние 30 лет документально зафиксировано образование 10 anomalно крупных провалов [5].

1. Апрель 1988 года. МР Дуванский район РБ на юго-западной окраине с. Улькинды. Провал образовался в западной части Приайской равнины, на поле развития загипсованных песчаников кошелевской свиты кунгурского яруса нижней перми (кластокарст). Первоначальный его размер с поверхности составил 5,6 м, а глубина по центру достигала 27 м. По данным обследования 1989 года, размеры провала с поверхности равнялись 5,5х6,5 м, а глубина по центру увеличилась до 29 м, при бутылеобразной форме и с конусом

обрушения на дне. Размеры провала по дну составили 11x14 м, а общая глубина провала достигла 32 м.

2. Октябрь 1991 года. МР Кармаскалинский район РБ, озеро в с. Сахаево (Сахай), которое располагается на Прибельской пологоволнистой равнине в тыловой части второй левобережной надпойменной террасы долины р. Белой (сульфатный перекрытый карст). У юго-западной оконечности озера на водной поверхности 17 октября появилась воронка-водоворот и уровень воды в озере начал резко понижаться. К вечеру 18 октября озеро распалось на отдельные изолированные водоемы, а на месте воронки-водоворота на оголившемся дне озера образовался провал диаметром 5 м, до краев заполненный водой. За не более чем 48 часов в провал поглотилось около 200 тыс. м<sup>3</sup>, то есть ежесекундно в среднем через провал уходило не менее 1000 л воды. Через 6 дней провал увеличился в размерах до 10 м, а вода в нем периодически исчезала. К утру 28 октября на месте провала образовалась конусообразная воронка диаметром до 15 м. Воронку завалили и через несколько лет озеро полностью восстановилось.

3. Октябрь 1993 года. Прибельская холмисто-увалистая равнина. Провал в пос. Архангельский Орджоникидзевского района г. Уфы. Диаметр его на момент образования составлял 18 м при глубине 17 м и колодцеобразной форме. Возникновение провала сопровождалось кратковременным звуковым эффектом и сотрясением грунта, вызвавшим колебание стен и дребезжание оконных стекол в домах поселка. Дно провала на глубину 3 м было занято водой. Через два года провал приобрел чашеобразную форму и увеличился в размерах с поверхности до 24,5x18,7 м. Образование провала связано с карстом в гипсовой толще кунгура, залегающей под терригенно-карбонатными породами породами уфимского яруса (сульфатный закрытый карст).

4. Май 2000 года (7:30 9 мая). Дёмский район г. Уфы, проезжая часть Чебоксарского переуллка напротив частных жилых домов №№ 15 и 20. Провал поперечником 5–6 м и глубиной около 6 м при колодцеобразной форме. Во второй половине дня началась ликвидация провала путем его засыпки глинистым грунтом. После того как провал был почти полностью засыпан, весь объем засыпанного грунта через 5–6 мин. провалился с грохотом и хлопотанием воды, прорвавшейся снизу. Диаметр его составлял 10 м, глубина – 15 м. Засыпка провала непрерывно продолжилась 9 и 10 мая. К 11.00 10 мая диаметр провала достиг 12 м и частично был заполнен водой, глубина провала до уровня была 4 м. 11 мая провал был полностью ликвидирован. Через три дня началась просадка грунта в месте ликвидированного провала. Размеры ее на 16 мая 2000 г. составляли 9x12 м при глубине 0,5–1,0 м. Она четко оконтуривалась трещинами отседания шириной 0,2 м и глубиной 0,4 м. В дальнейшем она также была ликвидирована. В общей сложности на засыпку провала потребовалось около 4 тыс. м<sup>3</sup> глинистого грунта.

Провал образовался в тыловой части II надпойменной террасы долины р. Белой по ее левобережью в пределах Прибельской пологоволнистой равнины. Он связан с развитием сульфатного карста в гипсах кунгурского яруса нижней перми, кровля которых залегает на глубине 35–40 м под аллювиаль-

но-делювиальными отложениями среднего плейстоцена (сульфатный перекрытый карст).

5. Май 2001 года (04.05.2001). Провал в МР Аургазинский район РБ, д. Мурадым по ул. Салавата во дворе частного дома № 21 (в 2-х м от южной стенки летней кухни). Образование провала сопровождалось содроганием грунта и дребезжанием оконных стекол.

На момент обследования провал имел кувшинообразную форму диаметром в горле около 1 м и эллипсовидным дном 8х12 м. Глубина его составляла 9,5-12,5 м, а наиболее пониженные части выпуклого дна были заняты водой ( $h \sim 2$  м).

В геоморфологическом отношении провал приурочен к средней части правого склона долины руч. Белый ключ (правый приток р. Уршак) на Прибельской пологоволнистой равнине. В геологическом строении участка расположения провала принимают участие терригенно-карбонатные отложения уфимского яруса, подстилаемые галогенными породами кунгура, кровля которых залегает на глубине не более 20 м (сульфатный закрытый карст).

6. Декабрь 2002 года. МР Кармаскалинский район РБ с. Сахаево. Колодеобразный провал образовался ночью на 20 декабря 2002 года. Диаметр его составлял 14 м, глубина 9 м. Провал возник по предполагаемому северо-западному пути фильтрации поглощенных озерных вод в с. Сахаево (см. выше п.2).

7. Сентябрь 2007 года (24.09.2007 около 19 часов). МР Иглинский район РБ, в 3,05 км юго-восточнее ж-д станции в с. Иглино, в 0,5 км северо-восточнее оз. Большое, в пос. Ягодный по ул. Ушакова, дом 8. Первоначальные его размеры в плане составляли 12х12 м при глубине 7 м. Провал имел чашеобразную форму с обрывистыми бортами в верхних частях и захватил проселочную дорогу. В провал упали автомашина «Газель» и строительный вагон. В 4 часа утра 04.10.2007 произошло повторное проседание дна провала и его расширение в поперечнике. При этом автомашина «Газель» была полностью погребена продуктами обрушения.

На 22.10.2007 провал сохранял чашеобразную форму с обрывистыми бортами в верхних частях. Размеры его в плане составляли 25х28 м при глубине 12,5 м. На 15.10.2011 провал сохранял чашеобразную форму и наполовину был заполнен водой.

Провал связан с развитием карста в гипсах кунгурского яруса нижней перми на Прибельской пологоволнистой равнине. Гипсы кунгура здесь залегают под терригенно-карбонатными отложениями соликамского горизонта уфимского яруса, которые в свою очередь покрыты элювиально-делювиальными отложениями общесыртовой свиты (сульфатный закрытый и перекрытый).

8. Апрель 2012 года. Провал в МР Туймазинский район РБ в 2 км севернее северо-западной окраины с. Старые Туймазы на Прибельской холмисто-увалистой равнины в границах развития терригенно-карбонатных отложений соликамского горизонта. На 12.05.2012 (первообследование Н.С. Лазарева и И.Р. Нигматуллина) провал имел кувшинообразную форму и начи-

нался конусообразной воронкой диаметром 2,5 м, которая на глубине 2,5 м сужалась до 1,0 м в поперечнике. Ниже провал сводообразно расширялся и по дну (при общей глубине провала от поверхности 11,5 м) его размеры составляли 8,5х9,0 м (сульфатный закрытый карст).

9, 10. Август-сентябрь 2012 года. МР Кармаскалинский район РБ два провала в 2 км севернее д. Карламанбаш на междуречье ручьев Карлыман и Осиповский (Прибельская пологоволнистая равнина).

Первый провал в виде конусообразной воронки диаметром 16 м и глубиной 12 м образовался в конце августа. Через две недели рядом с ним образовался смежный провал котлообразной формы. Размеры второго провала на 22.10.2012 составили 36,4х40 м (!), глубина 20–21 м (!). Отвесные борта провала сложены элювиально-делювиальными плиоценовыми суглинками. С глубины 20 м в бортах обнажались песчаники уфимского яруса с тонкими прослоями гипсов (сочетание закрытого и покрытого сульфатного карста).

Приведенные данные по карстовым провалам с фиксированным временем образования Южного Предуралья свидетельствуют, что наибольшая активность карста характерна для сульфатного карста в равнинных его частях. В возвышенных частях Южного Предуралья и в карбонатных породах современные провалы не фиксируются.

Максимальная активность проявления карста на поверхности характерна для сульфатного открытого и покрытого карста в пределах крутых расчлененных склонов долин дрен (Уфимский карстовый косогор), а минимальная – на водораздельных пространствах и пологих склонах долин-дрен в закрытом типе карста. В то же время, для последнего характерно возникновение наиболее крупных по размерам провалов. То есть, в условиях открытого и покрытого сульфатного карста образование провалов в Южном Предуралье наблюдается часто, но размеры их небольшие. В закрытом же сульфатном карсте частота возникновения провалов, хотя и реже, но размеры их значительно больше.

## Литература

1. Абдрахманов Р.Ф., Мартин В.И., Попов В.Г., Рождественский А.П., Смирнов А.И., Травкин А.И. Карст Башкортостан. Уфа, 2002. 384 с.
2. Смирнов А.И. Типы карста и современная активность его развития на Южном Урале и в Предуралье // Мат-лы. междунар. симпозиума «Карстование – XXI век: теоретическое и практическое значение». Пермь, 2004. С. 90-94
3. Смирнов А.И. Оценка воздействия карстового процесса на населенные пункты Республики Башкортостан // Мат-лы. междунар. симпозиума «Карстование – XXI век: теоретическое и практическое значение». Пермь, 2004. С. 325-328
4. Смирнов А.И. Опыт прогноза проявлений сульфатного карста на примере Уфимского косогора // Разведка и охрана недр. 2011. № 3. С. 64-68
5. Смирнов А.И. Аномально крупные карстовые провалы Южного Урала и Предуралья // Геологический сборник № 10. Информационные материалы Уфа: ИГ УНЦ РАН, 2013. С. 50-55.

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРА ПРОЕКТИРОВАНИЯ КОНСТРУКТИВНОЙ ПРОТИВОКАРСТОВОЙ ЗАЩИТЫ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ УРОВНЯ РИСКА

М.М. Уткин

НИУ «Московский государственный строительный университет».  
129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26. E-mail: mike5319@rambler.ru

С выходом в свет Федеральных законов №181-ФЗ [11] и №384-ФЗ [12] стало необходимым выполнять оценку рисков от опасных инженерно-геологических процессов и сравнивать их с допустимыми значениями. Под риском понимается вероятность причинения вреда жизни или здоровью граждан, имуществу физических или юридических лиц, государственному или муниципальному имуществу, окружающей среде, жизни или здоровью животных и растений с учетом тяжести этого вреда [11, 12]. На основании этой оценки следует назначать соответствующие противокарстовые мероприятия. В данной работе показана возможная оценка карстовых рисков, на основании которой выполнено определение параметра проектирования конструктивной противокарстовой защиты – расчетного пролета карстового провала  $l_d$  [1-4, 9]. Необходимо отметить, что при определении рисков и расчетного пролета, обязательным условием является совместный учет инженерно-геологических условий площадки строительства и конструктивных особенностей сооружения.

Карстовый риск поражения строительного объекта площадью  $A$  (рис. 1,  $A=L \times B = 100 \times 100$  м, где  $L$  и  $B$  – наибольший и наименьший габаритные размеры фундамента в плане), равной 1 га, за расчетный срок службы  $T$ , равный 100 лет, именуется как удельный. Его рекомендуется оценивать по следующей формуле [1, 2]:

$$P_r = 1 - \exp(-\lambda_d), \quad (1)$$

где  $\lambda_d$  – расчетное значение показателя интенсивности провалообразования (пров./год·км<sup>2</sup>), определяемое по формуле [10]:

$$\lambda_d = \lambda \cdot K, \quad (2)$$

где  $\lambda$  – природный показатель интенсивности провалообразования (пров./год·км<sup>2</sup>);

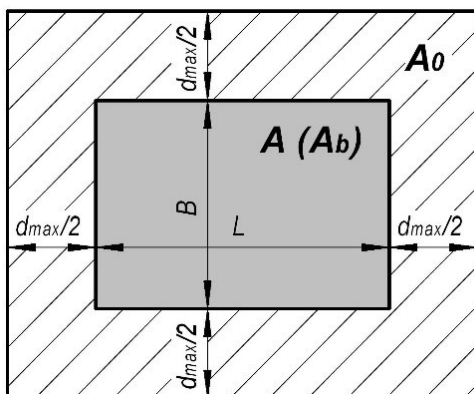
$K$  – коэффициент, определяемый по формуле [10]:

$$K = 1 + \left( \frac{d_{cp}}{d_{max}} \right) \left( \frac{A_0}{A + A_0} \right), \quad (3)$$

где  $d_{cp}$  и  $d_{max}$  – средний и максимальный диаметры возможных карстовых провалов (м);

$A_0$  – площадь зоны (га), отстоящей от рассматриваемого участка на расстоянии  $d_{max}/2$  (рис. 1).

Как видно из формул (2) и (3), расчетный показатель  $\lambda_d$  учитывает средние и максимальные диаметры возможных провалов, а также вероятность поражения выбранного участка карстовыми провалами, при расположении их центров за его пределами. Указанный показатель зависит не только от инженерно-геологических условий площадки строительства, но и от строительных параметров сооружения, что является крайне важным обстоятельством в практике инженерно-строительного освоения закарстованных территорий.



**Рис. 1. Расчетная схема для определения карстового риска**  
**Все обозначения, указанные на рисунке, приведены в тексте**

Допустимый риск, согласно требованиям Федеральных законов [11, 12], должен определяться с учетом возможных экономических, экологических и социальных ущербов при наступлении аварийных ситуаций. Впервые значения допустимых удельных карстовых рисков  $R_n$  были предложены В.В. Толмачевым и опубликованы в работах [6, 7]. Позднее, они были включены в Рекомендации [2], утвержденные Департаментом градостроительного развития территории Нижегородской области. Следует отметить, что назначение допустимых рисков всегда должно осуществляться при тесном взаимодействии изыскателей и заказчиков. Однако, не желая взаимодействовать с заказчиками по этому вопросу, изыскатели порой разрабатывают методики оценки допустимых рисков [13], которые противоречат требованиям указанных Федеральных законов. Поэтому инженерам всегда следует отказываться от применения подобных методик.

Сравнение значений  $P_r$  и  $R_n$  целесообразно выполнять, определяя их соотношение, именуемое удельным уровнем карстового риска  $LR$  [1, 2, 6, 10]:

$$LR = P_r / R_n. \quad (4)$$

Удельный уровень карстового риска целесообразно определять, например, для линейных сооружений (железные дороги, трубопроводы и др.), ввиду неопределенности их площади, которую необходимо учитывать в расчетах. Поэтому, оценивая значения  $LR$  на 1 км линейных сооружений, данную проблему решить достаточно просто.

В практике проектирования сооружений на закарстованных территориях при определении карстовых рисков очень часто требуется учитывать не удельную, а фактическую площадь строительного объекта  $A_b$  (см. рис. 1). То же самое, относится и к расчетному сроку службы  $T_b$ . Тогда выражение для определения карстового риска  $P_{rb}$  будет иметь вид [10]:

$$P_{rb} = 1 - \exp(-\lambda_d \cdot A_b \cdot T_b). \quad (5)$$

Следовательно, необходимо выполнить переход от допустимого удельного карстового риска  $R_n$  к его значению  $R_{nb}$ , определенному с учетом величин  $A_b$  и  $T_b$ . Такой переход возможно осуществить, используя следующую формулу [10]:

$$R_{nb} = 1 - (1 - R_n)^m, \quad (6)$$

где  $m$  – показатель степени, определяемый по формуле:

$$m = \frac{A_b \cdot T_b}{100}. \quad (7)$$

Уровень карстового риска  $LR_b$ , учитывающий значения  $A_b$  и  $T_b$  конкретного строительного объекта, возможно определить по следующей формуле [10]:

$$LR_b = P_{rb} / R_{nb}. \quad (8)$$

Следует отметить, что для сооружений повышенного уровня ответственности необходимо проводить специализированные научно-технические исследования по определению значений  $LR$  и  $LR_b$ . Эту работу целесообразно выполнять при подготовке «Специальных технических условий» (СТУ).

Для определения расчетного пролета карстового провала  $l_d$  необходимо вычисление вероятности  $P_{ld}$ , означающей, что размер возможных провалов под сооружениями будет меньше или равен пролету провала  $l$  [3]. Определение вероятности  $P_{ld}$  возможно выполнить по следующим формулам [1]:

$$P_{ld} = 1 - \frac{1}{LR}, \quad (9)$$

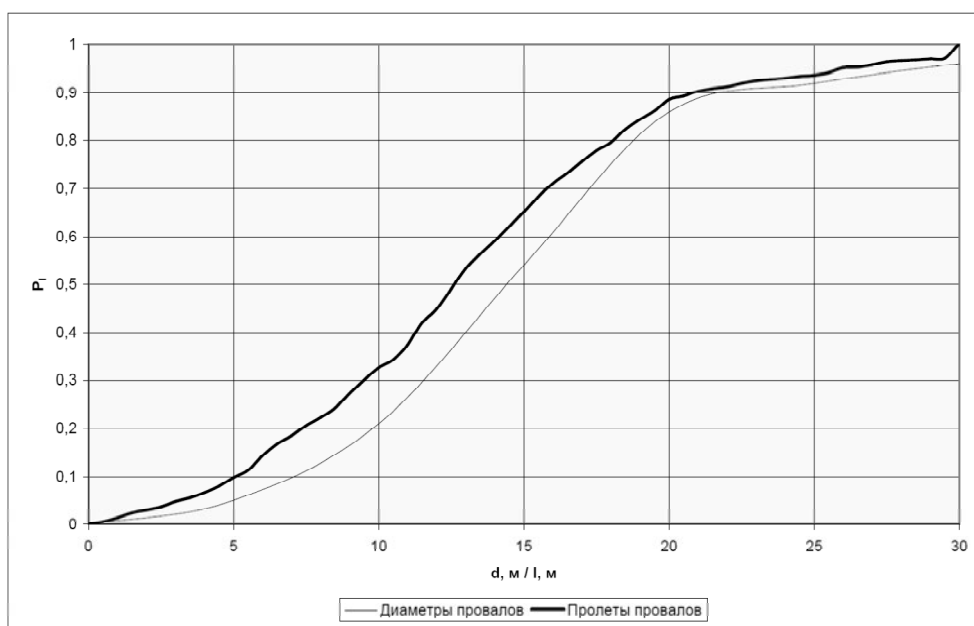
$$P_{ld} = 1 - \frac{1}{LR_b}. \quad (10)$$

После этого, используя интегральную кривую распределения пролетов карстовых провалов  $l$  [1, 3, 9], полученную для конкретного строительного объекта на основе методов статистических испытаний, возможно определить значение расчетного пролета карстового провала  $l_d$ . Вопросы, касающиеся построения интегральных кривых, являются предметом отдельной статьи.

Формулы (1) - (10) успешно применяются автором статьи и его коллегами для определения расчетных пролетов провалов  $l_d$ . Продемонстрируем это на конкретном примере.

Рассмотрим многоэтажное здание, фундамент которого имеет габаритные размеры в плане  $L \times B = 30 \times 30$  м. Статистические данные по диаметрам карстовых провалов приняты для заречной части Нижнего Новгорода. При этом средний диаметр провалов составил  $\approx 15$  м, а максимальный –  $\approx 40$  м. Природный показатель интенсивности провалообразования определен по результатам проведенных карстологических изысканий на площадке строительства и составил  $\lambda = 0,045$  пров. /год·км<sup>2</sup>. Согласно техническому заданию, расчетный срок службы здания  $T_b = T = 100$  лет, а минимально-допустимый удельный карстовый риск  $R_n$  составляет 0,05.

Производя соответствующие вычисления по формулам (1) и (4), получим значение удельного карстового риска  $P_r = 0,052$ , а значение удельного уровня карстового риска  $LR = 1,04$ . Следовательно, используя формулу (9), вероятность  $P_{fd}$  получена равной 0,037. Для рассматриваемого здания была построена интегральная кривая распределения пролетов карстовых провалов  $l$  (рис. 2) при помощи программы «PROLET», которая разработана автором данной статьи в ноябре 2015 года. Согласно этой кривой распределения, расчетный пролет карстового провала  $l_d = 2,5$  м.



**Рис. 2. Интегральные кривые распределения, полученные для рассматриваемого примера с использованием программы «PROLET»**

Однако, при определении рисков не были учтены фактические размеры многоэтажного здания, которое представляет из себя объект башенного типа. Важность учета фактических размеров связана с тем, что при образовании



опасных карстопоявлений [2] в основании фундамента, возможна потеря общей устойчивости здания. Поэтому, используя формулы (5), (6) и (8), были определены значения  $P_{rb}$ ,  $R_{nb}$  и  $LR_b$ , которые, соответственно, составили, 0,0053, 0,0046 и 1,15. При этом значение  $R_n$  не корректировалось, так как заказчику было рекомендовано дополнительно выполнить сигнальные устройства в основании здания [2]. Используя формулу (10), величина  $P_{ld}$  получена равной 0,127. Согласно интегральной кривой распределения (см. рис. 2), расчетный пролет карстового провала  $l_d$ , определенный с учетом фактических размеров и срока службы рассматриваемого здания, составил 5,8 м (увеличился в 2,3 раза). Именно это значение и было рекомендовано использовать геотехникам в качестве основного параметра проектирования конструктивной противокарстовой защиты здания.

Необходимо отметить, что, если вместо кривой распределения пролетов  $l$ , использовать кривую распределения диаметров  $d$  (см. рис. 2), то параметр проектирования конструктивной противокарстовой защиты (в данном случае расчетный диаметр провала) составил бы 7,5 м (увеличился на 30%). Поэтому совместный учет в максимальной степени конструктивных особенностей и инженерно-геологических условий приводит к оптимизации расчетного параметра проектирования. При этом расчетный пролет, определенный, в том числе с учетом вероятности образования провала и обязательных условий, которые приведены в работах [5, 8], обеспечивает заданную надежность сооружениям в течение всего расчетного срока их службы.

#### Литература

1. Махнатов С.А., Уткин М.М. Способ определения параметров проектирования конструктивной противокарстовой защиты // Труды Российской конференции с международным участием «Геотехнические проблемы проектирования зданий и сооружений на карстоопасных территориях». Уфа, 2012. С. 72-77.
2. Рекомендации по проведению инженерных изысканий, проектированию, строительству и эксплуатации зданий и сооружений на закарстованных территориях Нижегородской области. Нижний Новгород. Департамент градостроительного развития территории Нижегородской области, 2012.
3. Рекомендации по проектированию фундаментов на закарстованных территориях. НИИОСП. М., 1985.
4. СП 11-105-97. Инженерно-геологические изыскания для строительства. Часть II. Правила производства работ в районах развития опасных геологических и инженерно-геологических процессов. М.: Госстрой России, 2000.
5. Толмачев В.В. Нормативно-методическая база строительства в карстовых районах России: критический анализ, предложения по совершенствованию // Материалы Международного симпозиума «Экологическая безопасность и строительство в карстовых районах». Пермь. 2015. С. 42-49.
6. Толмачев В.В. О допустимых рисках строительства в карстовых районах // Основания, фундаменты и механика грунтов. 2007. №5. С. 19-21.
7. Толмачев В.В. Оценка рисков при строительстве в карстовых районах // Труды X научно-практической конференции «Проблемы прогнозирования чрезвычайных ситуаций. Оценка рисков возникновения чрезвычайных ситуаций». М., 2010. С. 282-290.

8. Толмачёв В.В., Махнатов С.А., Уткин М.М. О методике определения параметров проектирования противокарстовых мероприятий в свете положений технического регламента о безопасности зданий и сооружений // Труды конгресса Международного научно-промышленного форума «Великие реки 2014». Том 1. Нижний Новгород, 2015. С. 429-433.

9. Толмачев В.В., Троицкий Г.М., Хоменко В.П. Инженерно-строительное освоение закарстованных территорий. М.: Стройиздат, 1986.

10. Толмачёв В.В., Махнатов С.А., Уткин М.М., Давыдько Р.Б. Основные результаты исследований по оценке карстового риска при строительстве // Проектирование и инженерные изыскания. 2013. №2 (20). С. 40-47.

11. Федеральный закон Российской Федерации №184-ФЗ «О техническом регулировании». М., 2002.

12. Федеральный закон Российской Федерации №384-ФЗ «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений». М., 2009.

13. Цербаков С.В., Катаев В.Н. Алгоритм принятия проектных решений при строительном освоении закарстованных территорий // Материалы Международного симпозиума «Экологическая безопасность и строительство в карстовых районах». Пермь, 2015. С. 214-222.

## **АНАЛИЗ ФАКТОРОВ, ВЛИЯЮЩИХ НА НАДЕЖНОСТЬ ОПЕРАТИВНЫХ ОЦЕНОК ПОТЕРЬ ОТ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ**

**Н.И.Фролова Н.И.<sup>1</sup>, Ж. Боннин<sup>2</sup>, И.П. Габсатарова<sup>3</sup>,  
А.Н. Угаров<sup>4</sup>, Т.В. Барская<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> Института геоэкологии РАН, Москва, Уланский пер. 13/2. E-mail: frolova@esrc.ru

<sup>2</sup> Институт физики Земли, Страсбург. E-mail: bonninj@unistra.fr

<sup>3</sup> Геофизическая служба РАН, Обнинск. E-mail: ira@gsras.ru

<sup>4</sup> Центр исследований экстремальных ситуаций, Москва, ул. Юных Ленинцев.  
E-mail: garo@esrc.ru

В статье анализируется влияние погрешностей в определении параметров землетрясений, числовых значений коэффициентов, описывающих региональные особенности затухания сейсмической интенсивности и региональных функций уязвимости элементов риска, на надежность оценок потерь в оперативном режиме, используемых для принятия решения в случае проведения спасательных операций.

В случае оценки последствий землетрясений в масштабе времени близком к реальному необходимо выделить следующие факторы, влияющие на надежность оценок потерь [6-9, 2-3]:

- погрешности в определении параметров землетрясений: координат эпицентра, глубины очага, магнитуды и ее типа службой срочных донесений ГС РАН и сейсмологическими агентствами мира;

- использование обобщенных для больших территорий коэффициентов закона затухания макросейсмической интенсивности, построенного относительно магнитуды по поверхностной волне, которая часто не определяется в оперативном режиме;

- условность математических зависимостей, используемых при вычислении значений степеней повреждений зданий и сооружений различного типа, оценке ущерба здоровью людей;

- неполнота и недостоверность баз данных об элементах риска и источниках опасности; неполнота макросейсмических данных для разработки региональных законов затухания сейсмической интенсивности;

- неполнота данных инженерного анализа последствий землетрясений для разработки региональных функций уязвимости для различных элементов риска;

- отсутствие доступа к конфиденциальным источникам информации.

Оценка влияния перечисленных факторов на надежность оценок потерь, используемых для принятия решения в случае проведения спасательной операции, производилась методом численных экспериментов.

Первым шагом каждого экспериментального расчета был выбор события, сопровождаемого значительным ущербом, который, вместе с параметрами землетрясения, должен быть оценен по материалам обследования.

Упомянутые факторы в ходе экспериментальных исследований были объединены в три группы: первая связана с очаговыми параметрами, вторая – с макросейсмическим полем, третья – с инженерными и социальными факторами уязвимости элементов риска. Для краткости изложения и удобства чтения таблицы перечисленным группам были присвоены краткие названия: «очаг», «поле» и «уязвимость» (табл.).

*Таблица*

**Факторы, влияющие на надежность оценок потерь**

| № | № группы факторов и ее название | Сокращенное название факторов | Пояснение к сокращенному названию   |
|---|---------------------------------|-------------------------------|---|
| 1 | 1 очаг                          | местоположение                | координаты эпицентра  |
| 2 |                                 | магнитуда                     | магнитуда   |
| 3 |                                 | глубина                       | глубина очага   |
| 4 | 2 поле                          | оси                           | отношение полуосей эллипса макросейсмического поля  |
| 5 |                                 | затухание                     | региональные коэффициенты уравнения макросейсмического поля   |
| 6 |                                 | ориентация                    | ориентация макро-сейсмического поля   |
| 7 | 3 уязвимость                    | модель населенного пункта     | процентное соотношение зданий различных классов уязвимости в соответствии со шкалой MMSK-86                       |
| 8 |                                 | уязвимость классов            | зависимости для оценки степени повреждения зданий (поражения людей) в случае различного сейсмического воздействия |

Численный эксперимент с текущим событием на первом шаге включал сбор информации о каждом разрушительном землетрясении. В состав собираемых данных входила информация о магнитуде, глубине очага и местоположении эпицентра, определяемая различными службами срочных донесений, а также информация о результатах макросейсмического и инженерного обследования события.

Изучались возможные варианты моделирования макросейсмического поля от землетрясений, наблюдаемых ранее в данном регионе, анализировались случаи с различной ориентацией осей макросейсмического поля, разбросом в региональных коэффициентах уравнения поля. Далее, исследовались наборы данных из разных источников, позволяющих оценить застройку и численность населения. Итогом первого шага являлась таблица, в которой были указаны наиболее вероятные значения всех исходных данных, необходимых для прогнозного расчета последствий и диапазоны их отклонения.

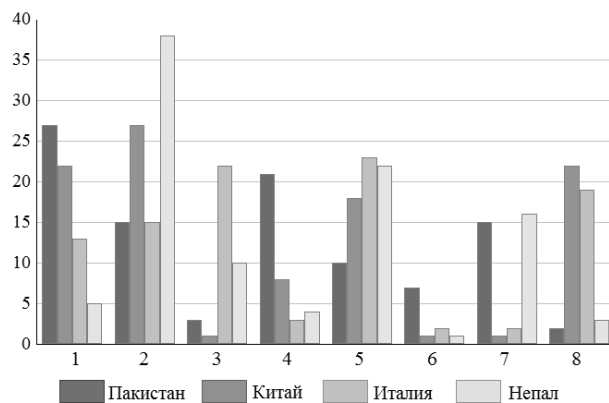
На втором этапе осуществлялся контрольный расчет ожидаемых потерь с использованием наиболее вероятных значений всех восьми параметров для подтверждения возможности прогноза потерь с минимальной погрешностью.

На третьем этапе выполнялись расчеты с различными параметрами, которые попеременно изменялись в установленных пределах. Полученные значения потерь сравнивались с наблюдаемыми. На основе сравнения оценивалась величина ошибки в оценке последствий. Влияние погрешностей различных факторов на надежность оценок потерь выражается в процентах к максимальной погрешности, достигаемой при самом неблагоприятном наборе исходных данных. Расчеты последствий для нескольких сильных событий последних лет в Китае, Пакистане, Италии и Непале были выполнены с помощью ГИС «Экстремум». В качестве источников информации о параметрах землетрясений использовались данные служб срочных донесений Геофизической Службы РАН, Европейского Средиземноморского Сейсмологического Центра, Национального Сейсмологического Информационного Центра Геологической Службы США, других национальных сейсмологических служб в зависимости от страны, а также данные инструментального каталога ISC GEM [10].

Уравнение макросейсмического поля Н.В. Шебалина [4-5] с различными региональными коэффициентами, а также другие уравнения [11] использовались для моделирования сейсмической интенсивности. При этом учитывалось отношение полу-осей эллипса макросейсмического поля и его различная ориентация: вдоль разломов или в соответствии с решением механизма очага.

Данные о застройке использовались в разных вариантах: по базе данных системы «Экстремум», по базе данных о городской и сельской застройке системы «PAGER», а также по информации космических снимков высокого разрешения. Использовались различные варианты функций уязвимости, построенные на основе эмпирических данных из различных выборок: по последствиям отдельных или группы событий, а также с использованием шкал сейсмической интенсивности MMSK-86 и EMS-98 [1].

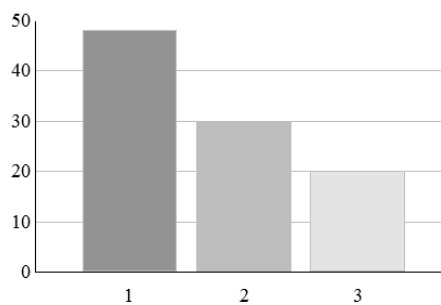
На рис. 1. приведены результаты оценки вклада перечисленных восьми факторов в погрешность определения потерь от четырех наиболее представительных событий.



**Рис. 1. Вклад факторов в погрешность определения потерь от четырех событий в Пакистане, Китае, Италии, Непале**

Из анализа рис. 1 видно, что каждый из рассматриваемых факторов может оказать существенное влияние на результаты оценки последствий землетрясений. В тоже время для всех четырех событий однотипный лидирующий фактор не выявляется, что может быть обусловлено высокой степенью их детализации и взаимной зависимостью. Несмотря на некоторый разброс значений степени влияния факторов в группе в соответствии с табл. , можно выделить в каждой группе «лидера» вклада в погрешность: магнитуда в первой группе, не учет региональных коэффициентов во второй группе и уязвимость классов в третьей группе. При объединении зависимых факторов в группы появляется возможность их упорядочить по убыванию. Легко прослеживается тенденция к снижению. Из анализа результатов усреднения значений рейтинга в каждой из четырех групп событий тенденция к снижению роли группы факторов в зависимости от ее номера становится очевидной (рис. 2).

**Рис. 2. Степень влияния погрешностей групп факторов на погрешность оценки потерь**



Применительно к современному состоянию средств и методов получения оперативной информации о параметрах землетрясения и об уязвимости элементов риска, на надежность оценки потерь, в первую очередь, влияют ошибки в определении координат эпицентра, магнитуды и глубины очага.

Степень влияния этих факторов оценивается величиной чуть более 50% (рис. 2). Рейтинг этой группы факторов самый высокий и занимает 1-ое место. На втором месте – погрешности группы факторов, связанных с моделированием макросейсмического поля (занимает второе место по степени влияния), степень влияния около 30 процентов. На последнем месте – группа факторов, описывающих классы элементов риска и их уязвимость. Следует отметить, разрыв по степени влияния второй и третьей группы факторов не столь велик, но даже небольшой разницей в 10% нельзя пренебречь.

### Литература

1. Ларионов В.И., Фролова Н.И. Особенности оценки уязвимости для сейсмических воздействий // Природные опасности России: Монография. М.: Изд. фирма «КРУК», 2003. – Т. 6: Оценка и управление природными рисками. – С. 120-130.
2. Фролова Н.И., Габсатарова И.П. (2015) Использование макросейсмических данных для повышения надежности оперативных оценок потерь на примере Курчалойского землетрясения. Материалы 9-й Международной научно-практической конференции "Геориск-2015". Москва: РУДН, 2015. Т. 2. – 391-399. – ISBN: 978-5-209-06741-2 (т. 2).
3. Фролова Н.И., Коломиец М.В., Угаров А.Н., Барская Т.В. (2015) Оценка погрешностей в определении параметров землетрясений ССД ГС РАН. Материалы 9-й Международной научно-практической конференции "Геориск-2015". Москва: РУДН, 2015. Т. 1. – 527-534. – ISBN: 978-5-209-06740-5 (т. 1).
4. Шебакин Н.В. Методы использования инженерно-сейсмологических данных при сейсмическом районировании, Сейсмическое районирование СССР, М.: Наука, 1968, сс. 95-121.
5. Шебакин Н.В. Количественная макросейсмика (фрагменты незавершенной монографии). Вычислительная сейсмология, выпуск 34, 2003. С. 54-200.
6. Bonnin J., Frolova N.I., Larionov V.I. Sushchev S.P., Uragov A.N., Kozlov M.A., Starovojt O.E. (2002) Reliability of possible earthquake impact assessment with alert seismological surveys application. *Proc. 28 General ESC Assembly*, Genoa, Italy, 2002.
7. Bonnin J. & Frolova N. (2010) Global Systems For Earthquake Loss Estimation In Emergency Mode. *Proc. XV International Conference "Protection of Population and Territories from Emergencies"*, Emercom of Russia, Moscow, pp. 195-203.
8. Frolova N., Larionov V., Bonnin J. (2011) Earthquake Casualties Estimations in Emergency Mode. In: Human Casualties in Earthquakes: Progress in Modelling and Mitigation. *Advances in Natural and Technological Hazards Research*, vol. 29, Springer, 107-123, 2011.
9. Frolova N., Bonnin J., Larionov V., Ugarov A. (2014) Complexity In Seismic Risk Assessment At Different Levels With Gis Technology Application. *Proc. of XII International IAEG Congress Torino, 2014, Engineering Geology for Society and Territory – Volume 5*, DOI: 10.1007/978-3-319-09048-1\_73, © Springer International Publishing Switzerland 2015, P. 381 – 385.
10. Storchak D.A., D. Di Giacomo, I. Bondár, J. Harris, E.R. Engdahl, W.H.K. Lee, A. Villaseñor, P. Bormann, and G. Ferrari (2012), ISC-GEM Global Instrumental Earthquake Catalogue (1900-2009), GEM Technical Report 2012-01 V1.0.0, 128 pp., GEM Foundation, Pavia, Italy, doi: 10.13117/GEM.GEGD.TR2012.01.
11. The Practice of Earthquake Hazard Assessment (1993), International Association of Seismology and Physics of the Earth's Interior, ed. Robin K. McGuire, 284 p.

### 3. ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКИЕ И ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ УРБАНИЗИРОВАННЫХ ТЕРРИТОРИЙ И ПРОМЫШЛЕННЫХ ОБЪЕКТОВ

---

---

#### ЛИНЕЙНЫЕ АНОМАЛИИ ТЕХНОГЕННЫХ НИЗКОЧАСТОТНЫХ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ МАЛЫХ ГОРОДОВ

**Е.В. Архипова<sup>1</sup>, А.Д. Жигалин<sup>2</sup>, Н.И. Дмитрук<sup>1</sup>, А.И. Власова<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> Институт геоэкологии им. Е.М. Сергеева РАН,

101000, Москва, Центр, Уланский пер., 13, стр.2. E-mail: zhigalin.alek@yandex.ru

<sup>2</sup> Международный университет природы, общества и человека «Дубна»,

141980, Дубна Московская обл., Университетский пр., 19. E-mail: olenageo@mail.ru

Проблема глобального электромагнитного смога и воздействия электромагнитных полей (ЭМП) на окружающую среду и компоненты экосистем признана одной из приоритетных геоэкологических проблем для современного человечества. На мировом уровне ее исследованию посвящен Международный электромагнитный проект всемирной организации здравоохранения (ВОЗ) (WHO International EMF Project), практическая реализация обеспечения электромагнитной безопасности координируется и осуществляется Международной Комиссией по защите от неионизирующих излучений (МКЗНИ, ICNIRP – International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection). В РФ национальным научно-координационным органом в области электромагнитной безопасности является Российский национальный комитет по защите от неионизирующих излучений. Начиная с 1995 года, проблема электромагнитной безопасности для окружающей среды практически ежегодно рассматривается Комитетом экологии Государственной Думы РФ. В настоящее время формируются критерии и разрабатываются подходы к экологическому нормированию ЭМП, но пока ПДУ для оценки воздействия ЭМП на окружающую среду не существуют, и нормирование ЭМП как физического фактора внешней среды проводится только с целью его санитарно-гигиенической оценки для человека [1]. ВОЗ рекомендует использовать «предупредительный подход», который сводится к защите от излучений «временем», «рас-

стоянием» и экранированием и предлагает избегать электромагнитных воздействий в условиях недостаточной изученности [3].

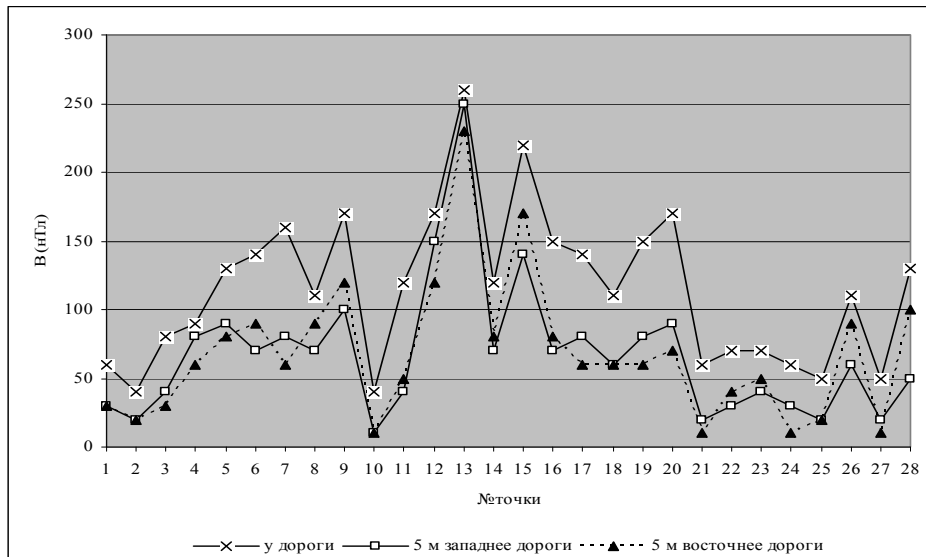
Современными исследованиями установлено несколько основных аспектов непосредственного влияния техногенных низкочастотных ЭМП на живые организмы. Во-первых, в условиях наложения техногенных ЭМП происходит нарушение регулирующей взаимосвязи собственных слабых биополей организмов с геомагнитным полем Земли. Во-вторых, возникает искажение функционирования собственных слабых низкочастотных биополей организмов при суперпозиции внешних близких по частоте, но более интенсивных полей. В-третьих, внешние магнитные поля, воздействуя на магниточувствительные частицы и электропроводящие жидкости биообъектов, порождают интенсивные вихревые токи, которые, в свою очередь, способны вызывать нагрев тканей и жидкостей.

Влияние ЭМП на жизнедеятельность человека осуществляется и опосредованно – из-за снижения срока эксплуатации зданий, сооружений и подземных коммуникаций в условиях циркуляции электрических токов, наведенных переменными магнитными полями. Среди главных аспектов влияния на популяции организмов находится нарушение способности их сообществ ориентироваться по силовым линиям магнитного поля Земли, а также разрушение связей и способности к взаимодействию организованных сообществ, где слабые биополя используются для обмена информацией между отдельными индивидуумами. Влияние ЭМП на экосистемы, проявляется в снижении видового многообразия за счет изменения количественного состава организмов, поскольку для одних видов влияние полей является стимулирующим, а для других – угнетающим фактором.

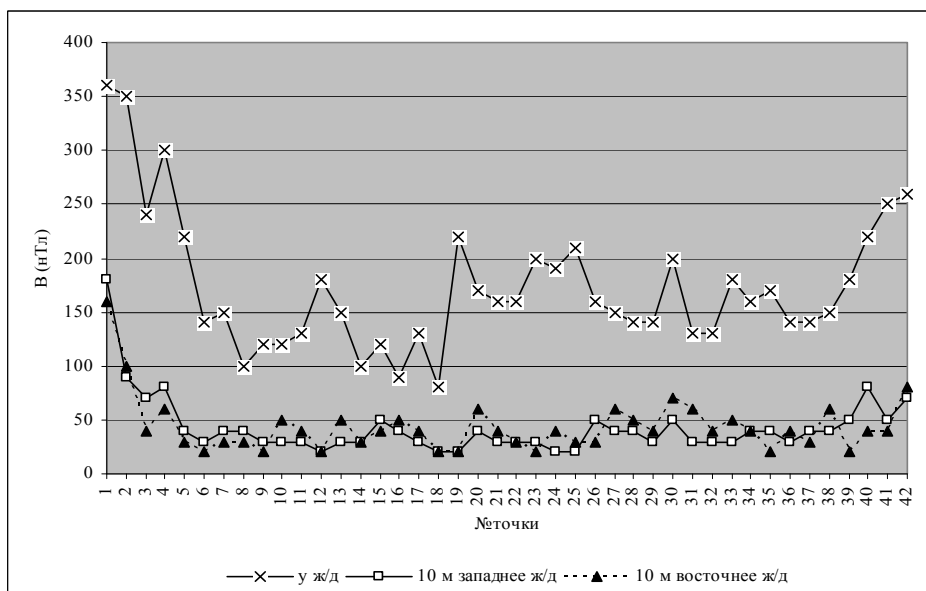
Изучение площадных аномалий магнитной составляющей переменных ЭМП на территории г.Дубна Московской области и г.Кимры Тверской области показало, что решающий вклад в формирование электромагнитного смога вносят линейные источники, такие как линии электропередач, системы уличного освещения, автомобильные и железные дороги [2]. С целью оценить их воздействие и вклад в общую эколого-геофизическую обстановку малых городов, выполнен анализ уровня таких полей вблизи линейных объектов. Методика исследований включала измерение магнитной индукции в непосредственной близости от линейного источника и на некотором удалении по нормали к линейному источнику в обе стороны. В случае ЛЭП такое удаление составило 20 м, для ж/д – 10 м и для автодороги – 5 м (рис. 1, 2, 3). Измерения производились с помощью прибора ИМП-05/1, предназначенного для контроля магнитных полей, создаваемых техническими средствами. Прибор осуществляет ненаправленный прием, в реальном масштабе времени измеряя среднеквадратические значения плотности магнитного потока электромагнитных полей в диапазоне частот от 5 Гц до 2 кГц. Прибор улавливает изменения магнитной индукции в диапазоне от 70 до 1999 нТл и обычно используется для электромагнитного мониторинга, контроля пространственного распределения и динамики изменения ЭМП в соответствии с требованиями ГОСТ Р 51070-97. Объектами исследований стали оживленная автомобильная



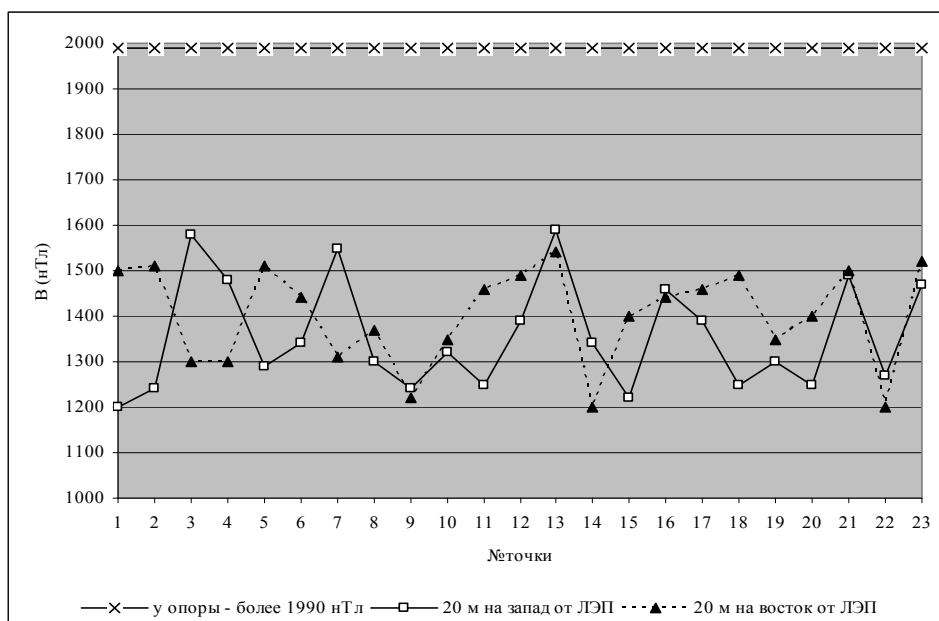
магистраль г. Дубна на правом берегу р. Волга – проспект Боголюбова, железная дорога на территории г. Дубна и высоковольтная ЛЭП в черте города.



**Рис. 1. Изменение значений магнитной индукции вблизи пр. Боголюбова, г. Дубна**



**Рис. 2. Изменение значений магнитной индукции вблизи железной дороги на территории г. Дубна**



**Рис. 3. Изменение значений магнитной индукции вблизи высоковольтной ЛЭП, г. Дубна**

Сравнительный анализ результатов измерений показал, что уровень магнитной индукции (В, нТл) вблизи линейных объектов существенно отличается. Вблизи автомобильной дороги уровень магнитной индукции изменяется от 10 до 250 нТл и в среднем составляет  $V=115$  нТл, а на расстоянии 5 м – около 68 нТл. Вблизи железной уровень колеблется от 75 до 360 нТл и в среднем равен  $V=174$  нТл, а на удалении 10 м – 43 нТл.

В непосредственной близости от высоковольтной ЛЭП уровень магнитной индукции выходит за пределы измерительной способности прибора и составляет более 1999 нТл, а на удалении 20 м варьирует от 1200 до 1600 и составляет в среднем около 1380 нТл. В районе железной и автомобильной дорог значения магнитной индукции варьируют в более широком диапазоне, но, в основном, не превышают минимально допустимого санитарного уровня в 250 нТл, а в районе ЛЭП, даже на значительном расстоянии в 20 м, значения существенно превышают уровень в 250 нТл и являются небезопасными.

В итоге, несмотря на, порой, весьма существенные различия в распределении магнитной индукции вблизи линейных объектов, они, действительно, вносят значимый вклад в общий уровень электромагнитной загрязненности г.Дубна. Наличие и уровень электромагнитного фона от таких источников необходимо учитывать при размещении объектов городской инфраструктуры. Расположение источников интенсивного излучения вблизи детских и других учреждений, где проживают или длительно находятся люди, особо

чувствительные к электромагнитным воздействиям, недопустимо, поэтому важно выявлять такие источники и контролировать в режиме мониторинга общую электромагнитную обстановку. О расположении и величине интенсивности излучений от линейных источников следует информировать население, проживающее в зоне их влияния, и муниципальные власти, которым необходимо учитывать наличие возможного электромагнитного смога от линейных источников ЭМП при организации городской инфраструктуры.

#### Литература

1. Бичелдей Е.П., Меркулов А.В., Степанов В.С., Шенфильд Б.Е. Определение подходов к нормированию воздействия антропогенного электромагнитного поля на природные экосистемы // Ежегодник Российского национального комитета по защите от неионизирующих излучений: Сборник трудов. – М.: Изд-во РУДН, 2003. – С. 46-74.
2. Жигалин А.Д., Архипова Е.В. Практика оценки эколого-геофизических условий на территории городов // Сергеевские чтения. Инженерно-геологические и геоэкологические проблемы городских агломераций. Вып. 17 Материалы годичной сессии Научного совета РАН по проблемам геоэкологии, инженерной геологии и гидрогеологии (19–20 марта 2015 г.) – М.: РУДН, 2015. – С. 244-247.
3. Построение диалога о рисках от электромагнитных полей. ВОЗ: 2004 г. 66 с. Режим доступа [www.who.int/peh-emf/publications/.../russian\\_risk.pdf](http://www.who.int/peh-emf/publications/.../russian_risk.pdf) Дата обращения: 24.02.2015.

### ЗАКОНОМЕРНОСТИ ОБРАЗОВАНИЯ БИОГАЗА В МАССИВАХ ГРУНТОВ НА ТЕРРИТОРИИ ГРАЖДАНСКОГО СТРОИТЕЛЬСТВА (НА ПРИМЕРЕ МОСКОВСКОГО РЕГИОНА)

М.В. Бабаева<sup>1</sup>, М.А. Харьковина<sup>2</sup>

<sup>1</sup> ООО «ПРОИНЖГРУПП», 129075, г. Москва, Шереметьевская ул., д. 85, стр. 1.  
E-mail: mashulya-bbv@yandex.ru

<sup>2</sup> Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, геологический факультет, 119992, Москва, Ленинские горы, д. 1. E-mail: kharkina@mail.ru

**Введение.** На территории Московского региона в настоящее время техногенные отложения развиты практически повсеместно [7]. Средняя мощность насыпных грунтов составляет в пределах Москвы 2-4 м, а иногда достигает 10-20 м. Техногенные грунты включают перемещенные природные грунты, содержащие строительные, промышленные, а, иногда, и твердые бытовые отходы. Условия образования и состав насыпной толщи могут способствовать развитию процессов газогенерации за счет повышенного содержания органических веществ и возможности изменения во времени. С течением времени компонентный состав переотложенных грунтов претерпевает изме-

нения благодаря активной микробиологической деятельности и разложению органических веществ [6]. М.А. Викторовой [2] составлена типизация грунтов несанкционированных строительных отвалов, предоставляющая информацию наличия в грунтах биогаза и его составе.

Биогаз обычно содержит метан (55-65%), углекислый газ (35-45%), примеси азота, водорода, кислорода и сероводорода. Во всех грунтах генерирующих или содержащих биогаз, наблюдается вертикальная зональность. В разрезе образование биогаза начинается в анаэробной зоне (глубины более 100 см) путем деструкции органического вещества, затем в переходной подзоне (образуется преимущественно метан) и аэробной зоне (компоненты биогаза окисляются до  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$  и ряда простых соединений), происходит полное окисление биогаза и далее происходит эмиссия биогаза в атмосферу [5, 8]. Образующийся биогаз загрязняет вмещающие породы и подземные воды, мигрирует вверх по разрезу и может выделяться в приземный воздух. При накоплении биогазов, обогащенных метаном, возникает опасность образования взрывоопасных смесей. Взрывоопасность биогаза начинается при объемной доли метана более 5% к объему воздуха [1]. Так, при исследовании Н.В. Галицкой [3] одного из микрорайонов Марьиного парка в г.Москве на участке проектируемого строительства в 70% газовых проб обнаружен метан в экологически опасных и пожароопасных концентрациях, достигающих 35,1% об.

**Объекты исследований.** В качестве объектов исследования выбраны насыпные грунты участков гражданского строительства в г.Мытищи по ул.Колпакова и в г.Москве в районе Люберецких полей аэрации (ВМО «Некрасовка») и по ул.Годовикова. По данным ООО «ПРОИНЖГРУПП» в геологическом строении участков принимают участие техногенные грунты, их мощность колеблется от 1 до 8 м. Характерной чертой геологических разрезов исследуемых территорий является то, что техногенные грунты подстилаются суглинками тугопластичными различного возраста и генезиса (флювиогляциальные и моренные отложения преимущественно московского и окско-днепровского оледенения до глубины 24-30 м), являющихся практически непроницаемым экраном для проникновения биогаза вниз по разрезу. На всех трех участках исследований вскрыты разновозрастные водоносные горизонты на глубине до 4 м, являющиеся дополнительным барьером на пути миграции биогаза вниз по разрезу.

Уникальность объекта исследования в г.Мытищи состоит в том, что на его территории встречаются техногенные и естественные (торфосодержащие) газогенерирующие грунты, а особенностью техногенных грунтов на территории участка в ВМО «Некрасовка» является их планомерная отсыпка в результате рекультивации Люберецких полей аэрации. Состав, возраст, генезис, условия распространения газогенерирующих грунтов на объектах исследований представлены в таблице 1.

**Методика исследований.** Газогеохимические исследования проводились в соответствии с требованиями СП 47.13330.2012. Для исследований техногенных грунтов был выбран метод шпуровой газогеохимической съемки, который позволяет выявлять и картировать по площади биогазовые аномалии на срезе глубин 70-80 см. Точки отбора проб располагались по сети с заданным шагом (25-30 м).

Состав газов определялся с применением газоанализатора RS Dynamics Ecorprobe 5 с использованием ИК-анализатора для определения компонентов биогаза (метан, диоксид углерода, кислород, нефтяные и легколетучие углеводороды) в полевых условиях. Диапазон измерений ИК-анализатора 0-500000 ppm, при этом нижний предел чувствительности составляет 50 ppm.

**Результаты газогеохимических исследований.** Газогеохимическими исследованиями на территории объекта гражданского строительства в г. Мытищи (ул. Колпакова) установлено, что содержание метана в грунтах на момент исследования составляли 0,02-4,9%, диоксида углерода – 0,9-5,1%. Максимальные концентрации  $\text{CH}_4$  и  $\text{CO}_2$  установлены в шпурах на участках с максимальной толщиной техногенных отложений. Степень корреляции соотношение  $\text{CH}_4$  и  $\text{CO}_2$  в газах техногенных грунтов на участке жилищного строительства в Мытищах исследуемой территории составляет 0,79, что соответствует наличию сильной корреляционной связи [4].

Газогеохимическими исследованиями на территории объекта гражданского строительства г. Москва (ул. Годовикова) установлено, что содержание метана в грунтах на момент исследования составляли 0,02-3,9%, диоксида углерода – 0,7-4,5%, что несколько ниже, чем на предыдущем участке. Низкие концентрации двуокиси углерода в изучаемых грунтах при высоком содержании метана объясняются неоднородностью состава и дисперсностью отложений. С одной стороны,  $\text{CO}_2$  как более тяжелый газ может опускаться в подстилающие грунты, а с другой – метан имеет более высокую миграционную способность, что и отражается на соотношении метан/двуокись углерода. Степень корреляции соотношение  $\text{CH}_4$  и  $\text{CO}_2$  в газах техногенных грунтов составляет 0,83, что также соответствует сильной корреляционной связи. Выявлены участки с повышенным содержанием метана и углекислого газа, приуроченные к центральной и северо-восточной части территории. Вероятно, это связано с неоднородностью исследуемых грунтов и очаговым (в виде примесей) содержанием органических веществ на территории.

Газогеохимические исследования на территории объекта гражданского строительства г. Москва ВМО «Некрасовка» показали содержание метана ниже предела обнаружения прибора Ecorprobe 5. Техногенные грунты на этом объекте являются планомерно отсыпанными, состоящими из песков средней крупности без примесей органики. «Чистота» песков подтверждена сертификатом соответствия № РОСС.RU.CJ181.P00063.

Таблица

**Характеристика газогенерирующих грунтов на объектах  
гражданского строительства в Московском регионе**

| Показатели геологических характеристик газогенерирующих грунтов | Объекты исследований  |                                  |   |  |
|---|---|----------------------------------|---|--|
|   | ул. Колпакова, г. Мытищи  |                                  | ВМО «Некрасовка» (Люберецкие поля аэрации)<br>г. Москва | ул. Годовикова<br>г. Москва  |
|   | (техногенные грунты)  | (естественные грунты)            |   |  |
| Возраст, лет  | 25  | 11000                            | 3   | 15   |
| Мощность, м   | 1,1-2,8   | 2,0-2,3                          | 2,9-3,8   | 4,0-8,1  |
| Наличие органики<br>C <sub>орг</sub> , %                        | 0,2-8,9   | 2,9-3,1                          | 0,1-0,2   | 0,9-3,9  |
| Состав  | Суглинки, с обломками кирпича, включением строительного и бытового мусора | Торфо-почвенные отложения        | Песок средней крупности, плотный                        | Асфальто-бетон, суглинки, пески, куски кирпича и бетона, металл, древесина, стекло, бытовые отходы |
| Генезис образования   | Стихийно образованные   | Естественно образованные         | Планомерно отсыпанные                                   | Стихийно образованные  |
| Условия распространения на территории                           | Локально в центральной, юго-западной и северо-восточной части             | Локально в северо-западной части | Повсеместно   | Повсеместно  |
| Условия разложения органического вещества                       | Анаэробное  | Анаэробное                       | Анаэробное  | Анаэробное   |

**Заключение.** Газогенерация на исследованных объектах гражданского строительства в Московском регионе связана с анаэробными условиями разложения органического вещества, как в техногенных, так и природных грунтах.

Газогенерация в опасных концентрациях в техногенных грунтах отмечается на объекте гражданского строительства на ул. Годовикова (г. Москва), а на объекте в г. Мытищах, она связана как со стихийно образованными техногенными грунтами, так и с природными торфяниками. По содержанию компонентов биогаза грунты территории обладают относительно высоким потенциалом газогенерации. По степени газогеохимической опасности грунты на участке исследования в г. Мытищи в западной и северной частях являются опасными по содержанию метана, при этом в нескольких точках опробования значения приближаются к границе значений пожаровзрывоопасных концентраций (>5,0%). На объекте исследования в по ул. Колпакова грунты территории на севере и северо-востоке по степени газогеохимической опасности являются опасными, в центральной и юго-западной – потенциально опасными. Концентрации компонентов биогаза на исследуемых территориях

являются экологически значимыми. Со временем накопление биогаза на участках исследования в г.Мытищи и ул.Годовикова (г.Москва) могут увеличиваться в связи с использованием непроницаемых асфальтовых покрытий: под газонепроницаемыми покрытиями создается анаэробная обстановка в грунтах, замедление и подавление процессов бактериального окисления и утилизации метана, вызывая эмиссию метана в атмосферу, а так же накопление его в подпольных помещениях, что несет как экологическую угрозу, так и пожаровзрывоопасность.

Техногенные грунты на объекте гражданского строительства г.Москва ВМО «Некрасовка» являются газогеохимически инертными, неспособными генерировать биогаз, что объясняется их составом (пески), отсутствием органосодержащих примесей и планомерной отсыпкой в процессе рекультивации территории Люберецких полей аэрации.

Выявленные в ходе исследований прямые корреляционные зависимости при соотношении концентраций  $\text{CH}_4$  и  $\text{CO}_2$ , мощности газогенерирующих грунтов и содержания компонентов биогаза, а также концентраций компонентов биогаза и  $\text{C}_{\text{орг}}$  при учете особенностей строения исследуемых территорий позволяют при исследовании новых участков оценивать ориентировочные концентрации органического вещества по результатам газогеохимических исследований.

#### Литература

1. Балакин В.А., Труфманова Е.П. Три подхода под строительство территорий распространения газогенерирующих насыпных грунтов // Сергеевские чтения. Вып.8.Мат-лы годичной сессии РАН. – М.: ГЕОС, 2006. – С. 154-156.
2. Викторова М. А. Грунты несанкционированных строительных отвалов и свалок (на примере территории г. Москвы): автореф. дис. канд. геол.-минерал. Наук. – М., 2007. – 24 с.
3. Галицкая Н.В., Позднякова И.А., Труфманова Е.П. Оценка геохимической опасности территорий несанкционированных городских свалок // Школа экологической геологии. – СПб., 2013. – С. 240-244.
4. Дмитриев Е. А. Математическая статистика в почвоведении: Учебник / Науч. ред. Ю. Н. Благовещенский. Изд. 3-е, испр. и доп. – М.: Книжный дом «ЛИБРОКОМ», 2009. – 328 с.
5. Иванов Д.В. Биогеохимическое образование и окисление биогаза в техногенных грунтах по данным изотопно-химических исследований: автореф. дис. ... канд. г.-м.н. – М., 1998. – 26 с.
6. Николаева С.К., Викторова М.А., Трушина Д.Ю. Опыт оценки загрязнения насыпных грунтов городских территорий по данным инженерно-экологических изысканий // Геоэкология. – 2006. – № 4. – С. 328-336.
7. Огородникова Е.Н., Николаева С.К., Нагорная М.А. Об учете пространственно-временной изменчивости техногенных грунтов при инженерно-геологических и эколого-геологических изысканиях // Сергеевские чтения. Вып.12. Мат-лы годичной сессии РАН. – М.: ГЕОС, 2010. – С. 276-280.
8. Соловьев А.В., Телешева С.Ю. Состав и интенсивность газогенерации биогаза, образующегося на объектах захоронения органических отходов // Сергеевские чтения. Вып.8. Мат-лы годичной сессии РАН. – М.: ГЕОС, 2006. – С. 206-209.

## **ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ РАЙОНА ВОРОБЬЕВЫХ ГОР (МОСКВА, РОССИЯ)**

**Т.А. Барабошкина, Е.Н. Самарин, В.С. Белютина**

МГУ имени М.В. Ломоносова, Россия, г. Москва, Ленинские горы, 1. E-mail: ecolab@mail.ru

Территория Воробьевых гор соответствует Москворецко-Сходненскому ландшафту и относится к урочищу коренного склона долины р. Москвы. В геоморфологическом плане исследуемый участок расположен в границах водораздельного плато Теплостанской цокольной возвышенности и эрозионного склона реки Москвы, с четко выраженными эрозионными формами [5].

Воробьевы горы – продолжение объектов природоохранных структур Западного, Юго-Западного и Центрального административных округов, протянувшихся вдоль правого берега р. Москвы, и одновременно – связующий элемент в природном каркасе юго-западной части Большой Москвы с ландшафтами Подмосковья.

Одной из актуальных задач при изучении территории Воробьевых гор являлся анализ тенденций динамики состояния наземных экосистем под влиянием природных и техногенных факторов.

Территория Воробьевых гор в настоящее время представляет собой лесной массив из широколиственных пород, вытянутый с севера на юг на 4 км, шириной от 80 до 400 м, вдоль правого берега р. Москвы, площадью около 148 га [4, 6].

Конфигурация данной природной территории представляет собой сильно вытянутую полосу, по границам которой проходят городские улицы с интенсивным движением, что является ведущим негативным фактором, осложняющим сохранение ее природных элементов. Согласно постановлению Правительства Москвы от 21 июля 1998 г. № 564, территория заказника входит в состав природного комплекса Москвы, как особо охраняемая природная территория.

Основанием для образования природного заказника явилась особая рекреационная и экологическая ценность данного района в масштабах мегаполиса и обусловленная этим необходимость обеспечения правовой защиты данной территории от урбанизации, как ведущего фактора деградации природных сообществ.

В решении экологических проблем района важное место занимает обеспечение оптимального состояния растительных сообществ, так как именно они выполняют важные функции по регулированию радиационно-теплого режима городской среды, снижению концентрации вредных веществ и пыли в воздухе, уменьшению скорости ветра и определяют комфортные и эстетические условия города.



Цель выполненной работы – оценка влияния на эколого-геологические условия центральной части района Воробьевых гор одной из крупных транспортных автомагистралей города – проспекта Вернадского.

Для достижения поставленной цели решались следующие задачи:

- систематика опубликованных и фондовых данных об эколого-геологических особенностях изучаемой территории на базе учения об экологических функциях литосферы;
- полевые исследования эколого-геологических особенностей территории ключевого участка, расположенного в пределах центральной части природного заказника (ЦПЗ) «Воробьевы горы»;
- эколого-геохимическое картографирование ЦПЗ «Воробьевы горы».

*Ресурс геологического пространства* территории района «Воробьевы горы» уникален для рекреационного использования. В нагорной части заказника, на занятых под спортивный комплекс склонах, вдоль набережной и на некоторых других участках естественный почвенный слой утрачен и заменен искусственными почвами или бесструктурными нарушенными грунтами. Из-за постоянного механического воздействия на эти территории растительный покров угнетен и тем самым блокируется возможность восстановления почв. В результате, наиболее ценные, естественные почвенные ресурсы на территории заказника сохранились в основном на залесенных крутых склонах, а также в межоползневых ложбинах, где они сформировались и длительное время существуют в свойственных им природных условиях.

*Эколого-геодинамические условия* территории предопределены высоким уровнем оползневой опасности, которая является лимитирующим фактором для развития заказника. Общее число выявленных оползней в начале 90-х годов XX века составляло около 300. Территория характеризуется высоким уровнем оползневой опасности – это лимитирующий фактор, который с одной стороны ограничил строительное освоение данной территории, а с другой стороны создал оптимальную модель сохранения биообразия в условиях мегаполиса [3, 4].

В настоящее время подвижки грунта зафиксированы в районе метрополитана, эскалаторной галереи, канатно-кресельного подъемника, эстакады горнолыжного спуска, вблизи Института химической физики им. Н.Н. Семенова. Согласно расчетным данным территории заказника поражена оползнями более чем на 30%, что позволяет охарактеризовать состояние эколого-геологических условий как катастрофическое практически на всей площади. Однако здесь мы наблюдали любопытную инверсию между классами эколого-геологических условий и состоянием экосистем. По литературным данным и натурным наблюдениям самые ценные дендрологические объекты приурочены к днищам оврагов и к стабилизировавшимся телам оползней [6].

Второй доминирующий процесс – овражная эрозия, формирующий линейно-вытянутые полые формы рельефа – овраги, балки и т.д. Заболачивание территории характерно для пониженных частей склона в зоне выхода подземных вод.

Важно отметить и значительную роль плоскостного смыва, который хорошо развит на склонах крутизной более 20° на различных гипсометрических уровнях, обуславливающий наличие склонов без травяного покрова, эрозионных ниш в верхней части склона и размыв корневых систем деревьев. Воробьевы горы относятся к зоне умеренной деградации почв со средним смывом с поверхности 0,7 т/га/год.

Формирование эколого-геологических условий территории Природного Заказника «Воробьевы Горы» обусловлено синергетическим влиянием разноразличных факторов [1, 2]. Однако интересно на примере данной уникальной территории проследить и синхронность протекания геодинамических и социально-экологических процессов.

Интересный факт – закрытие станции метро «Ленинские горы» (ныне «Воробьевы горы») в 1983 году на 19 лет способствовало тому, что центральная часть природного заказника имела низкий уровень рекреационной нагрузки, и в указанный период фиксировалось самовосстановление экосистем района.

*Эколого-геофизические исследования* базировались на основе комплексирования методов синхронно по маршруту с эколого-геохимическими исследованиями. В процессе проведения полевых работ были использованы: 1) дозиметр-радиометр поисковый МКС-РМ1402М; 2) шумомер-анализатор спектра, виброметр портативный ОКТАВА-110А [3, 6].

Среднее значение радиоактивности на территории Воробьевых гор составляет порядка 0,06 мкЗв/час и варьирует от 0,05 до 0,10 мкЗв/час, что ниже по сравнению с рекомендуемыми параметрами.

Максимальные величины уровня вибрации и шума приурочены к пересечению улицы Косыгина и проспекту Вернадского.

*Эколого-геохимические исследования района.* При полевых маршрутах осуществлялось сопряженное опробование почв и растительности. При исследовании содержания элементов в образцах применялся *эмиссионно-спектральный анализ*. Его основой является возможность измерения длины волны и интенсивности излучения, испускаемого атомами, молекулами и ионами вещества в источнике света. Содержание отдельных элементов определяется сравнением интенсивности их линии в спектре.

Анализ проб растительного материала производился *методом атомно-эмиссионного анализа* золы растений на элементы-примеси. Данная методика предназначена для определения в золе растений 19 элементов-примесей: Ва, В, V, Ga, Mn, Cu, Mo, Ni, Pb, Ag, Ti, Cr, Zn, Al, Fe, Ca, Si, Mg, P. Она заключается в испарении анализируемой пробы золы, смешанной с буферной смесью, при вдувании порошков в дугу переменного тока, стабилизированную воздушной струей, и измерении интенсивности излучения визуальным методом. Буферная смесь состоит из карбоната натрия и графитового порошка. Вычисление результатов анализа выполняется с помощью градуировочных графиков, который строят с помощью образцов сравнения – искусственно приготовленных смесей.

*Интерпретация* результатов анализов осуществлялась на основе комплексного синтеза полученных данных, на базе санитарно-гигиенических, биогеохимических и геохимических показателей.

Ассоциации элементов загрязнителей выявленная в пределах изученной площадки представлена следующими элементами: Pb, Ni, Cr, V, Cu, Zn, что соответствует составу поллютанов, типичных для автомагистралей.

В целом, пространственная картина распределения типоморфных элементов-загрязнителей, в пределах центральной части природного заказника лимитируется расстоянием от автомагистралей и сложным рисунком рельефа, существенно трансформированным как при строительстве метрополитана, так и при возведении эскалаторов и автомагистралей.

На современном этапе преобладает аэральный путь миграции токсикантов в компоненты эколого-геологических систем. В пределах изученной территории преобладает класс условно-удовлетворительного состояния эколого-геохимических условий.

Таким образом, в пределах зоны загрязнения почв необходимо проведение рекультивационных работ. Для оптимизации работы заказника важно экранирование полосы автотрассы вдоль Проспекта Вернадского, в зоне его пересечения территории природного заказника.

Предлагаемая радикальная мера позволит решить сразу несколько взаимосвязанных экологических проблем:

- (1) сокращение миграционных потоков поллютантов на территорию заказника, прилегающую к указанной автотрассе;
- (2) снижение уровня шумового воздействия на орнитофауну и других представителей живых организмов, обитающих в пределах уникального объекта «Воробьевы горы»;
- (3) оптимизация условий отдыха населения и проведение экскурсий для школьников в пределах экологической тропы.

## **Выводы**

1. На современном этапе лимитирующими факторами, влияющими на устойчивость развития экосистем района «Воробьевы горы» имеет совокупность (а) природных и (б) техногенных факторов. Установлена доминирующая роль (1) природных факторов в формировании эколого-геодинамических условий и их эпизодической активизации под влиянием экстремальной техногенной нагрузки и (2) ведущая роль техногенных факторов в модели формирования эколого-геохимических и эколого-геофизических условий.

2. Функциональная организация изученной территории исторически регламентирована геодинамическими факторами. Данный аспект способствовал максимальному сохранению биоразнообразия в пределах Воробьевых гор, не смотря на его местоположение в границах мегаполиса. Места произрастания старовозрастных деревьев, ценных природных массивов широколиственного леса органически связаны с днищами оврагов (зонами максималь-

ной эрозионной расчлененности). По сути неудобья – резервация для видов, занесенных в Красную книгу в пределах городской агломерации.

3. Воробьевые горы – важный элемент в структуре городской модели особо охраняемых природных территорий – стабилизирующего фактора устойчивого развития урбанизированных территорий.

*Работа выполнена при частичной поддержке гранта РФФИ № 15-05-01788А.*

#### Литература

1. Базарский О.В., Косинова И.И. О единой метрике комплексного эколого-геологического пространства. Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Геология. – 2005. – № 2. – С. 168-172.

2. Голубева Е.И., Король Т.О., Топорина В.А. Культурный ландшафт в географии: различные подходы к объекту исследования // Academia. Архитектура и строительство. – 2013. – № 1. – С. 82-87.

3. Изменение эколого-геологических условий природного заказника Воробьевы Горы под влиянием Московской агломерации / Т.А. Барабошкина, В.Н. Сеземан, Е.Н. Самарин и др. // Месторождения природного и техногенного сырья: геология, геохимия, геохимические и геофизические методы поисков, экологическая геология. – г. Воронеж: Воронежпечать, 2008. – С. 395-397.

4. Лукашов А.А. Рельеф и геологическое строение Воробьевых гор с учётом новейших данных // Ломоносовские чтения. – М.: Географический ф-т МГУ им. М.В. Ломоносова, 2007 г.

5. Москва. Геология. Город / Под ред. В.И. Осипова, О.П. Медведева. – М.: АО «Московские учебники и Картолитография», 1997. – С. 1-250.

6. Самсонова С.Ю., Белютина В.С., Барабошкина Т.А., Самарин Е.Н., Огородникова Е.Н. Эколого-геоморфологический анализ в обосновании управления городскими особо охраняемыми природными территориями // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия «Экология и безопасность жизнедеятельности» – 2013. – № 2. – С. 93-99.

7. Трофимов В.Т., Зилинг Д.Г., Барабошкина Т.А. и др. Трансформация экологических функций литосферы в эпоху техногенеза / Под ред. В.Т. Трофимова. – М.: Ноосфера, 2006. – 720 с.

## О ГЕОДИНАМИКЕ УФИМСКОГО «ПОЛУОСТРОВА»

**В.И. Барышников, В.Г. Камалов**

Башкирский государственный университет, ООО «Архстройизыскания»,  
Коммунистическая ул., 19, Уфа, Респ. Башкортостан, 450076. E-mail: bvialpgeo@yandex.ru

Город Уфа, расположен на останце антиклинальной складки. Омываемый с трех сторон реками Белая, Уфа и Дёма, останец является юго-восточным продолжением Старопетровского тектонического вала, спускающегося в Камско-Бельскую депрессию с Уфимского свода [7]. В геологической литературе останец получил название Уфимский «полуостров».

Город с начала своего основания столкнулся с трудностью застройки «полуострова», связанной с плотной сетью расчлененности хемогенного массива полуострова. Со времен Палласа система распада полуострова объяснялась высокой активностью процессов карстования гипсоносных пестроцветных пород пермского возраста и развитием овражной сети. Большого негативного влияния на город эти процессы не оказывали, так как постройки были, в основном, деревянные и мало (одно-двух) этажные за небольшим исключением.

В настоящее время жилые дома стали многоэтажными (25-30 этажей) и сразу же проявилась негативная зависимость целостности построек от рельефа площадки и динамики геологических процессов. Возник вопрос: как могла развиться глубоко врезанная в коренной массив овражная сеть при малой мощности рыхлого неоген-четвертичного покрова, лежащего на скальном основании гипсоносных пермских ярусов? Поиск ответа потребовал изучение причин развития овражного рельефа и связи карстовых форм с рельефообразующим комплексом горных пород, несущих городскую инфраструктуру.

Медленно и долговременно действующие вековые движения земной коры не принимались во внимание как, якобы не имеющие существенного влияния на структуру «полуострова». В лучшем случае коротко говорилось о периодах и циклах региональной тектоники, вовлекшей в движение массив Уфимского «полуострова».

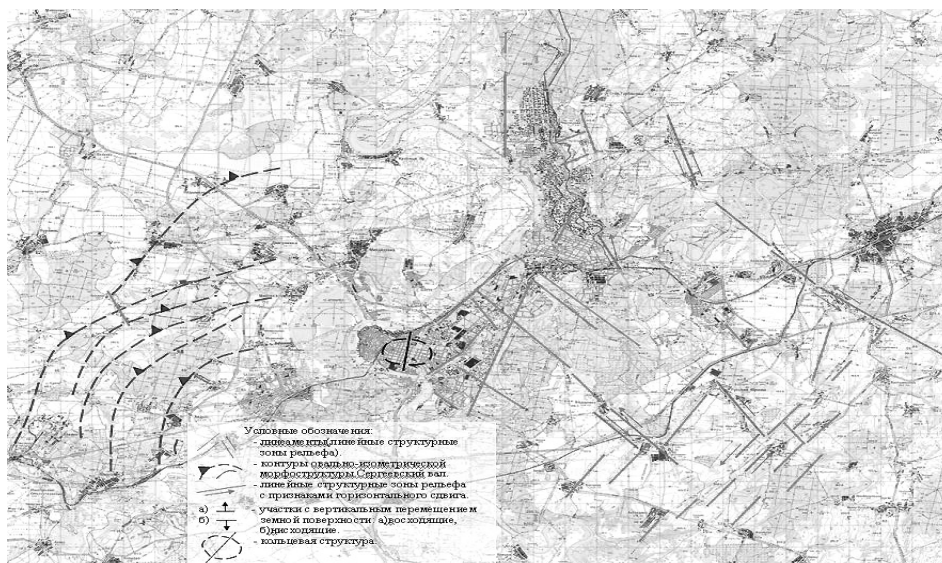
Исследования полуострова, (Вахрушев, 1940, Преображенский, 1948, Рождественский, 1971), выявили в регионе признаки молодой тектоники, перестроившей за палеоген-четвертичное время древний (палеозойский) план. Отмечалось, что район «полуострова» испытывал вертикально восходящие движения земной коры. Суммарное воздымание новейших поднятий «полуострова» за неоген-четвертичный период составило до 200 м [7]. По результатам исследований, проведенных ИГ УНЦ РАН, Уфимский «полуостров» отнесен к участку наиболее интенсивных проявлений современных поднятий [5]. Данные высокоточного нивелирования 1947 года показали воздымание в 1,5-2,0 мм/г. Повторная съемка через 50 лет отметила проседание поверхности полуострова на те же 1,5-2,0 мм/г [9].

В 40-х годах прошлого века уфимский геолог О.И. Ожиганова предположила по данным бурения под долиной р. Сутолока наличие нарушения грабенообразного типа в иреньском горизонте кунгура.

Масштабные вскрышные работы под высотные здания обнажив гипсоносные толщи уфимского яруса, открыли разнообразие тектонических форм шешминского горизонта.

Структурно-геоморфологический анализ рельефа полуострова по материалам космодотосъемки выявил сетку блокового дробления «полуострова» (рис. 1).

Полевые наблюдения с наземной фотосъемкой выявили признаки современной активности блоков полуострова. Полученные данные позволили выделить участки и формы пликативной, разрывной, трещинной тектоники [2, 3, 4].



**Рис. 1. Схема дробления «полуострова» и пограничных районов (В.И. Барышников, 2012)**

В открытом, естественно обнаженном виде, часть форм наблюдается по всему периметру «полуострова» от склонов правобережья р.Белой до правобережных бортовых склонов долины р.Уфы. Основным структурным элементом склонов являются блоки оседания, отделенные от склонов сбросами, прерывисто прослеживающимися параллельно склонам.

Наблюдения в подземных штольнях выявили проседание массива (рис. 2).



**Рис. 2. Придавленный крепеж в шахте под микрорайоном Зелёная роща**

Сами блоки разбиты более мелкими сбросами, что придает склонам ступенчатый, террасоподобный облик.

Блоки разделены между собой глубоко проникающими в коренной массив полуострова тектоническими трещинами, разработанными эрозионными процессами до размеров мелких долин. Практически все трещины по днищу и бортам заполнены рыхлым делювиально-пролювиальным субстратом – смесью глинистого, песчаного и мелко-среднеобломочного материала. Наиболее крупные тектонические разрывы, проникшие внутрь массива, освоены некрупными речками и ручьями (реки Шугуровка и Сутолока), долины которых в настоящее время определяются как эрозионно-аккумулятивные, вложенные в древнее грабенообразное ложе кунгурского яруса. Не фиксируемые ранее мелкие формы тектонических дислокаций внутри массива (бурение практически не улавливало их), наглядно проявились в стенках котлованов. Стало большим откровением их широкое типовое разнообразие. От перемятых слоев терригенно-карбонатных гипсоносных пород шешминского горизонта, до пликативных и разрывных нарушений, дислоцировавших пластовое залегание соликамских, палеогеновых, неогеновых и четвертичных горизонтов, пачек, прослоев в олигоцен-четвертичный период. Пликативные образования выявляются и в нижней части шешминского горизонта и в нелитифицированной толще неоген-четвертичного субстрата в виде малоамплитудных складок антиклинального типа. Разрывные нарушения представлены широким, до 24 морфологических типов, диапазоном дробления пермских и палеоген-неогенных толщ, слабо проявляясь в четвертичном субстрате. Выделяются: взбросо-сбросы; взбросо-надвиги; будины; трещины бортового отпора; залеченные трещины; мелкие проседания грабенообразного типа; мелкие горстоподобные структуры; внутрипластовые разрывы; внутрискладчатые разрывы; палеоканалы ранее существовавших перетоков в карстующихся пачках, ныне сухие и заполненные обломочным материалом и др. формы. Неожиданным стало выявление признаков горизонтальных течений кровельных пластов шешминского горизонта уфимского яруса. Движения проявились двояко: в виде лежащих складок, внедрившихся или в толщу неоген-четвертичного субстрата или в гипсово-доломитовую пачку уфимского яруса и в виде встречного падения частей разорванных слоев в структурных планах шешминского горизонта и неоген-четвертичного покрова. Открылось и несогласное (наложенное) соотношение структурных планов кунгурского яруса, соликамского, шешминского горизонтов и палеоген-четвертичного комплекса.

Еще одним тектоническим фактором, принимающим участие в перестройке структурных планов «полуострова», являются землетрясения. По данным [1] вокруг полуострова зафиксировано несколько очагов местных тектонических землетрясений малой балльности, гипоцентр которых приурочен к тектоническим швам рифейского комплекса. Общая сейсмичность полуострова оценивается в 2-3 нанометра [6].

Часть нарушений возникла в результате образования гипсовых штоков в кунгурском ярусе при гидратации ангидрита, сопровождаясь вспучиванием

и увеличением объема. Гипсовые диапиры выявлены в стенках блоков южного склона «полуострова», где они, открываясь, разрывают облегающие напластования соликамского яруса [2]. Формы т.н. атектоники фиксируются по всему «полуострову» в виде воронок, провалов, замкнутых коротких долин. Появление этих форм по данным Смирнова А.И [8] фиксируется в среднем «один раз в два года».

Напрашивается вывод о причинах активного развития овражной сети и карстовых процессов: действие парагенетического ряда тектонических факторов, приведшее к разделению массива на блоки и распаду единого поля напряжения, активизировало гипсово-соляную тектонику. Блоки приобрели дифференцированную плотность и различную степень дробления. Как следствие, это привело к образованию пустот в массиве «полуострова» и постоянной перестройке системы каналов перетока подземных вод, что увеличивало объем пустотного пространства и активизировало процесс карстования в каждую фазу тектогенеза. Подобные пустоты выявляются и в шешминских пестроцветах уфимского яруса. Результатом молодых движений стало нарушение равновесия в залегании хомогенных толщ слагающих Уфимский «полуостров». Восходящие движения земной коры региона и снижения базиса эрозии (р.Белая), создали благоприятные условия для вертикально-нисходящих перетоков инфильтрационных и подземных вод массива. Как следствие произошло снижение гипсометрического уровня зеркала подземных вод. В районе местечка «Воронки» находится известная складка, описанная как классическая еще в немецкой геологической литературе 19-го века, образовавшаяся в результате гравитационного проседания пластовых гипсов в сухой палеокарстовый канал перетока подземных вод соликамского горизонта. Сухие каналы прежних водотоков наблюдаются в соликамском и шешминском горизонтах уфимского яруса.

Многолетняя разработка нефтяных месторождений, расположенных вокруг «полуострова» и протечки подземных городских коммуникаций жилищно-промышленной инфраструктуры также постоянно увеличивают пустотность массива полуострова, что приводит к появлению техногенных землетрясений. Действие техногенных и тектонических землетрясений производит эффект «встряски» массива «полуострова», что ведет к перераспределению плотности в залегании горных пород, расширению сети трещиноватости и, как следствие, ослаблению рельефообразующего комплекса, несущего инфраструктуру города.

Выводы: на фоне региональных вековых движений молодой тектогенез создал в структурных планах массива «полуострова» сложный каркас дробления. Суммарный эффект природных и техногенных факторов, провоцируя разрядку тектонических напряжений, последовательно и постепенно дробил внутреннее пространство карстующихся толщ. Подземные и поверхностные воды меняя направленность своих потоков, постепенно увеличивали пустотное пространство массива. Образование пустот привело к постоянному перераспределению плотности массива «полуострова», его подвижности и, как следствие, к ослаблению прочности несущей оболочки и частому появлению



в рельефе провалов, воронок, проседаний грунтов, объединенных овражной сетью, которая распространяясь, подчинялась системе тектонического дробления массива.

#### Литература

1. *Андреев С.С.* О сейсмической характеристике Русской платформы. Изв. АН СССР, серия геофиз., №12, 1956.
2. *Барышников В.И.* Геология города Уфы и проблемы градостроительства. Мат. 9-й МН-ПК «ГЕОРИСК-2015», Т.1. Москва: РУДН, 2015. с. 103-108.
3. *Барышников В.И., Камалов В.Г.* Тектоника и карст г. Уфы. МВ сборник НТ «Гидрогеология и карстование», вып. 19. Пермь-Оренбург: ПГНИУ, 2013. С. 273-279.
4. *Барышников В.И., Камалов В.Г.* Структурно-геоморфологическая карта как основа районирования Уфимского «полуострова» по инженерно-геологическим условиям. Мат. Международного симпозиума «Экологическая безопасность и строительство в карстовых районах». Пермь: ПГНИУ, 2015. С. 66-70.
5. *Журенко Ю.Е.* Основные итоги изучения голоценовых и современных тектонических движений Западной Башкирии. Тр. Уфимского совещания по геоморфологии и неотектонике Волго-Уральской области и Южного Урала. Уфа: БФАН АН СССР, ГГИ, 1960. С. 245-256
6. *Казанцев Ю.В.* Первая сейсмическая карта Башкортостана. Известия Отделения наук о Земле и природных ресурсов. Уфа: АН РБ, 2007. С. 3-12
7. *Рождественский А.П.* Новейшая тектоника и развитие рельефа Южного Приуралья. М.: Наука, 1971. – С. 303.
8. *Смирнов А.И.* Опасные геологические процессы Южного Урала и Предуралья. Мат. 9-й МН-ПК «ГЕОРИСК-2015». Москва: РУДН, 2015. С. 380-386.
9. *Турикешев Г.Т.-Г., Данукалова Г.А.* О современных движениях земной коры и их связи с хозяйственной деятельностью человека в пределах Южного Предуралья. Материалы VII Межрегиональной НПК «Геология, полезные ископаемые и проблемы геоэкологии Башкортостана, Урала и сопредельных территорий. Уфа: ИГ УНЦ РАН, 2008. С. 105-107.

## ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ РАЙОНИРОВАНИЕ ПОБЕРЕЖИЙ САРАТОВСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА

**А.В. Белобородов**

ООО «Научно-производственное объединение «Омега»,  
614016, г. Пермь, ул. Камчатовская, 20-99. E-mail: beloborodov@npo-omega.ru

Саратовское водохранилище – крупный равнинный водоем долинного типа (при НПУ (28,0 м БС) площадь зеркала – 1728,5 км<sup>2</sup>, объем – 10,04 км<sup>3</sup>, длина – 328,0 км, средняя ширина – 5,1 км, максимальная – 14,5 км) [1], расположенный на территории Самарской, Ульяновской и Саратовской областей (от Жигулевской ГЭС в районе городов Жигулевск и Тольятти до Саратовской ГЭС в г. Балаково). Водохранилище осуществляет ограниченное суточное и недельное регулирование стока.

По своему гидрографическому облику Саратовское водохранилище относится к типу одноплесовых. Водоем является сложным в морфологическом и морфометрическом отношении. Обусловлено это его плановой конфигурацией, характеризующейся чередованием больших озеровидных расширений со значительными по длине сужениями, изгибающимися в некоторых случаях под углом практически 90°, наличием обширных мелководных зон в центральной и левобережной части водохранилища.

**Актуальность исследований.** Расположение Саратовского водохранилища в звене водоемов Волжско-Камского каскада обусловило то, что в плане разносторонних исследований оно осталось «в тени» крупнейших «собратьев» – Куйбышевского и Волгоградского водохранилищ. Публикаций, посвященных геодинамике побережий Саратовского водохранилища крайне мало (практически нет). И это при том, что на его берегах располагается городская агломерация г. Самара, города Сызрань, Новокуйбышевск, Октябрьск, Хвалынский, Чапаевск, Балаково, объекты нефтеперерабатывающей и газовой промышленности, трубопроводного транспорта и хранения нефти и газа, крупный железнодорожный мост (длина 1436 м), Балаковская АЭС. Интенсивно используются и осваиваются прибрежные территории для жилищного и рекреационного строительства, объектов сельского хозяйства и рыбной промышленности.

Интенсивное промышленное развитие прибрежной зоны и связанное с ним глобальное освоение территорий привело к активизации геологических процессов, меняющих сложившуюся геологическую обстановку и вызывающих различные деформации, а подчас и полное разрушение инженерных сооружений.

Все это определяет необходимость комплексного изучения и оценки инженерно-геологических условий побережий Саратовского водохранилища. Для этих решения этих задач наиболее удобным подходом является выполнение инженерно-геологического районирования побережий.

**Используемые материалы и методы.** В качестве основы для проведения районирования были использованы материалы полевых исследований геологических процессов в границах прибрежных территорий на ключевых участках и створах наблюдений, сбор и анализ архивной информации [5], дешифрирование космоснимков высокого разрешения для оценки масштабов и интенсивности переформирования прибрежных уступов. Работа выполнялась на единой ГИС-основе с применением программы ArcGIS 10.3.

**Особенности инженерно-геологических условий побережий.** Отличительной особенностью побережий Саратовского водохранилища является разнообразие стратиграфических литолого-генетических типов пород, слагающих побережья (полускальные и песчано-глинистые разности каменноугольного, юрского, мелового, неогенового и четвертичного возраста). Различные физико-химические и механические свойства пород разного возраста обуславливают и различные типы процессов переформирования побережий. Кроме того, резко различны геоморфологические условия правого и левого бережья водохранилища. Характерной особенностью морфоструктурного плана

правого берега является крупная широтная ступенчатость рельефа, в которой выделяются верхняя ступень с абсолютными высотами 130-210 м и две нижние ступени с высотами 90-120 и 50-80 м. Для низкого левого берега характерно наличие фрагментарных участков разновозрастных террас р.Волга.

**Инженерно-геологические процессы.** К основным процессам, определяющим облик береговых уступов Саратовского водохранилища, относятся: аккумуляция наносов, волновая абразия, подтопление, оползни и овражная эрозия. Ограниченное распространение в основном на водораздельных пространствах имеют карстовые процессы в пределах Самарской Луки и в районе устья р.Сок, при этом на их активизацию влияют колебания уровней подземных вод, связанные с подпором подземных горизонтов водными массами водохранилища.

**Районирование побережий и результаты исследований.** Инженерно-геологическое районирование побережий водохранилищ предполагает последовательный и одновременный учет инженерно-геологических условий побережий и основных гидрометеорологических факторов их переформирования. Исходя из задач работы, для проведения районирования побережий Саратовского водохранилища целесообразно было применить генетико-морфологическое типологическое районирование [2]. Масштаб работ (1: 300000) был выбран исходя из наличия и полноты фактического материала.

Типологическое районирование заключается в выделении определенных типов территориальных единиц того или иного порядка на основе учета наиболее общих и существенных признаков, свойственных им. Территориальные единицы, обособленные при типологическом районировании, могут существовать в виде разрозненных участков.

И.В. Попов [3] впервые обосновал необходимость генетического подхода к региональной оценке крупных территорий, основанного на анализе геологических формаций. Им сформулирована принципиальная схема последовательного типологического районирования. В основе этой схемы лежит таксономическая система соподчиненных территориальных единиц, для выделения которых последовательно используется ряд признаков: регионов – структурно-тектонический; областей – геоморфологический; районов – стратиграфо-генетический; участков – по гидрогеологическим условиям и проявлению геодинамических процессов. Части района, различные по гидрогеологическим условиям и наличию на них проявлений современных и древних экзогенных процессов, могут выделяться в подрайоны. Типологическое районирование водохранилищ предусматривает последовательный анализ геологических, геоморфологических, гидрогеологических, геодинамических факторов с обязательным учетом фактической величины переработки берегов различного генетического типа.

Поэтому основной задачей, решаемой при этом виде районирования, является обособление элементарных таксономических единиц прибрежной территории, в пределах которых все факторы переработки берегов изменяются в небольших пределах. Решение этой задачи возможно при совмещении

двух независимых видов районирования: гидрологического – чаши водохранилища и геодинамического – прибрежных территорий [4].

Основными гидрометеорологическими факторами, влияющими на интенсивность переформирования берегов и изменяющимися по длине водохранилища, являются уровень режим, энергия волнения и скорости течения. В этом отношении на Саратовском водохранилище выделено три гидрологических зоны – нижняя (озерная), средняя (переходная) и верхняя (речная).

В качестве наиболее крупных таксонов при геодинамическом районировании прибрежной территории Саратовского водохранилища выделены районы. Они обособлены по стратиграфическим литолого-генетическим комплексам пород, имеющим примерно одинаковую степень литификации и сравнительно близкие показатели свойств.

На побережье Саратовского водохранилища по этому принципу выделено пять районов (рис. 1, 2), представленных комплексами четвертичных, неогеновых, юрских, меловых и каменноугольных отложений, участвующих в строении береговых обнажений. Для обозначения районов использованы римские цифры (I-V).

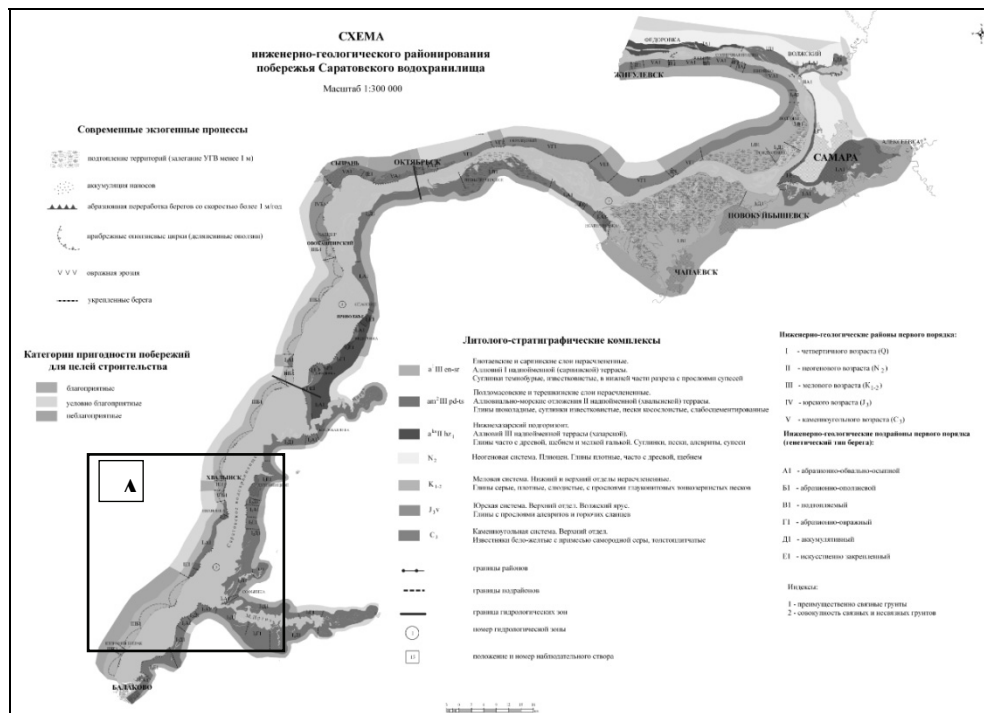
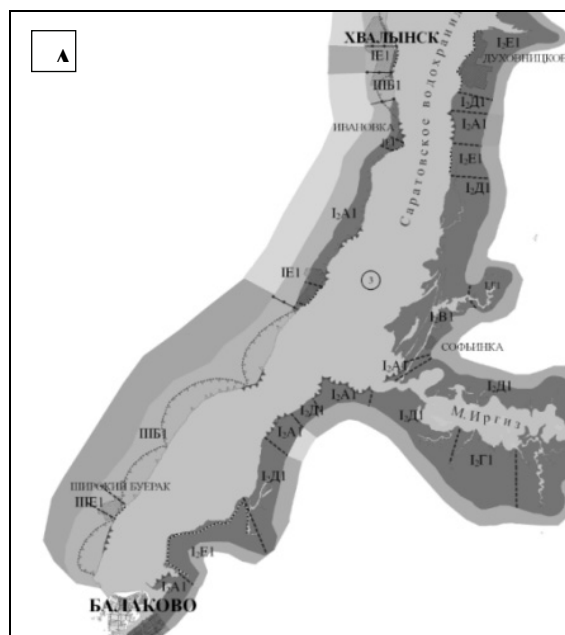


Рис. 1. Схема инженерно-геологического районирования побережья Саратовского водохранилища



**Рис. 2. Фрагмент (А) схемы инженерно-геологического районирования**

В качестве таксонов районирования рангом ниже выделены подрайоны. В зоне непосредственного влияния водохранилища критерием для выделения подрайонов послужил генетический тип перерабатываемого берега (склона). В предлагаемой схеме районирования при выделении подрайонов обособлено 6 генетических типов перерабатываемых берегов (абразионный обвальнo-осыпной, абразионный оползневой, подтопляемый, абразионно-овражный, аккумулятивный и искусственно укрепленный).

Искусственно укрепленные берега выделены в отдельный подрайон, т.к. их суммарная протяженность (более 100 км) значительна в общей длине береговой линии, особенно в районе Балаково, Духовницкого, Октябрьска, Самары и со временем неуклонно возрастает.

Подрайоны обозначались прописными буквами алфавита с подстрочными арабскими цифрами, обозначающими их порядок (А1-Е1).

Представленная схема инженерно-геологического районирования может служить основой для планирования комплексного освоения прибрежных территорий, а также применяться в системе регионального мониторинга экзогенных геологических процессов.

### Литература

1. Белобородов А.В. Обобщение новых морфометрических характеристик ряда водохранилищ по результатам исследований 2007-2012 гг. // Современные проблемы водохранилищ и их водосборов. Тр. Межд. научн.-практ. конф. Перм. гос. ун-т. Т. I. Пермь, 2015. С. 7-12.
2. Трофимов В.Т., Красилова Н.С. Инженерно-геологические карты: учеб. пособие. – М.: КДУ, 2007. – 137 с.
3. Попов И.В. Принцип инженерно-геологического картирования и районирования территорий // Известия ВУЗов. Геология и разведка. – М., 1961. – №8. – С. 91-99.
4. Рагозин А.Л. Методика составления крупномасштабных карт прогноза переработки берегов водохранилищ // Комплексные инженерно-геологические исследования для промышленного и гражданского строительства. – М., 1984. – С. 7-13.
5. Результаты обследования береговой полосы Саратовского водохранилища в 2003 г. / Отчет ФГУП «Волгагеология», Саратовская ГГЭ; отв. исп. В.П. Иовлев. – Саратов, 2003. – 184 с.

## ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ РЕКОНСТРУКЦИИ ЦЕХА ХВОСТОВОГО ХОЗЯЙСТВА ЛЕБЕДИНСКОГО ГОРНО-ОБОГАТИТЕЛЬНОГО КОМБИНАТА (КУРСКАЯ ОБЛАСТЬ)

**В.Л. Бочаров, Ю.М. Зинюков**

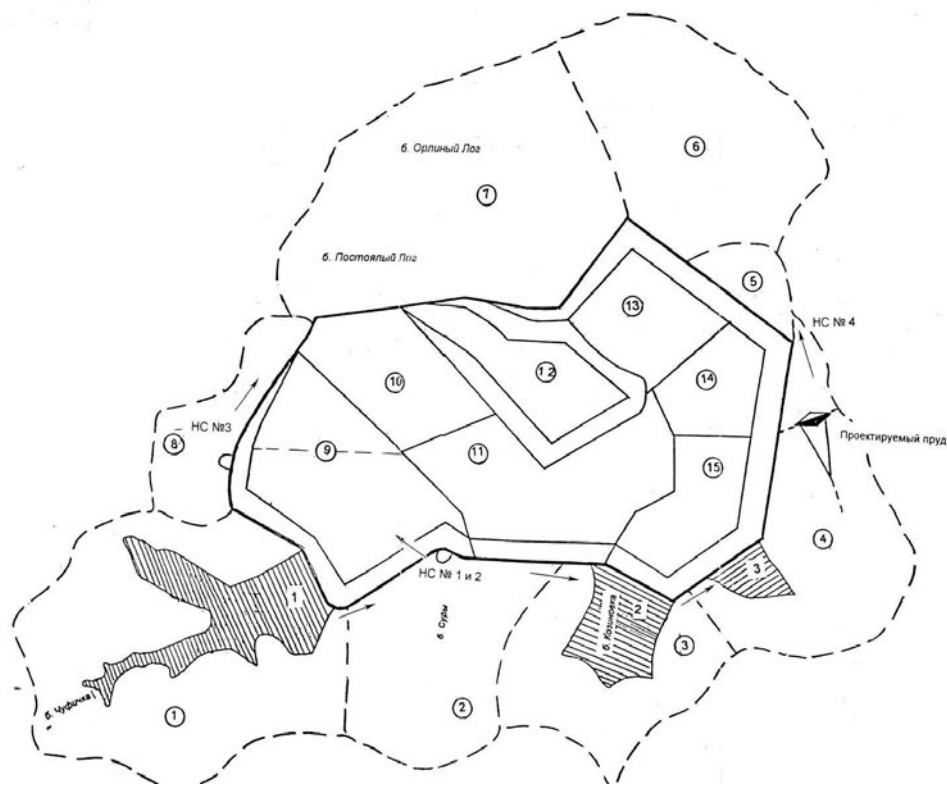
Воронежский государственный университет, 394006, г. Воронеж, Университетская пл. 1.  
E-mail: gidrogeol@mail.ru

Лебединский горно-обогатительный комбинат (ЛГОК) является крупнейшим горнорудным предприятием мира. Его производительность к началу 2015 г. достигла 52 млн. т железной руды. Гидротехнические сооружения комбината имеют в своем составе хвостохранилище (емкость для складирования хвостов обогащения), а также пруды осветленной воды, устроенные в балках Могильная Лощина, Орлиный Лог и Безымянная (см. рис.).

В основу работы положены материалы экологической экспертизы, осуществленные авторами по проекту «Лебединский ГОК. Цех хвостового участка. Ограждения и разделительные гидротехнические сооружения хвостохранилища до отметки 250,0 м». Реконструкция гидротехнических сооружений позволит увеличить емкость хвостохранилища с учетом гидроотвалов до 900 млн. м<sup>3</sup> и обеспечить его безопасную эксплуатацию и минимизацию вредного воздействия на грунты и подземные воды на последующее десятилетие.

Территория горнорудного предприятия в гидрогеологическом отношении приурочена к северо-восточной окраине Донецко-Донского артезианского бассейна, примыкающего к юго-западной склоновой части Воронежского кристаллического массива. Подземные воды содержатся в отложениях

осадочной толщ и в зоне трещиноватости докембрийских гранито-гнейсовых пород.



**Рис. Схема хвостохранилища Лебединского ГОКа, номера водосборных и рекультивируемых площадей**

Гидрогеологический разрез района ЛКОГа характеризуется наличием трех структурно-гидрогеологических этажей – верхнего, среднего и нижнего [1, 4]. Верхний этаж, сложенный рыхлыми отложениями, представлен водоносными горизонтами четвертичного, неогенового и палеогенового возрастов, заключающими поровые, порово-пластовые, преимущественно безнапорные воды. Средний этаж образован водоносными горизонтами меловых, юрских, каменноугольных и девонских отложений. Нижний этаж включает напорные воды трещиноватых кристаллических архейско-протерозойских пород. Наибольший интерес представляет повсеместно распространенный первый от поверхности единый неоген-четвертичный комплекс, приуроченный к аллювиальным, флювиогляциальным и ледниковым отложениям. Он является основным эксплуатационным для целей водоснабжения крупных промышленных предприятий и населения городов Старого Оскола и Губкина.

Строительство и эксплуатация хвостохранилища Лебединского ГОКа привели к существенному нарушению гидродинамического режима подземных вод на территории хвостохранилища и прилегающей территории. Интенсивные фильтрационные потери из хвостохранилища на первоначальном этапе намыва с 1974 года по 1986 год создали значительный подъем уровней подземных вод. Наивысших абсолютных отметок достигли уровни непосредственно в районе чаши хвостохранилища. По мере удаления от центральной части накопителя, объем фильтрационных утечек снижался, повышение уровней подземных вод становилось незначительным, и уровни фиксировались на более низких абсолютных отметках. В результате был сформирован гидрогеологический купол подземных вод.

По мере накопления хвостов и использование в технологии намыва послойной, через каждые 4-5 м по высоте, рекультивации отсеков суглинком, образовался экран из уплотненных, тонкодисперсных хвостов с прослоями водонепроницаемых суглинков. Созданный экран значительно снизил интенсивность фильтрации технических вод. Питание водоносных горизонтов сократилось, что привело к увеличению разрыва между горизонтом воды в хвостохранилище и уровнем подземных вод. С 1986 по 1990 гг. установился режим стабилизации, который вскоре сменился систематической сработкой уровней подземных вод, в результате чего наступил период растекания купола. Существующая ранее угроза подтопления прилегающих к хвостохранилищу территорий отступила.

В последние годы, благодаря осуществляемым Лебединским ГОКом мероприятиям, негативное воздействие хвостохранилища на участок «Ямская степь» заповедника «Белогорье» снизилось и стабилизировалось. Средние содержания большинства микроэлементов в почвах и грунтах Ямской степи близки к кларковым либо региональным фоновым значениям. Однако содержания Pb, Cd и Sn превышают как кларковые, так и фоновые значения.

Установлено повсеместное подщелачивание снежного покрова относительно фона на 0,3-1,5 единицы. Наиболее интенсивная техногенная трансформация основных физико-химических свойств снежного покрова характерна для территории в непосредственной близости от Лебединского ГОКа. Превышения относительно фоновых концентраций отмечены для Cd, S, Ca, Sr, Cs, Mg, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Ag. Основными источниками поллютантов в окружающую среду являются выбросы Лебединского ГОКа и других промышленных предприятий Губкинского-Старооскольской агломерации, а также автотранспорта. Суммарный показатель интегральной оценки интенсивности техногенного воздействия на исследуемой территории по мере удаления от Лебединского ГОКа постепенно снижается. Следует отметить, что установленные уровни соответствуют неопасной экологической ситуации [2].

Загрязнение почв и грунтов нефтепродуктами практически отсутствует, так как фактическое содержание нефтепродуктов, в том числе и бенз(а)пирена, находится на уровне фонового значения. Почвы и грунты относятся к категории незасоленных по содержанию хлоридов и сульфатов, что не оказывает существенного влияния на нормальное развитие растений. Со-



держание нитратов в почвах и грунтах изменяется от 6,8 мг/кг до 137,6 мг/кг при существующем ПДК для этих азотных соединений в 130,0 мг/кг. Незначительное отклонение, скорее всего, объясняется проведением мероприятий по снижению степени пыления хвостохранилища и заключающихся в поливе ограждающих и разделительных дамб раствором, содержащим полиакриламид.

По данным гидрогеологических исследований уровни грунтовых вод в теле плотины располагаются ниже расчетного предельно допустимого положения. Оплывин в откосах дамб и головной плотины, выходов фильтрационных вод на низовых откосах дамб не наблюдается. В пределах хвостохранилища произошел незначительный подъем купола растекания и некоторое смещение его в южном направлении.

Основными путями фильтрации из хвостохранилища следует считать участки открытого (обнаженного) мела в основании, отличающиеся повышенной трещиноватостью, а соответственно, и высокой водопроницаемостью. По данным проекта наиболее водопроницаемые зоны в меловых породах были обнаружены в районе балки Суры на границы участка заповедника «Ямская степь» в зоне примыкания плотины хвостохранилища к коренному склону. Выходы фильтрационного потока в виде грифонов по трещинам в меловых породах, слагающих дно и нижние участки склонов балки Суры в нижнем бьефе плотины, наблюдаются и в настоящее время. Фильтрационный расход в балку Суры, по данным работы размещенной здесь насосной станции, постоянный и составляет 24000 м<sup>3</sup>/сут. С этим следует связывать и подтопление прилегающих к хвостохранилищу территории участка заповедника «Ямская степь», где произошел подъем уровня грунтовых вод, начиная с 1972 года, на 20 – 25 м (абсолютные отметки 160 – 165 м) в сравнении с естественными (ненарушенными) условиями залегания уровня (абсолютная отметка 140 м). Общая площадь подтопленного участка достигает 10 – 12 км<sup>2</sup>. Фильтрация воды из водохранилища и подтопление заповедника требует проведения на этом участке специальных противофильтрационных мероприятий, организации стационарных наблюдений за уровнем подземных вод различных горизонтов на прилегающей территории.

Согласно прогнозу, гидродинамический режим подземных вод практически не изменится и при заполнении хвостохранилища до абсолютной отметки 250 м. Некоторые изменения возможны лишь на территории, примыкающей к хвостохранилищу, где за счет фильтрационных потерь возможно образование водоносного горизонта в четвертичных отложениях [2].

Освоение Лебединского месторождения железных руд отрицательно повлияло на подземные воды района, что выражается в изменении химического состава природных вод в результате инфильтрации техногенных вод из хвостохранилища, гидроотвалов, отстойников [3].

По результатам химических анализов поступление техногенных вод в водоносный горизонт из гидроотвала «Березовый Лог» хвостохранилища ЛГОКа привело к изменению химического состава подземных вод: увеличилась общая минерализация с 0,2 – 0,3 до 0,6 – 0,8 г/дм<sup>3</sup>, увеличилось со-

держание сульфатов с 15 – 30 до 125 – 145 мг/дм<sup>3</sup>; хлоридов с 10 – 15 до 80 – 95 мг/дм<sup>3</sup>; натрия с 10 – 12 до 60 – 80 мг/дм<sup>3</sup>; кальция с 18 – 20 до 80 – 100 мг/дм<sup>3</sup>. Кроме того, в некоторых пробах обнаружено повышенное содержание (превышающее ПДК) вредных микрокомпонентов, таких как бериллий, фтор, кадмий. Периодически в подземных водах обнаруживается железо, соединения азота и нефтепродукты в количестве, превышающей требования нормативов.

Подземные воды меловых отложений в пределах изучаемой территории по химическому составу встречены двух типов: сульфатно-гидрокарбонатные натриево-кальциевые и гидрокарбонатные натриево-кальциевые. Воды первого типа распространены на территории, примыкающей к хвостохранилищу за головной плотиной и в балке Сура; в воде периодически наблюдается превышение ПДК по железу (до 0,45 мг/дм<sup>3</sup>). Второй тип воды распространен на территории заповедника «Ямская степь»; химический состав воды близок к фоновому, что свидетельствует об ограниченном влиянии хвостохранилища на качественный состав подземных вод в южном направлении.

Процесс заполнения хвостохранилища и аккумуляция хвостов постоянно продолжается, в связи с чем рекомендуется вести стационарные наблюдения за развитием современных физико-геологических процессов, протекающих в его пределах и на прилегающей территории. Вместе с тем увеличение оградительной дамбы хвостохранилища на отметки, превышающей 250 м, нецелесообразно.

#### Литература

1. Бочаров В.Л. Эколого-гидрогеологические условия территории КМА / В.Л. Бочаров, А.В. Круговых // Тр. IX Междунар. науч.-практ. конф. – Воронеж: Изд-во РЦ «Менеджер», 2006. – С. 71-76.
2. Бочаров В.Л. Эколого-гидрогеологическая характеристика бассейна Верхнего Оскола (КМА) / В.Л. Бочаров, А.В. Круговых, Л.Н. Строгонова // Проблемы гидрогеологии, инженерной геологии и экологической геологии. Сборник трудов. – Ростов на Дону: Южный федер. ун-т, 2008. – С. 158-165.
3. Бочаров В.Л. Влияние гидротехнических сооружений Лебединского горно-обогатительного комбината на подземных воды участка «Ямская степь» заповедника «Белогорье» / В.Л. Бочаров, Л.Н. Строгонова // Современные проблемы особо охраняемых природных территорий регионального значения и пути их решения. Материалы межрегиональной научно-практической конференции. – Воронеж: Воронеж. гос. ун-т, 2014. – С. 39-43.
4. Круговых А.В. Географическая дифференциация оценки подземных вод техногенно развивающейся территории (на примере г. Губкина Белгородской обл.) / А.В. Круговых, В.Л. Бочаров // Тр. IX Междунар. науч.-практ. конф. – Воронеж: Изд-во РЦ «Менеджер», 2006. – С. 247-251.

## ОБЩАЯ ОЦЕНКА ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКОГО И ТЕХНОГЕННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ РАБОТЫ ЗАГОРСКОЙ ГАЭС

С.С. Головин, Н.К. Розенберг

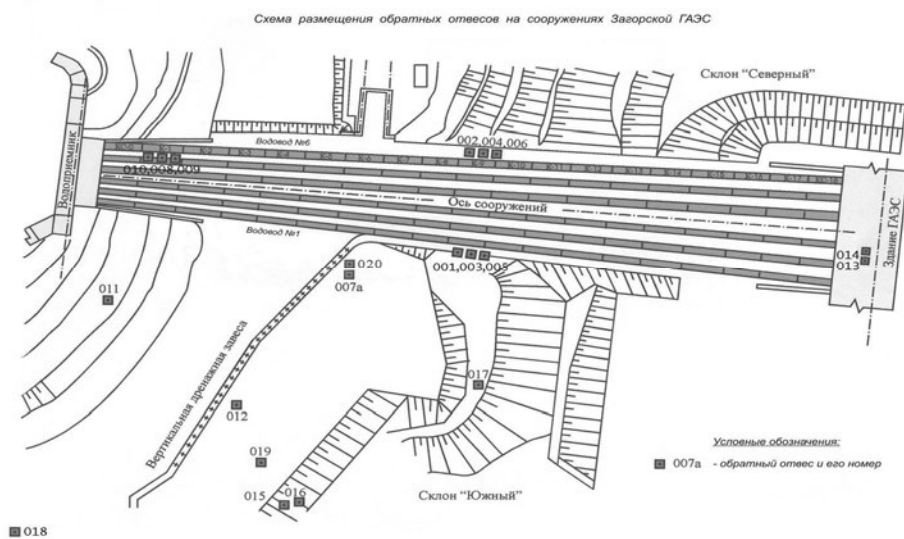
ИФЗ РАН, 123242, г. Москва, ул. Большая Грузинская, д.10, стр.1.  
E-mail: goa\_99@mail.ru

Текущая мощность Загорской гидроаккумулирующей электростанции составляет 1200 МВт. Электростанция является важным структурным инструментом энергосистемы центра, участвуя в автоматическом регулировании частоты перетоков мощности, а также покрывая суточные пиковые нагрузки в Московской и Центральной энергосистемах. Первая очередь ЗАГАЭС была построена в 1980-2003 гг. [1] В настоящее время осуществляется строительство второй очереди «ЗАГАЭС-2» с проектной мощностью 840 МВт. После завершения строительства и ввода в эксплуатацию «ЗАГАЭС-2» Загорская ГАЭС станет самой крупной электростанцией в Московском регионе (рис. 1).

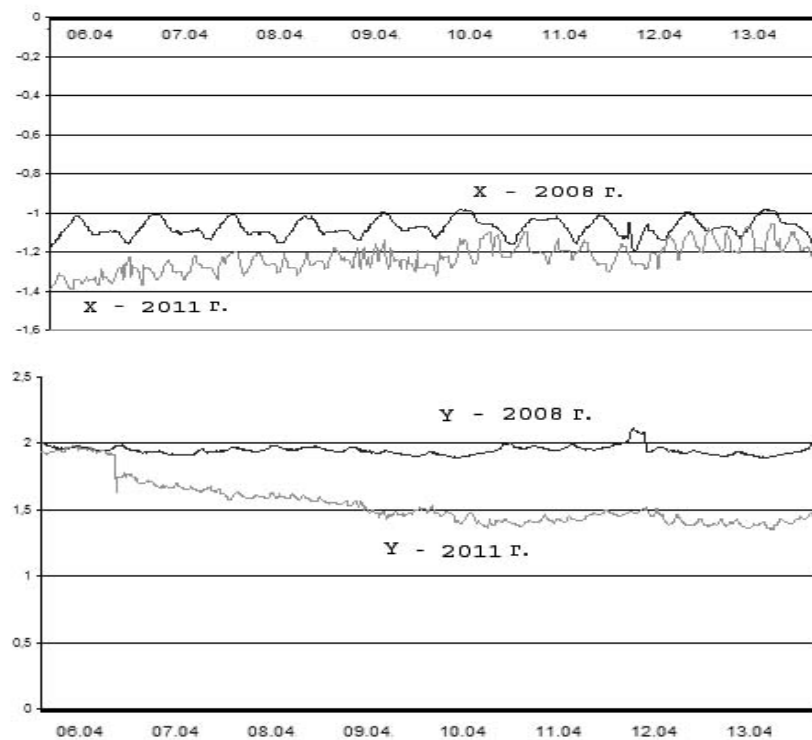
В процессе работы ЗАГАЭС осуществляется перемещение 22,4 млн. тонн воды из нижнего бассейна в верхний и обратно. Перемещение такого большого количества воды не может не оказывать влияния на склоновые процессы и инженерные сооружения, расположенные на них. Наиболее уязвимым к возникающему техногенному воздействию является склон, где расположены напорные трубопроводы [2]. Поэтому для осуществления постоянного наблюдения за состоянием склона, на нем размещена достаточно развитая сеть различной контрольно измерительной аппаратуры (КИА), в т.ч. сеть обратных отвесов.

Опрос электронных координатометров, используемых на обратных отвесах, осуществляется 1 раз в 15 минут. Передача координат от обратных отвесов в центральный накопитель данных происходит в круглосуточном режиме в течении всего контрольно-измерительного цикла. Длительность циклов и их периодичность регулируется внутренними положениями и регламентами ЗАГАЭС.

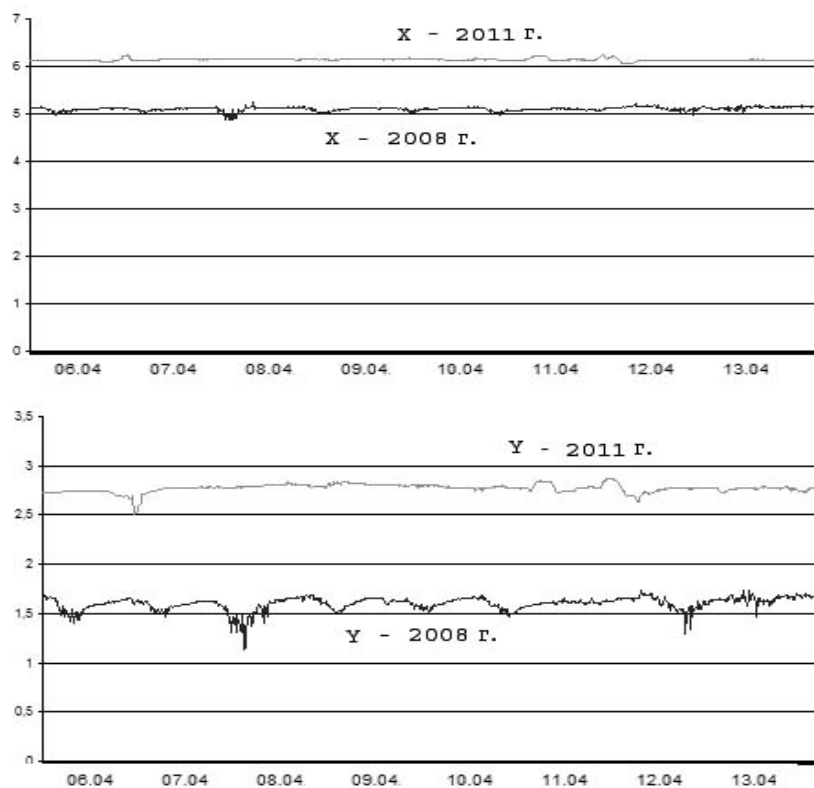
Для анализа и оценки подвижек склона напорных трубопроводов сотрудниками ЗАГАЭС были предоставлены архивные данные. При обработке были выбраны одновременные 8-ми суточные данные непрерывных наблюдений различных обратных отвесов на одинаковый промежуток времени 6-13 апреля с разницей в 3 года – 2008 г. и 2011 г. Оценка проводилась как для обратных отвесов, находящихся непосредственно между водоводами, так и для удаленных от него. На рис. 2, 3 представлены графики смещений координат обратного отвеса №010, находящегося в створе водовода, между трубами №№5, 6 и обратного отвеса №015, удаленного от водоводов, находящегося на склоне между действующей ГАЭС-1 и строящейся второй очередью ГАЭС-2.



**Рис. 1. Схема размещения обратных отвесов на сооружениях ЗАГАЭС**



**Рис. 2. Графики смещений, полученные с обратного отвеса №010**



**Рис. 3. Графики смещений, полученные с обратного отвеса №015**

Ось X совпадает с осью водовода и поэтому на графиках смещений по оси X отчетливо видны суточные циклы работы гидроэлектростанции. Координаты смещений обратных отвесов определяются относительно начала координат на дату монтажа конкретного обратного отвеса. Величины относительных смещений указаны в мм и составляют до 1,5 мм за 3 года.

После сопоставления графиков можно увидеть, что уже на незначительном удалении от рабочего тела ЗАГАЭС, влияние ее работы на смещения грунтов практически отсутствует и не может оказывать существенного влияния на сложившуюся геоэкологическую обстановку.

Ввиду относительно небольших по сравнению с классическими гидроэлектростанциями размеров водохранилищ, воздействие Загорской ГАЭС на *окружающую среду* имеет значительно меньшие масштабы. Ввиду отсутствия какой-либо противofильтрационной защиты дна водохранилищ, фильтрация вод из них приводит к образованию небольшой зоны *подтопления*, в которой наблюдается повышение уровня грунтовых вод. Режим работы ГАЭС характеризуется резкими и значительными изменениями уровней воды в водохранилищах, в связи с чем они не могут использоваться для

*рекреационных* и хозяйственных целей и рассматриваются как чисто техногенные водоемы [3]. Река Кунья сильно *загрязняется сточными водами*, сбрасываемыми в ее *водосборном бассейне*. Согласно проведенным исследованиям, в водохранилищах ГАЭС, вследствие активизации процессов *самоочищения*, происходит существенное улучшение качества воды.

Влияние работы ГАЭС на *ихтиофауну* неоднозначно: с одной стороны, режим работы ГАЭС неблагоприятен для *нереста* рыбы, при проходе через гидроагрегаты ГАЭС происходит гибель рыбы и кормовых *планктонных* организмов; с другой стороны, условия нагула рыбы в водохранилищах лучше, чем в реке, что приводит к большей наблюдаемой численности, видовому разнообразию, средним размерам рыбы в водохранилищах ГАЭС по сравнению с речными условиями.

Заметных климатических изменений на прилегающих к водохранилищам землях не произошло. Непосредственно над зеркалом водохранилищ увеличилось на 15-20 количество дней с *туманами*. Функционирование ГАЭС позволило оптимизировать работу крупных тепловых электростанций Московского региона, что повлекло снижение выбросов загрязняющих веществ в атмосферу.

**Выводы.** На основании всего вышесказанного можно отметить, техногенное влияние от деятельности ЗАГАЭС на экологическую обстановку Сергиево-Посадского района оказывается минимальное. Особенно стоит учесть фильтрующий фактор верхнего и нижнего бассейнов осуществляющих очистку вод р. Кунья, в т.ч. от сбросов химического завода в г.Краснозаводск и прочих загрязняющих факторов водосборного бассейна.

#### Литература

1. Синюгин В.Ю., Магрук В.И., Родионов В.Г. Гидроаккумулирующие электростанции в современной энергетике. – М.: Изд-во НЦ ЭНАС, 2000.
2. Гусева Т.В., Передерин В.П., Розенберг Н.К., Черненко В.Н. Геодинаміка. – 2(11)/2011. – С. 77.
3. Серебряников Н.И., Родионов В.Г., Кулешов А.П., Магрук В.И., Иванущенко В.С. Гидроаккумулирующие электростанции. Строительство и эксплуатация Загорской ГАЭС. – М.: Изд-во НЦ ЭНАС, 2000. – С. 132-135; 207-209; 209-210; 212-213.

## СЕЗОННЫЕ ВАРИАЦИИ НАКЛОНОВ ОСНОВАНИЯ ВОДОПРИЕМНИКА ЗАГОРСКОЙ ГАЭС

**А.Н. Демидкова**

Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН (ИФЗ РАН),  
Россия, 123995, г. Москва, Б. Грузинская ул., д. 10, стр. 1.  
E-mail: demidkova@gmail.com

Загорская ГАЭС расположена в Сергиево-Посадском районе Московской области на р.Кунье и в настоящее время является самой крупной гидроаккумулирующей электростанцией на территории России. Полезный объем воды в бассейнах Загорской ГАЭС составляет 22,7 млн. м<sup>3</sup>, установленная мощность 1200/1320 МВт – турбинный/насосный режимы. Объект возведен на нескальном основании, сложенном преимущественно рыхлыми породами четвертичного возраста и коренными породами мелового возраста. Загорская ГАЭС является объектом суточного регулирования. Ежесуточные колебания уровня воды в бассейнах составляют до 9 м [4].

Предыдущие исследования показали, что грунтовый массив основания сооружений Загорской ГАЭС испытывает знакопеременные циклические нагрузки. Было изучено поведение во времени векторов наклонов устоев водоприемника. Анализ рядов данных о наклонах показал наличие суточных, сезонных и трендовых изменений наклонов основания водоприемника [3,4].

Суточные изменения напряженно-деформированного состояния грунтового массива основания согласуются с циклами наполнения/сработки верхнего водохранилища Загорской ГАЭС. Было отмечено, что непрерывное изменение напряженно-деформированного состояния геологической среды может привести к расслаблению структуры пород и появлению усталостного эффекта [1, 2, 3, 4].

Изменения сезонных колебаний амплитуд наклонов могут оказывать негативное влияние на устойчивость и безопасность эксплуатации водоприемника Загорской ГАЭС.

В продолжение работ предыдущих исследователей, были проанализированы данные о температурах, расходах воды из-под фундаментной плиты, наклонах устоев на отметке 0 м.

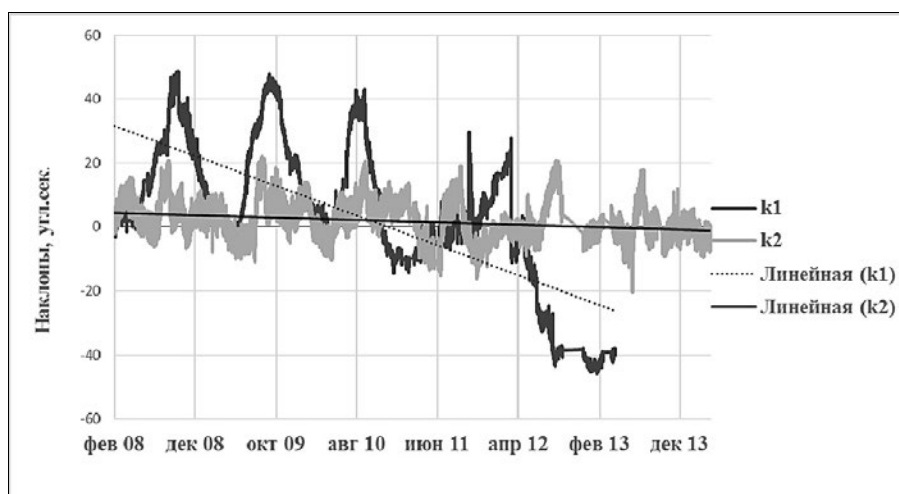
На рис. 1 показана схема размещения наклономеров в здании водоприемника на отметке 0 м. Наклоны на отметке 0 м характеризуют пространственное положение фундаментной плиты и отражают поведение грунтового массива. На рис. 2 приведен график изменений наклонов основания водоприемника за период 2008-2015 гг., а также показан тренд наклонов основания водоприемника со стороны правого устоя.

Максимальные размахи (двойные амплитуды) сезонных вариаций наклонов основания водоприемника поперек потока на отметке 0 м (к-1) наблюдались в 2008-2011 гг. и достигали значений от 40 до 47 угловых секунд.

После 2011 года картина наклонов изменилась. Возможно, это связано со строительством Загорской ГАЭС-2 в непосредственной близости от объекта исследований. В то же время, сезонная составляющая в вариациях наклонов сохранилась. Она также прослеживается и для ряда данных по наклонам вдоль потока (k-2). Здесь максимальные значения двойных амплитуд наклонов достигали 30-35 угловых секунд.



**Рис. 1. Схема размещения наклономеров в здании водоприёмника на отметке 0 м**



**Рис. 2. Наклоны основания водоприёмника, правый устой на отметке 0 м**

На рис. 3 представлены графики изменения дренажного расхода из-под фундаментной плиты водоприёмника и температуры наружного воздуха в районе его размещения.

Сопоставляя изменения температур наружного воздуха и расходов воды из-под фундаментной плиты за одинаковые периоды времени можно сделать вывод о наличии зависимости этих двух параметров друг от друга. На



фоне перехода температуры наружного воздуха в положительную область ежегодно в весенний период наблюдалось постепенное уменьшение расходов воды из-под фундаментной плиты до 0,071-0,01 л/с и в летний период оставалось незначительным относительно зимнего периода. При понижении температуры наружного воздуха и переходе в отрицательную область ежегодно в осенний период расход увеличивался до 0,25 л/с, достигая максимальных значений в декабре-феврале, в зависимости от времени наступления максимальных холодов. Среднемноголетние значения температуры в районе размещения водоприемника достигают отметки +25°C в июле и опускаются до -35°C в январе-феврале. Сравнение показало, что изменения дренажных расходов имели ярко выраженную сезонность, находились в противофазе с графиком температур и шли с некоторым отставанием от наступления холодов или оттепелей. Вероятно, расход из-под фундаментной плиты связан с закрытием и раскрытием швов конструкции водоприемника и изменением условий фильтрации.



**Рис. 3. Изменение дренажного расхода из-под фундаментной плиты водоприемника и температуры наружного воздуха в районе его размещения**

Проведенные исследования показали, что существует устойчивая, ярко выраженная зависимость между температурой и сезонными вариациями наклонов основания водоприемника. Долговременные изменения наклонов основания водоприемника связаны с остаточными деформациями. В результате изменений отдельных компонент инженерно-геологических условий в связи со строительством Загорской ГАЭС-2 в непосредственной близости от объекта изучения можно было ожидать изменений характера наклонов, в первую очередь, трендовых. Режимные наблюдения за наклонами основания водо-

приемника Загорской ГАЭС подтвердили наличие изменений. Этот вопрос требует отдельного тщательного изучения.

Данные прецизионных наклономерных режимных наблюдений за основанием здания водоприемника Загорской ГАЭС позволяют проводить детальный анализ изменений пространственного положения конструкций во времени, изучать корреляции наклонов с другими параметрами, выполнять прогнозные оценки изменений наклонов основания водоприемника в зависимости от ожидаемых сезонных вариаций температур, расходов из-под фундаментной плиты. Кроме того, прецизионные данные о наклонах элементов конструкции могут быть использованы для целей математического моделирования, в том числе для калибровки математических моделей.

#### Литература

1. Демидкова А.Н., Осика И.В. Объекты экологической неотектоники в концепции устойчивого развития // Пятнадцатые Сергеевские чтения. Молодежная конференция. Устойчивое развитие: задачи геоэкологии (инженерно-геологические, гидрогеологические и геокриологические аспекты). – М.: РУДН, 2013. – С. 244-249.
2. Демидкова А.Н., Осика И.В. Перспективы комплексирования методов натуральных наблюдений для оценки состояния гидроэнергетических объектов. Седьмая научно-техническая конференция «Гидроэнергетика. Новые разработки и технологии». – СПб., 2012.
3. Кочетков Б.М., Молоденский С.М., Осика В.И., Осика И.В. Наклономерно-деформометрический мониторинг на гидроаккумулирующих электростанциях // Геориск. – 2009. – №1. – С. 22-28.
4. Осика И.В. Оценка техногенного воздействия от работы гидроаккумулирующей электростанции на геологическую среду (на примере Загорской ГАЭС). Кандидатская диссертация. – М., 2009. – С. 131.

### НЕКОТОРЫЕ АСПЕКТЫ РЕКУЛЬТИВАЦИИ И ОЗЕЛЕНЕНИЮ ХВОСТОХРАНИЛИЩ

А.Р. Демирчян, А.В. Галстян

Национальный политехнический университет Армении (НПУА), филиал Ваназор,  
2001, Респ. Армения, г. Ваназор, ул. Шинарарнери, 12. E-mail: kristinartak@mail.ru

Рост горной промышленности неизбежно ведет к нарушению экологии региона. Необходимо учитывать все возможные негативные последствия и, по мере возможности, смягчить их негативное влияние на окружающую среду. В связи с этим нужно сделать так, чтобы отходы различных производств стали источниками дополнительных доходов и руководствоваться принципом – «тот, кто нам мешает, тот нам поможет». Целенаправленное захоронение хвостов обогащения и других отходов горной промышленности

помогает не только в природоохранных и экономических вопросах, но и в ряде решений социальных задач.

Самой высокоотходной отраслью является горная промышленность, в частности, комбинаты по обогащению цветных металлов. Еще из советских времен бывшие советские республики унаследовали миллионы, а то и миллиарды тонн хвостов обогащения, большая часть которых должным образом не рекультивированы (а то и вообще брошены) и наносят большой вред, как здоровью населения близлежащих населенных пунктов, так и окружающей среде [3].

Наша исследовательская группа разработала новое решение по рекультивации хвостохранилищ, суть которого сводится к покрытию хвостохранилищ отходами от разработок фельзитовых и вулканических туфовых карьеров. Исходя из того факта, что на брошенных отвалах туфовых карьеров естественным путем прорастает лес, то покрывая площади хвостохранилищ метровым слоем остатков туфов и производя посадку на них быстрорастущих «канадских» саженцев тополя, мы через короткий промежуток времени (10-15 лет) получим древесину производственного значения. Кроме получения бревен и досок, спрос на которые очень велик, предотвращается селево-оползневые и ветровая эрозия хвостов, улучшается эстетический вид ландшафта, стимулирует биоразнообразие территории и т.д. Таким образом, со временем окупаются затраты на рекультивацию.

Регулированием этой задачи решаются также проблемы, связанные с освобождением и использованием земель под туфовыми отходами, сбережение плодородного слоя почвы, борьба против опустынивания и другие проблемы охраны и улучшения окружающей среды. Следует отметить, что по мере развития технологий в ближайшем будущем хвосты обогащения станут ценным сырьем для извлечения ранее не извлеченных металлов, а также для создания различных материалов и изделий. В этом свете хвостохранилища рассматриваются как техногенные месторождения, в которых со временем происходят еще не хорошо изученные разные физико-химические, биохимические реакции и преобразования, в результате чего в хвостах начинается расслаивание и аккумуляция химических элементов и их соединений. В связи с этим необходимо чтобы хвосты обогащения в хвостохранилищах как ресурс надежно сохранялись и защищались. Оберегая свой ресурс, мы автоматически оберегаем родную природу [2].

В 2013 г. по разработанной нами методике была успешно завершена рекультивация и озеленение хвостохранилища Ахталинского ГОК-а «Назик». От общей площади хвостохранилища 2 га было озеленено 1 га. До озеленения хвостохранилища были отобраны пробы рекультивационного покрова и хвостов обогащения. Результаты лабораторных исследований проб дали возможность оценить целесообразность озеленения данного участка и выбрать виды саженцев, которые соответствуют этим параметрам. Полученные результаты показали, что среда рекультивационного слоя слабощелочная, которая подходит для любого вида растений. Высокая пористость и удовлетворительное содержание калия и фосфора в грунте, также свидетельствуют о наличии до-

вольно благоприятной среды для озеленения. Ввиду того, что хвосты имеют кислую, а покрывающая порода щелочную среды, то в контактной зоне происходит медленная реакция нейтрализации, которая будет способствовать развитию микроорганизмов и растений [1].

На основе полученных данных был разработан план действий и схема посадки саженцев (3x3). В результате для посадки были выбраны не плодоносящие и не медоносные 15 видов деревьев и кустарников. Корни саженцев заранее были обработаны специальным раствором «Байкал Эм-1». На озелененной зоне Ахталинский обогатительный комбинат построил ограждение и ирригационную систему.



**Рис. 1. Общий вид участка**



**Рис. 2. Проведение очередного мониторинга**

Таблица 1

## Результаты мониторингов (2013-2015гг.)

| № п.п.       | Виды растений                     | Всего посажено | Прижившие  |            |            | Не прижились | Всего прижилось |
|--------------|-----------------------------------|----------------|------------|------------|------------|--------------|-----------------|
|              |                                   |                | I мон.     | II мон.    | III мон.   |              |                 |
|              |                                   |                | <i>a</i>   | <i>b</i>   | <i>c</i>   |              |                 |
| 1            | Betula                            | 151            | 151        | 128        | 123        | 28           | 81%             |
| 2            | Acer mono Maxi, Acer platanoides  | 142            | 142        | 134        | 134        | 8            | 94%             |
| 3            | Fraxinus excelsior                | 161            | 157        | 146        | 146        | 15           | 90%             |
| 4            | Populus álba, Populus candicans   | 20             | 19         | 17         | 17         | 3            | 58%             |
| 5            | Syringa vulgáris                  | 27             | 27         | 27         | 27         | 0            | 100%            |
| 6            | Ligustrum vulgare, Spirea vulgare | 30             | 30         | 29         | 29         | 1            | 97%             |
| <b>ВСЕГО</b> |                                   | <b>531</b>     | <b>526</b> | <b>475</b> | <b>476</b> | <b>55</b>    | <b>89,6%</b>    |

По результатам проведенных мониторингов (2013-2015гг.) выживаемость насаждений составила около 90%.

Мы уверены, что этот реализованный проект позволит свести к минимуму вредные воздействия хвостохранилища на окружающую среду.

## Литература

1. Геворкян Р.Г., Гуюмджян О.П., Демирчян А.Р., Лорсабян Т.К. Петролого-геохимические особенности высококалийных риодацитов северной Армении (Лори, Ташир). Ер.: Информационные Технологии и Управление, 2008, № 2, с. 123-133.
2. Демирчян А.Р., Геворкян Р.Г., Галстян А.В. Некоторые экологические проблемы и пути их решения в области Лори (Армения). Геология в развивающемся мире: сб. науч. тр., Пермь, 2011, с. 286-287.
3. Мовсесян С.А. Роль минерально-сырьевой базы в развитии производительных сил Армянской ССР. «Айастан», 1981, 209 с.

**ИССЛЕДОВАНИЕ ПРИЧИН ДЕФОРМАЦИЙ  
ИСТОРИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ АМВРОСИЕВА  
НИКОЛАЕВСКОГО ДУДИНА МОНАСТЫРЯ В БОГОРОДСКОМ  
РАЙОНЕ НИЖЕГОРОДСКОЙ ОБЛАСТИ**

**В.В. Дмитриев<sup>1</sup>, И.К. Фоменко<sup>2</sup>, С.С. Шмелева<sup>3</sup>**

<sup>1</sup> Российский государственный геологоразведочный университет им. Серго Орджоникидзе, 117997, Москва, ГСП-7, ул. Миклухо-Маклая, д. 23. E-mail: v.v.dmitriev@mail.ru

<sup>2</sup> ООО «Научно-производственный центр по инженерным изысканиям» 129085, г. Москва, Звездный бульвар, д. 3А, стр. 1. E-mail: ifolga@gmail.com

<sup>3</sup> Патриарший архитектурно-реставрационный центр Свято-Троицкой Сергиевой Лавры, 141300 Московская область, г. Сергиев Посад, Свято-Троицкая Сергиева Лавра. E-mail: s.shmeleva@mail.ru

Амвросиев Николаевский Дудин монастырь расположен на правом крутом берегу р.Оки. Первое упоминание о Дудине монастыре относится к 1408 году. По некоторым сведениям, его посещал преподобный Сергей Радонежский по дороге из Нижнего Новгорода. В 1535 году была заложена колокольня, ставшая первым каменным сооружением монастыря.

В 1785 г. при Екатерине II монастырь был упразднен и стал приходским храмом села Подъяблонного. В феврале 2007 года на первом заседании комиссии по вопросам передачи религиозным организациям имущества религиозного назначения было принято решение рекомендовать правительству Нижегородской области передать ансамбль Амвросиева Дудина монастыря в безвозмездное пользование.

В геоморфологическом отношении монастырь расположен на границе Московской синеклизы и Волго-Уральской антеклизы, на правом коренном берегу р.Оки в пределах отшнуровавшейся старицы на значительном удалении от основного русла р.Оки.

Отметки берегового склона на этом участке изменяются от 50,0 до 144,0 м, а отметки поверхности территории монастыря колеблются от 91,0 до 101,0 м Б.С. Рельеф территории монастыря холмистый с существенным уклоном в сторону р.Оки. Перепад отметок в пределах монастыря составляет около 10 м.

В структурном отношении территория изысканий относится к одному из поднятий Волго-Уральской антеклизы.

Морфологические особенности склона позволяли предположить, как оползневой характер площадки, на котором возводились сооружения монастыря, так и абразионный. Такая площадка вполне могла быть поверхностью древнего оползня, как, например, в Печерском или Благовещенском монастырях Нижнего Новгорода, так и остатками одной из абразионных террас р.Оки.

Для оценки оползневой опасности склона, а также причин деформаций Успенской церкви решали следующие задачи:

– исследование геоморфологического строения территории с помощью рекогносцировочного обследования, топографической и аэрофотосъемки;

– изучение геологического строения, литологического состава и свойств грунтов правого берегового склона р.Оки на участке монастыря, путем бурения с поверхности склона и на территории монастыря 35-42 метровых скважин, с отбором монолитов и их лабораторных анализов, а также вертикального зондирования;

– изучение геологического строения, литологического состава и свойств грунтов основания и фундаментов Успенской церкви с помощью шурфов, скважин в фундаментах с отбором проб грунтов основания и строительных материалов, вертикального и горизонтального зондирования;

– определение гидрогеологических условий склона и территории монастыря;

– оценка видов, особенностей и интенсивности физико-геологических и инженерно-геологических процессов, расчет оползневой устойчивости склона.

По результатам инженерно-геологического исследования в геолого-литологическом строении берегового склона, по данным бурения, принимают участие четвертичные техногенные ( $tQ_{IV}$ ), нерасчлененные элювиально-делювиальные ( $e-dQ_{II-III}$ ), покровные ( $pQ_{III}$ ) и аллювиальные ( $aQ_{II-III}$ ) отложения, а также коренные грунты терригенной красноцветной формации татарского яруса верхней перми ( $P_{2t}$ ).

В исследуемых отложениях в процессе бурения и рекогносцировки вскрыли три изолированных, не связанных гидравлически водоносных горизонта:

– в распространенных исключительно в верхней части склона аллювиальных четвертичных песчаных накоплениях содержится горизонт подземных вод не напорный с отметкой уровня 125,3 м мощностью ~ 4,0 м, питание горизонта инфильтрационное, водоупором служат коренные верхнепермские глины татарского яруса. Разгрузка горизонта наблюдается в виде источников, расположенных на отметках подошвы горизонта, в склоне оврага западнее монастыря на отметках ~ 117,0-119,0 м;

– в трещинах, а также песчаных прослоях глинисто-мергелистой толщи татарского яруса верхней перми, с отметкой уровня 113,5 м, с небольшим напором около 1,0 м, мощность горизонта ~ 15,0 м. Водоупором являются верхнепермские глины татарского яруса, разгрузка происходит в виде источников, расположенных на склоне чуть выше или на поверхности монастыря, в частности, в двух святых источниках – Николая Угодника и Сергия Радонежского, расположенных на территории монастыря, на разной высоте. Источник во имя Сергия Радонежского отмечен еще на плане XVII века;

– в трещинах, песчаных и песчаниковых прослоев глинисто-мергелистой толщи, с уровнем, расположенным на отметке 78,0 м, с разгрузкой в старичные отложения р.Оки.

Область питания второго и третьего водоносных горизонтов расположена за пределами монастыря.

В процессе проходки шурфов у стен Успенской церкви вода была встречена на глубинах 0,9-1,8 м. Вероятнее всего это воды второго водоносного горизонта, разгружающиеся на поверхность абразионной террасы, приуроченной к глинистой четвертичной толще, и, судя по данным инженерно-геологического разреза, барражируемые фундаментами Успенской церкви. Питание этих вод происходит также за счет инфильтрации атмосферных осадков и перетекания воды из техногенного слоя грунтов.

На основании результатов полевого визуального описания грунтов в скважинах и в шурфах, анализа частных показателей свойств грунтов, определенных лабораторными методами, результатов зондирования в геологическом разрезе территории было выделено 10 (десять) инженерно-геологических элементов.

Характеристика инженерно-геологических элементов:

**ИГЭ-1** Почвенно-растительный слой ( $solQ_{IV}$ ).

**ИГЭ-2** Техногенный грунт ( $tQ_{IV}$ ), представленный суглинком с включениями строительного мусора, гравия, дресвы, щебня известняка, коренных пород, битого кирпича до 10 % Мощность насыпных грунтов изменяется от 0,1 до 1,0 м.

**ИГЭ-2.1** Грунт, измененный в условиях естественного залегания под весом сооружения ( $tQ_{IV}$ ), представлен суглинком тяжелым пылеватым тугопластичным. Встречен во всех шурфах под фундаментом церкви, мощностью 2,0-2,5 м.

**ИГЭ-3** Нерасчлененные элювиально-делювиальные отложения ( $e-dQ_{II-III}$ ), представлены глиной легкой пылеватой твердой, с прослоями суглинка пылеватого твердой консистенции. Отложения покрывают поверхность склона на всем его протяжении. У подножья склона их мощность достигает 6,0-7,0 м. По склону мощность элювиально-делювиальных отложений изменяется преимущественно от 0,1 до 5,0 м.

**ИГЭ-4** Покровные отложения ( $pQ_{III}$ ) представлены суглинком тяжелым пылеватым твердой консистенции, с глубины 11,0 м с включениями гравия, гальки и прослойками песка пылеватого, коричневатого-серого цвета. Распространен только на поверхности склона, мощность достигает 11,7 м.

**ИГЭ-5, 5а** Аллювиальные отложения ( $aQ_{II-III}$ ) распространены только в верхней части склона, представлены песком пылеватым, в верхней части толщи влажным, слабо цементированным железистым цементом, в нижней части разреза песок средней крупности слабослюдистый, плотный с тонкими прослойками супеси песчанистой твердой, водонасыщенный. Мощность на поверхности склона составляет ~ 9 м.

**ИГЭ-6.1** Коренные отложения татарского яруса верхней перми ( $P_{2t}$ ) представлены мергелем глинистым известковым с прослоями песка пылеватого. Мощность в скважинах, пробуренных с территории монастыря, составляет 4,5-6,0 м, в скважине №1, пробуренной с поверхности склона, вскрытая мощность равна 19,7 м.



**ИГЭ-6.2** Коренные отложения татарского яруса верхней перми ( $P_2t$ ) представлены глиной легкой твердой известковой, с прослоями песка пылеватого, включениями белого гипса. Мощность изменяется от 0,8 до 4,0 м.

**ИГЭ-6.3** Коренные отложения татарского яруса верхней перми ( $P_2t$ ) представлены суглинком твердым известковым с прослоями песка пылеватого, включениями белого гипса. Мощность 1,5 м.

**ИГЭ-6.4** Коренные отложения татарского яруса верхней перми ( $P_2t$ ) представлены слоями белого гипса, мощностью 0,5-0,8 м.

К геологическим и инженерно-геологическим процессам можно отнести: поверхностную эрозию грунтов склона, небольшую подвижку грунтов склона, подтопление территории и пучение грунтов основания.

Вследствие незарегулированности поверхностных вод на склоне и неправильной организации водостока с поверхности склона, наблюдается активная эрозия грунтов, особенно в верхней части склона, сложенной покровными и особенно песчаными аллювиальными отложениями. Глубина V-образного вреза временных потоков на поверхности склона достигает 0,8 м. Западнее сооружений монастыря на поверхности склона наблюдаются два участка значительного размыва, достигающего 3-5 м. Особенно быстро размываются грунты склона при снятии дернового покрова в процессе какой-либо хозяйственной деятельности. Участки размыва наблюдаются также на склоне ниже поверхности монастыря. Здесь размыв сочетается с осыпями.

На отдельных участках наблюдается медленная, обусловленная гравитационным давлением, температурными колебаниями, периодическим увлажнением поверхностными и подземными водами, подвижка грунтов склона в сторону открытых поверхностей, образовавшихся вследствие размыва и увлажнения грунтов поверхностными или родниковыми водами, искусственной подрезки склона. Наличие на склоне отдельных деревьев с характерно изогнутыми стволами объясняется этим же процессом.

Анализ строения склона и полученного соотношения грунтов в разрезе показало отсутствие значительных характерных оползневых форм и оползневых накоплений.

Для оценки устойчивости склона выше и ниже монастыря выполнены инженерные расчеты с определением коэффициентов устойчивости ( $K_{уст.}$ ).

Как известно, нормативное значение коэффициента запаса устойчивости склонов для сохранения устойчивого состояния склона должно превышать  $K_n = 1,25$  ( $K_{уст.} > 1,25$ ).

Результаты оценки устойчивости различных участков склона, выполненной на основе полученных данных, показали наличие устойчивого состояния нижней части склона (минимальный из трех методов  $K_{уст.} = 1,36$ ) и предельное равновесие для верхней части склона (минимальный из трех методов  $K_{уст.} = 1,16$ ).

Фундаменты Успенской церкви представлены кирпичной кладкой из красного кирпича на известковом растворе. Размеры кирпича составляют 28x14x7 см. Мощность кирпичного фундамента составляет 1,4-1,9 м. В кирпичной кладке имеются трещины раскрытием до 1,5 см.

Для выявления причин появления трещин вдоль фундаментов церкви прошли шурфы. В них под фундаментами церкви были встречены деревянные сваи диаметром от 17 до 22 см. Расстояние между центрами свай составляет 30-38 см. Деревянные сваи находятся в удовлетворительном состоянии. Однако оголовки деревянных свай на 0,20-0,30 м торчат над подошвой фундаментного рва. В процессе строительства храма пространство между необитыми оголовками свай было заполнено блоками местного песчаника. Вследствие барражного эффекта, поднимающего почти на метр уровень стекающей под поверхностью склона воды второго водоносного горизонта, периодического промораживания, песчаники разрушились и под фундаментами образовались неравномерно распределенные полости, приводящие к образованию трещин и деформациям стен храма.

Вторым следствием барражного эффекта является капиллярное поднятие воды в стены с южной стороны храма со всеми вытекающими последствиями: промораживанием, засолением, разрушением отделочных материалов, биопоражениями.

В настоящее время состояние фундамента церкви ограничено работоспособное и при восстановлении требует обязательного укрепления фундаментов и ограничения поднятия уровня грунтовых вод.

Полученные материалы позволяют сделать заключение об абразионном характере террасы, на которой расположен Амвросиев Николаевский Дудин монастырь.

Об этом свидетельствуют:

- наличие аналогичных остатков абразионных террас на соседних территориях;
- отсутствие признаков значительных оползневых подвижек на склоне;
- отсутствие на территории монастыря аллювиальных отложений, распространенных на поверхности склона;
- особенности литологического состава грунтов и строения склона;
- гидрогеологические условия склона, в частности разобщенность водоносных горизонтов;
- оценки устойчивости склона;
- причины деформации Успенской церкви, не связанные с оползневыми подвижками.

## ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ ЭКСПЛУАТАЦИИ МЕТРОПОЛИТЕНА

**П.Ю. Дьяконов**

125476, г. Москва, ул. Василия Петушкова, д. 21, корп. 2, кв. 51.  
E-mail: pyudyakonov@yandex.ru

Урбанизация как процесс сосредоточения населения, экономической и культурной жизни в крупных городах невозможна без развития транспортной системы. Основу транспорта мегаполисов составляет метрополитен. Московский метрополитен ежедневно перевозит около 10 миллионов пассажиров. В настоящее время строятся новые станции и линии метро. В целях экономии средств предпочтение отдается метрополитену мелкого заложения, который сооружается преимущественно в четвертичных отложениях. Здесь часто встречаются песчаные переувлажненные грунты.

Проходка тоннелей в таких грунтах с помощью тоннелепроходческих механизированных комплексов (ТПМК) не вызывает сложностей, т.к. они оборудованы «грунтопригрузом». При сооружении станций также предусматриваются соответствующие мероприятия. Однако возможно разжижения грунтов в период эксплуатации метро.

Сегодня разжижению грунтов в строительстве, на наш взгляд, уделяется недостаточное внимание. Этому есть объективные причины. Например, в гидротехническом строительстве в первой половине XX века широко использовался гидронамыв, и вопросы разжижения были очень важны. С появлением большегрузных автосамосвалов этот вид транспортировки грунтов утратил актуальность. Сегодня он еще используется для перемещения зол в отвалы на тепловых электростанциях, сжигающих уголь. С переводом последних на природный газ исчезнет необходимость в гидротранспорте.

Приведенные примеры с ТПМК и гидронамывом показывают, что вопрос разжижения грунтов, стал как бы, узко специальным, который в настоящее время актуален для специфических сооружений, например, противофильтрационных элементов грунтовых плотин в сейсмических районах и т.п. и не существенен для метрополитена. Однако, это опасное заблуждение, которое может дорого обойтись в период эксплуатации.

Хорошо известна ситуация, возникшая на перегоне между станциями «Царицыно» и «Кантемировская» Замоскворецкой линии открытым 30.12.1984. Здесь на следующий день после пуска произошло затопление пути в результате повреждения гидроизоляции обделки тоннеля. Работы по химическому закреплению сильно обводненных вмещающих тоннель грунтов продолжались более месяца. С января 2001 г. для предотвращения аварии проводились работы в ночное время по усилению обделки и «заморозке» грунта. Скорость движения поездов на этом участке была ограничена.

01.04.2001 произошло поступление разжиженного грунта в тоннель. Движение было восстановлено с ограничением скорости до 25 км/ч.

Из приведенного примера можно сделать следующие выводы. При эксплуатационной нагрузке произошло разжижение грунта вмещающего массива, повлекшее неравномерные осадки и деформации обделки тоннеля, и как следствие нарушение сплошности гидроизоляции. Для снижения негативного влияния процесса разжижения снизили интенсивность и скорость движения поездов. Здесь уместно рассмотреть вопрос о динамическом воздействии поездов метро на вмещающий массив грунта. Для этого ознакомимся с некоторыми техническими параметрами вагонов поездов метрополитена.

За 80 лет существования московского метро подвижной состав претерпел определенные эволюционные изменения. Будем рассматривать только вагоны, находящиеся в эксплуатации в настоящее время. Вагоны метрополитена по типам первоначально имели буквенную индексацию, начинающуюся с буквы «А». Электровагоны типа «Г» эксплуатировались до 1982 г. Поэтому начнем рассмотрение с вагонов более позднего выпуска, типа «Д» и далее. Интересующие нас технические характеристики приведены в таблице 1.

Таблица 1

**Технические характеристики вагонов метрополитена**

| Тип вагона             | Года выпуска | Года эксплуатации | Тара вагона, т | Конструкционная скорость, км/ч | Мощность тяговых двигателей, кВт |
|------------------------|--------------|-------------------|----------------|--------------------------------|----------------------------------|
| Д                      | 1955-1963    | 1955-1995         | 36,2           | 75                             | 4*72                             |
| Е (81-703)             | 1959-1969    | 1960-1970         | 31,5           | 90                             | 4*68                             |
| ЕжЗ (81-710)           | 1970-1978    | 1970-н/в          | 31,7           | 90                             | 4*72                             |
| Ем508/<br>Ем509        | 1970-1973    | 1970-н/в          | 32,2           | 90                             | 4*68/4*72                        |
| И (81-715.3/<br>716.3) | 1973-1985    | (опытная)         | 31/30          | 100                            | 4*100                            |
| 81-717/714             | 1977-1988    | 1978-н/в          | 34/33,5        | 90                             | 4*110                            |
| 81-540/541             | 1997-н/в     | 1997-н/в          | 34/33,5        | 90                             | 4*110                            |
| 81-720/721<br>(Яуза)   | 1993         | 1999<br>(опытная) | 34,5/33        | 100                            | 4*100                            |

*Примечание:* В столбце «тип вагона» приводится так же заводская цифровая индексация, которая широко используется в настоящее время.

Представленные в таблице вагоны имеют классическую компоновку из тягового и прицепного вагона, а последние типы все тяговые. Интересен поезд «Русич», который находится в опытной эксплуатации и представляет собой сочлененные вагоны массой 49 т и мощностью двигателей 4\*160 кВт.

Из таблицы видно, как менялись масса и скорость подвижного состава метрополитена. Необходимо заметить, что вагоны типа «А» имели массы: тягового 51,7 т, прицепного 36 т, а конструкционную скорость 65 км/ч.

Известно, что энергия динамического воздействия движущегося поезда определяется по формуле:  $\mathcal{E} = mv^2/2$ . Т.е. с увеличением скорости движения (для современных поездов) на 10 км/ч энергия воздействия возрастет более чем на 20%. Увеличение мощности двигателей позволяет быстрее разгонять состав до максимальных скоростей и тем самым воздействовать на большую протяженность тоннелей.

Пассажиры московского метрополитена замечают, что на некоторых станциях мелкого заложения можно ощущать вибрацию земной поверхности при прохождении поезда. Это свидетельствует о недостаточной присоединенной массе вмещающего массива грунта, который не способен поглотить энергию колебаний, возбуждаемую движущимся составом.

Если рассмотреть, например, тоннели Кожуховской линии метрополитена, то они запроектированы и строятся в мелких переувлажненных песках, являющихся на некоторых участках водовмещающими породами. Причем линия пересекает две палеодолины по которым идет фильтрационный поток, откачать его при необходимости будет затруднительно.

При эксплуатации метрополитена вибрация от проходящего поезда передается на стенки тоннеля, и он работает как динамически нагруженный штамп, т.е. «притягивает» воду. Такой процесс мы можем наблюдать на песчаном берегу водоема, если похлопать ладонью по поверхности песка. Слой выступившей воды не велик, доли миллиметра, но за день эксплуатации метрополитена накопится осадка в целые значения миллиметра, а за месяц – сантиметры. Причем поскольку грунтовые условия неравномерны, где-то вода в свободном виде выделяться не будет, т.к. влажность недостаточна, а где-то будет, и там возникнут просадки. Следовательно, общие осадки окажутся неравномерными, что приведет к нарушению сплошности тоннеля. С большой долей вероятности можно сказать, что повторится ситуация как на Замоскворецкой линии, описанная выше.

Разжижение грунта – это совпадение ряда факторов: гранулометрического состава вмещающего грунта, его влажности, интенсивности динамического воздействия, напряженно-деформированного состояния и т.п. В свое время для гидротехнического строительства инженером В.В. Радиной была разработана простая методика определения критических условий разжижения песчаного грунта, которая широко использовалась на практике. Однако применение ее в метростроении затруднительно, т.к. она предназначалась для сооружений, возводимых на открытой поверхности с задаваемой влажностью грунта. Для метрополитена необходимо разработать свои аналогичные методики.

Таким образом при эксплуатации метрополитена мелкого заложения, проложенного в песчаных грунтах можно столкнуться с вероятностью их разжижения. Причем эта вероятность будет возрастать с увеличением мощности тяговых двигателей вагонов поездов и возрастанием скорости их дви-

жения. Устранение последствий аварий связанных с разжижением грунтов будет сопряжено с затратами большого количества времени и средств, и ляжет на службу эксплуатации.

В некоторых случаях полное устранение дефектов окажется невозможным. Примером может служить известная ситуация в Санкт-Петербургском метрополитене на перегоне между станциями «Лесная» и «Площадь Мужества». Здесь еще на стадии строительства в 1972 г. в тоннель поступило более 40 тыс.м<sup>3</sup> пльвуна. Приостановить процесс удалось замораживанием грунта. Перерыв в движении поездов на участке составил более 8 лет.

Геологи отмечают, что в Москве пльвуны как грунты, обладающие тиксотропными свойствами, встречаются достаточно редко и локально. Однако встреча с ними при сооружении метрополитена возможна. В нашей работе речь не только и не столько о пльвунах, но о разжижении песчаных грунтов, которое встречается повсеместно, вне зависимости от их тиксотропности.

Необходимо заметить, что Московский метрополитен является Государственным унитарным предприятием (ГУП). А проектирование и строительство ведут акционерные общества и частные фирмы, основная задача которых извлечение максимальной прибыли. Проблемами эксплуатации они заниматься не заинтересованы. Все проблемы, связанные с разжижением вмещающего грунта проявившиеся в период эксплуатации, лягут на ГУП «Московский метрополитен».

Подтверждением сказанному может служить следующий факт. В АО «Мосинжпроект» разрабатывается инструкция по мониторингу строительства, которая включает только наблюдения за геометрией строящегося тоннеля. Очевидно этих данных совершенно недостаточно. Когда произойдут деформации тоннеля, особенно в период эксплуатации, поздно что-то предпринимать, это уже аварийная ситуация.

Для предотвращения таких ситуаций необходимо наблюдать за напряженно-деформированным состоянием и влажностью грунтового массива. Однако у названной организации нет ни желания, ни возможности проводить необходимые работы.

Нужна методика определения потенциально опасных участков разжижаемых грунтов по трассе проектируемого метрополитена. Участки потенциально разжижаемых грунтов следует нанести на карту города, чтобы проектировщики могли учесть эту информацию при прокладке трассы. Такие участки целесообразнее обойти, т.к. возможность проходки их с помощью ТПМК не исключает возможности аварий, связанных с разжижением в период эксплуатации.

Из сказанного можно сделать следующие выводы:

– на проектируемых и строящихся в настоящее время в Москве линиях метрополитена мелкого заложения, проходящих в переувлажненных песчаных отложениях возможно разжижение вмещающих грунтов при эксплуатации;

- увеличение мощности поездов метрополитена повышает вероятность разжижения грунтов;
- устранение последствий возможных аварий, связанных с разжижением грунтов, в период эксплуатации ляжет на ГУП «Московский метрополитен», окажется очень затратным материально и физически;
- в особо сложных случаях устранение последствий аварий может оказаться нецелесообразным, а эксплуатация аварийного участка невозможной;
- система мониторинга строительства должна включать наблюдение за влажностью и напряженно-деформированным состоянием вмещающего массива грунта, а средства наблюдения передаваться на баланс эксплуатирующей организации для мониторинга в период эксплуатации;
- целесообразно разработать нормативный документ с указанием потенциально опасных участков разжижаемых грунтов, на которых разжижение может проявиться в период эксплуатации метрополитена. Такие участки необходимо обходить при проектировании и строительстве трассы метро.

## **ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ СРЕДЫ НА ПРЕДПРИЯТИИ АТОМНОЙ ОТРАСЛИ (НА ПРИМЕРЕ УРАЛЬСКОГО ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОГО КОМБИНАТА)**

**М.Ю. Евдокимова, Ю.Б. Осипов**

Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе,  
117997, г. Москва, ул. Миклухо-Маклая, д. 23. E-mail: office@mrgi-rggu.ru

Под мониторингом состояния недр (геологической среды) понимается система регулярных наблюдений, сбора, накопления, обработки и анализа информации, оценки состояния геологической среды и прогноза ее изменений под влиянием естественных природных факторов, пользования недрами и другой антропогенной деятельности.

Мониторинг состояния недр в районе объектов использования атомной энергии является частью экологического и радиационного мониторинга этих объектов. При его ведении необходимо учитывать специфику различных предприятий ядерного топливного цикла (ЯТЦ) – от добычи урановой руды до захоронения радиоактивных отходов после переработки облученного ядерного топлива.

Как всякая система мониторинга, помимо наблюдений, включает этапы оценки состояния наблюдаемых компонентов природной среды и прогноза изменений наблюдаемых параметров во времени и пространстве.

Под состоянием недр понимается совокупность показателей, отражающих негативное воздействие объектов мониторинга. Например, повышенное содержание ртути, свидетельствующее о наличии химического воздействия.

Данные мониторинга используются при разработке управляющих решений в природоохранной деятельности по контролю экологической безопасности объекта мониторинга.

При организации системы объектного мониторинга состояния недр на предприятиях атомной отрасли, как правило, учитываются природные, в том числе геолого-гидрогеологические условия зоны потенциально возможного его влияния на природную среду [1].

АО «Уральский электрохимический комбинат» (далее УЭХК) – крупнейшее в мире предприятие по обогащению урана, поставляющего для обеспечения потребностей в ядерном топливе атомных электростанций и других ядерных энергетических установок.

Предприятие расположено на территории Свердловской области. Непосредственно с территорией АО «УЭХК» граничат два населенных пункта: г.Новоуральск и пос.Верх-Нейвинский. АО «УЭХК» функционирует с 1949 г.

На территории комбината размещены пункты хранения радиоактивных отходов, которые являются потенциальными источниками воздействия на окружающую среду.

На территории санитарно-защитной зоны в границах промплощадки и прилегающей к ней территории осуществляется ведение следующих видов мониторинга: гидродинамический, радиационный, гидрохимический.

Объектами мониторинга, проводимого на промплощадках АО «УЭХК» являются подземные и поверхностные воды, атмосферный воздух, растительность, почва.

Система мониторинга состоит из: наблюдательных скважин; дренажных скважин; пунктов наблюдения поверхностных вод; пунктов наблюдения за почвами; пунктов наблюдения за растительностью и пункта наблюдения за загрязнением атмосферного воздуха [2].

#### **Оценка мониторинга подземных вод [2].**

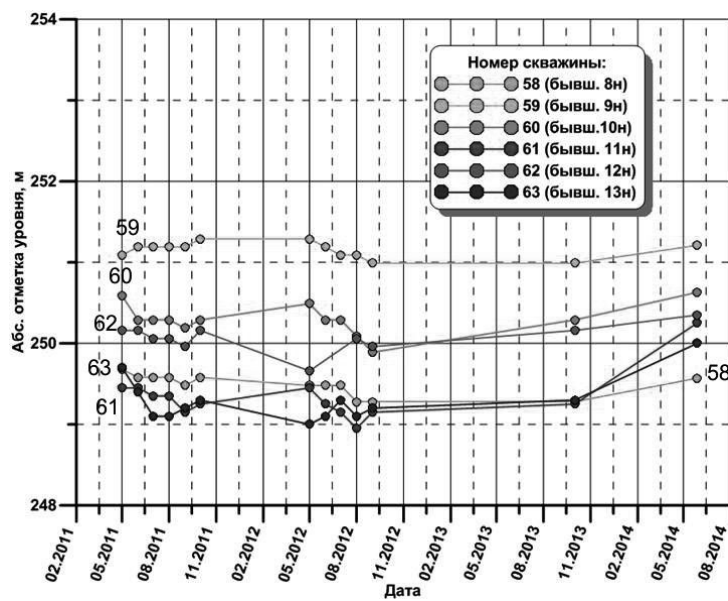
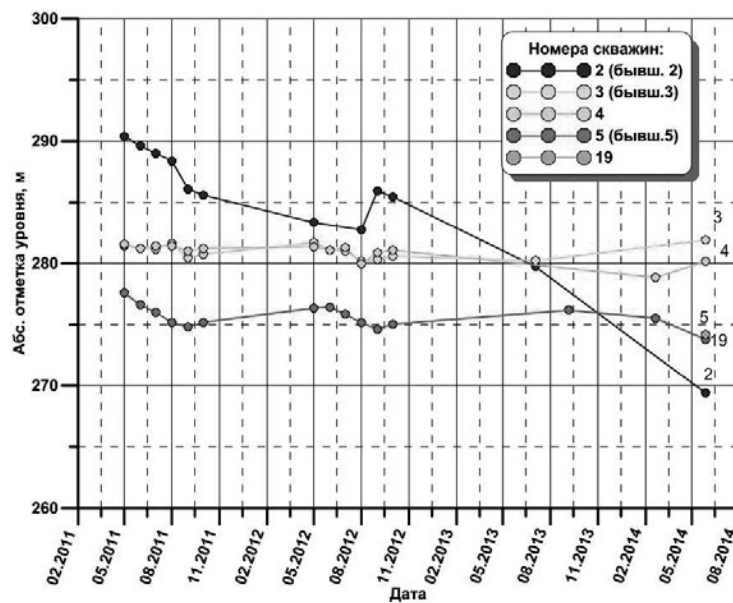
##### *Характеристика гидрогеодинамического мониторинга*

Для характеристики гидрогеодинамического влияния хранилищ АО «УЭХК» на подземные воды использовались данные режимных наблюдения за абсолютной отметкой уровня подземных вод в скважинах наблюдательной сети.

Основными факторами, влияющими на режим подземных вод в данном районе, являются: сезонное изменение интенсивности атмосферных осадков, сложная геоморфологическая обстановка, изменение уровней в реках и основных крупных водохранилищах, расположенных вблизи предприятия. Скорости миграции загрязнения в подземных водах определяются фильтрационными параметрами отложений и средними градиентами геофильтрационного потока.

По режимным данным на территории предприятия построены графики изменения уровней в наблюдательных скважинах (рис. 1).





**Рис. 1. Режим уровней подземных вод по наблюдательным скважинам на территории промплощадки**

Представленные графики характеризуют динамику уровней за период с 2011 по 2014 год. При их рассмотрении можно отметить относительно стабильную взаимосвязь изменения уровней в скважинах, расположенных на

одном участке. Лишь в некоторых случаях (скважины № 60, 61, 63) характеризуются слабыми отклонениями от общего режима. Возможно, это связано с неточностью проведенных замеров.

Уровень в водоносном комплексе подвержен сезонным колебаниям: подъему в весенний период и снижению в зимний. Максимальные значения приходятся в основном на апрель и май, минимальные на октябрь-ноябрь.

Интенсивной эксплуатации водоносного комплекса не происходит, так как водоснабжение проводится из поверхностных водоемов.

В случае с другими объектами, возможно, помимо описанных выше факторов регулирующие влияние будут оказывать поверхностные водоемы. Они могут являться своеобразными базами дренирования для подземных вод.

Уровень поверхностных вод может достаточно сильно влиять на динамику свободной поверхности в наблюдательных скважинах.

Анализ динамики уровней подземных вод характеризует отсутствие какого-либо техногенного вмешательства, так как изменение уровней удовлетворительно увязывается с сезонными факторами.

#### *Характеристика химического и радиационного мониторинга*

Для оценки химического состава подземных вод использовались данные мониторинга выполненные в скважинах наблюдательной сети.

Радиохимический контроль осуществляют во всех наблюдательных скважинах, и определяется содержания урана общего, суммарной альфа-активности, с периодичностью 1 раз в климатический квартал.

Радиационное состояние подземных вод на промплощадках предприятия оценивалось на основании сопоставления значений параметров, полученных в процессе мониторинга с действующими нормами радиационной безопасности.

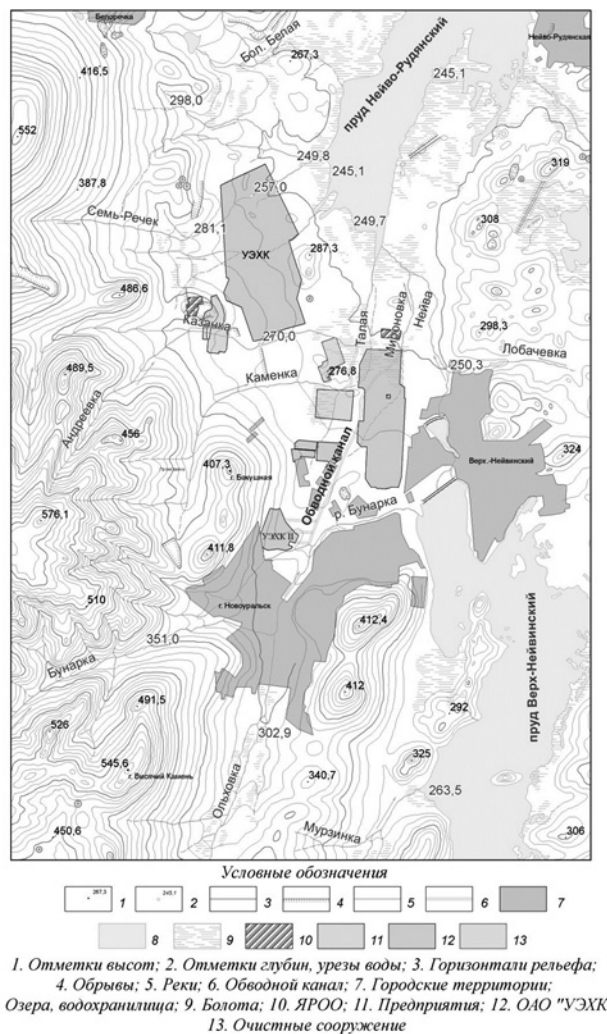
Фоновым значением состава подземных вод для территории расположения площадок можно признать радио- и гидрохимический состав, формирующийся под влиянием региональных и местных гидрогеологических условий и радиационной обстановки, но вне зоны техногенных и антропогенных факторов.

По химическому анализу пробы отбирают по показателям: фосфаты, азот аммонийный, нитраты, водородный показатель рН, сульфаты, хлориды, с периодичностью 1 раз в климатический квартал.

Для естественного химического состава подземных вод рассматриваемого района характерно высокое содержание железа. По химическому составу воды гидрокарбонатные, гидрокарбонатно-сульфатные, сульфатно-гидрокарбонатные, пресные и слабосоленоватые.

#### **Оценка мониторинга поверхностных вод [2, 3].**

Гидрологическая сеть района представлена множеством средних и малых естественных водотоков и искусственными сооружениями на них (рис.2). Водные объекты на территории представлены р.Нейва с притоками, Верх-Нейвинским и Нейво-Рудянским водохранилищами, Малым прудом, обводным каналом.



**Рис. 2. Ситуационная схема поверхностных и подземных вод на территорию АО «УЭЖК»**

АО «УЭЖК» в настоящее время имеет на балансе 4 водовыпуска, в которых проводятся наблюдения и контролируются следующие показатели: количество отведенной воды; химические компоненты: БПК, взвешенные вещества, нефть и нефтепродукты, сухой остаток, фосфаты, азот аммонийный, нитраты, нитриты, марганец, никель, железо, медь, цинк, свинец.

Комплексное воздействие сточных вод промзоны г.Новоуральска затрагивает несколько водных объектов, начиная от собственно обводного канала созданного на базе измененных русел малых рек и до Нейво-Рудянского водохранилища на р.Нейва.

Загрязнения поверхностных вод оценивается по ряду показателей: Cu, Ni, Pb, Mn, Zn, Fe, Al, Cr\*10<sup>-3</sup>, Hg\*10<sup>-5</sup>, Co\*10<sup>-3</sup>, Cd\*10<sup>-4</sup>, U<sub>общ</sub>, альфа-

активность, БПК<sub>20</sub>, взвешенные вещества, сухой остаток, сульфаты, азот аммонийный, нитраты, фосфор, ХПК, нитраты, рН, растворенный кислород, СПАВ, запах, окраска, нефтепродукты.

В поверхностных водоемах фиксируются повышенные содержания концентрации никеля относительно ПДК по ГН 2.1.5.1315-03 (0,024 мг/л, ПДК 0,2 мг/л), марганца (0,159 мг/л, ПДК 0,1 мг/л) и железа (0,4 мг/л, ПДК 0,3 мг/л).

В Нейво-Рудянском и Верх-Нейвинском водохранилищах и р.Нейве в черте населенных пунктов наблюдается повышенная биологическая продуктивность, на это указывают высокие значения БПК<sub>20</sub> (до 8,8 мг/л), ХПК (до 44 мг/л).

Причиной загрязнения является сброс сточных вод с очистных сооружений биологической очистки и ливневых вод с территорий населенных пунктов, которые поступают по обводному каналу в р.Нейву, а затем в Нейво-Рудянское водохранилище.

В течение последних нескольких лет в АО «УЭХК» методично выполнялись мероприятия, направленные на прекращение сброса сточных вод, содержащих радионуклиды. Итогом проведенной работы стал факт, что начиная с 2006 года, сброс радионуклидов в поверхностные водные объекты прекращен.

Основная цель объектного мониторинга – получение достоверной информации о воздействии ядерно-радиационно-опасных объектов на состояние недр, необходимой для оценке радиоэкологической безопасности при эксплуатации и выводе из эксплуатации этих объектов, информационного обеспечения управляющих решений по реализации природоохранных мероприятий.

К числу компонентов природной среды, контролируемых системой наблюдения объектного мониторинга, относятся почвы, грунты зоны аэрации, подземные и поверхностные воды и донные осадки. Объекты атомной отрасли могут оказывать широкий спектр антропогенного воздействия на перечисленные компоненты окружающей среды. Актуальность внедрения объектного мониторинга на предприятиях атомной отрасли обусловлена необходимостью практической реализации экологической политики, направленной на снижение и ликвидацию негативного воздействия объектов ядерного наследия на окружающую среду, в том числе и на недра.

#### Литература

1. Глинский М.Л., Глаголев А.В., Дрожко Е.Г. и др. Методические рекомендации по ведению объектного мониторинга состояния недр на предприятиях Госкорпорации «Росатом», Москва, 2010.
2. Маркевич С.С. Аннотационный отчет о выполнении работ по радио- и геоэкологическому мониторингу на предприятиях отрасли. Методическое сопровождение объектного мониторинга состояния недр на АО «УЭХК», 2013.
3. Соловьев Г.С., Климин А.И. и др. Результаты инвентаризации источников сбросов загрязняющих и радиоактивных веществ в промливневую канализацию УЭХК. Новоуральск, 2004.

## **ГЕОФИЗИЧЕСКАЯ УРБОЭКОЛОГИЯ – НОВОЕ НАПРАВЛЕНИЕ В ИЗУЧЕНИИ ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ ГОРОДСКИХ ТЕРРИТОРИЙ**

**А.Д. Жигалин<sup>1</sup>, В.А. Богословский<sup>2</sup>, Е.В. Архипова<sup>3</sup>**

<sup>1</sup> Институт геоэкологии им. Е.М. Сергеева РАН, 101000, г. Москва, Уланский пер., д. 13, стр. 2.  
E-mail: zhigalin.alek@yandex.ru

<sup>2</sup> Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова,  
119991, г. Москва, Ленинские горы, д. 1. E-mail: bogos@geol.msu.ru

<sup>3</sup> Международный университет природы, общества и человека «Дубна»,  
141980, Московская область, г. Дубна, Университетский пр., д. 19. E-mail: olenageo@mail.ru

Согласно прогнозам Всемирной организации здравоохранения к 2050 году в больших и малых городах будут жить 70% населения мира. Это означает, что более двух третей населения планеты станут по сути дела активной частью нового природно-технического образования – геобиотехноэкосистем. Геобиотехноэкосистемы в данном контексте следует рассматривать как экосистемы, для которых характерны глубокие изменения природных свойств под воздействием активной деятельности человека. Такого рода измененные экосистемы присущи районам интенсивного хозяйственного освоения и, не в последнюю очередь, урбанизированным территориям.

Урбанизация стала доминирующей демографической тенденцией конца XX века. Нарастание процесса урбанизации получило название «Городской революции». Только за двадцать лет с 1950 по 1970 гг. прирост численности горожан в мире был немногим меньше, чем общее число городских жителей за всю предыдущую историю человечества, а за последующие 20 лет численность городского населения увеличилась еще на две трети. Всего же за вторую половину прошлого века численность городского населения мира выросла почти в три раза, и в первой четверти XXI в. тенденцию к дальнейшему значительному росту городского населения сохраняется.

Рассматривая человека (*Homo Faber*) в качестве активного действующего лица во взаимодействии с объектами окружающего мира, следует иметь в виду, что значительная часть этого «окружающего мира» на урбанизированных территориях является продуктом деятельности самого человека. Создавшаяся ситуация породила новое направление в научно-практических исследованиях, получившее название «урбоэкология».

Круг проблем, относящихся к компетенции специалистов, работающих в этой области знания, достаточно широк и многообразен. Главными объектами изучения являются человек и условия его существования в урбанизированной среде, человеческие поселения в природном окружении и многообразные прямые и обратные связи между окружающей средой и человеком как биологическим видом, так, в то же время, и социальным существом. Традиционно, основной упор при рассмотрении взаимодействия человека с остальными составляющими геобиотехноэкосистемы делается на оценку степени

химической загрязненности атмосферы, грунтовых вод и поверхностных водоемов, удаление бытовых и промышленных отходов, не без основания полагая именно эти экологические аспекты урбанизации в качестве основных факторов формирования общей экологической обстановки на контролируемых территориях. При этом, однако, незаслуженно обойденными оказываются техногенные физические поля, определяющие «экологическую энергетику» территорий городов любых рангов и промышленных центров. Иногда рассматриваются проблемы, связанные с шумовым (акустическое физическое поле) загрязнением, но, как правило, лишь в сочетании с транспортным загрязнением атмосферного воздуха и почвенного слоя. В то же время иные виды физического (энергетического) загрязнения среды городов и промышленно-городских агломераций, а именно, последствия электромагнитного, температурного, радиационного и вибрационного видов воздействия следует также считать существенными факторами, определяющими экологическую обстановку на той или иной освоенной территории.

Вопросы, связанные с оценкой специфических экологических, в данном случае энергетических, условий, которые формируются на территориях интенсивного промышленного освоения и/или плотной городской застройки, возникали давно. Однако до некоторых пор в силу разных причин они сводились традиционно, как упоминалось выше, к оценке химического загрязнения окружающей среды. «Геофизическим» вкладом в разрешение этих вопросов явилось появление в конце прошлого столетия нового фундаментального направления – геофизической экологии, ориентированного, с одной стороны, на решение ординарных экологических задач с использованием геофизических методов, а с другой стороны, рассмотрением условий взаимовлияния совокупной, природной и техногенной, энергосферы на живые организмы. Существенной проблемой, обозначившейся в рамках этого направления геофизической науки, стала оценка воздействия природных (геофизических) и техногенных (физических) полей на население больших и малых городов, мегаполисов и крупных промышленно-городских агломераций.

Сравнительное изучение возможного влияния на городское население геофизических и технофизических (так можно квалифицировать физические поля искусственного происхождения) полей различных видов показало, что наиболее «воздействующими» являются поля следующих видов: акустическое (шумовое), вибрационное (поле механических колебаний), электромагнитное и температурное. К этому перечню можно добавить также и радиационное поле. Однако, по мнению авторов, «воздействие» радиационного поля в городах может рассматриваться, скорее, как фактор психологического, нежели реального физического, воздействия на горожан. Проведенные в разных населенных пунктах наблюдения показали, что, с экологических позиций, радиационная обстановка практически везде оказывалась благоприятной, в определенной мере развеивая упорно насаждаемый миф о повсеместной радоновой опасности.

Оценивая уровень техногенного физического (энергетического) воздействия, следует руководствоваться положением о суперпозиции (наложе-

ния) природных (геофизических) и техногенных (физических, или технофизических) полей. При этом также следует иметь в виду существенное превышение технологического уровня физических полей над характеристиками их геофизических аналогов и, что более существенно, над «разрешенными» санитарными нормами. Так, для акустического (шумового) поля технологический уровень, измеряемый, в относительных единицах составляет от 65-80 до 100-130 дБ, тогда как природный шум характеризуется уровнем в 20-30 дБ. Санитарный уровень шумового поля в ординаре не должен превышать 40-65 дБ. Для теплового поля при «нормальном» уровне температуры (для грунтов основания фундаментов) от -2 до +10°C технологический уровень варьирует в широких пределах от -160 до 800-1500°C при рекомендуемой температуре в жилых домах и служебных помещениях 16-24°C. Эти и другие примеры показывают, что в пределах площадей плотной городской застройки, промышленных зон и других территорий интенсивного освоения существуют специфические гео- и технофизические условия, изучение которых необходимо для понимания формирования экологической обстановки, с одной стороны, и оценки условий жизнедеятельности населения, живущего на таких территориях.

Акустическое (шумовое) воздействие в пределах городских территорий представляет собой фактор номер один среди прочих энергетических факторов. Это объясняется, прежде всего, тем, что шум воспринимается имеющимися у человека слуховыми органами непосредственно, а действие этого фактора может по длительности составлять в зависимости от транспортной ситуации от 10 до 22 часов. Следует также иметь в виду, что наш организм воспринимает звуковые волны как в слышимом (частота от 20 Гц до 20 кГц), так и инфразвуковом (частота ниже 20 Гц) диапазонах, из которых инфразвуковой диапазон является наиболее биоактивным.

Вибрационное поле – поле механических колебаний, создаваемое движением транспортных средств, промышленным оборудованием, строительными машинами и механизмами и другими объектами, передается через плотные среды. Это поле воспринимается людьми, либо тогда, когда они заняты на производстве в тех процессах, где задействованы виброгенерирующие устройства, либо, на бытовом уровне, тогда, когда они пользуются городским транспортом или проживают в домах, где, например, временно производится серьезный ремонт.

Электромагнитное поле также является существенным фактором прямого техногенного физического воздействия. В отличие от акустического и вибрационного полей, электромагнитное поле в силу специфики прохождения электромагнитных волн характеризуется «беспредельностью» распространения. Конечно, находясь в четырех стенах жилых или служебных помещений, городской житель вправе рассчитывать на защиту от генерируемого различными источниками электромагнитного излучения в широком диапазоне частот. Однако свое собственное жилье, бытовые условия и работу он обеспечил электро- и радиотехническим оборудованием в таком объеме, что по доброй воле оказался объектом массивированного электромагнитного воз-

действия. Для примера можно привести результаты измерения магнитной составляющей (магнитной индукции) электромагнитного поля на станции метрополитена в момент прибытия поезда, а также в помещениях различного назначения. При измерениях в Московском метрополитене на станциях оказалось, что величина магнитной индукции достигала 1600-1820 нТл при экологически безопасном уровне в 250 нТл. В заводских производственных и служебных помещениях измеренный уровень электромагнитной индукции варьировал от 90 до 1600 нТл, в помещениях, принадлежащих учебному заведению, изменялся от 20 до 110 нТл, а в жилых помещениях – от 60 до 270 нТл. Отмечается также увеличение электромагнитного поля вблизи крупных торговых центров, вокзалов, уличного электротехнического оборудования (трансформаторные подстанции, бойлерные и др.), а также иных объектов, генерирующих, преобразующих, передающих и использующих электрическую энергию.

Техногенное тепловое воздействие заметно влияет на общий температурный режим в пределах городской территории. Раньше обращали внимание на формирование так называемых тепловых куполов – прогреваемых городом верхних слоев геологического субстрата. Прогрев обнаруживается на глубинах до 30-50 м в зависимости от степени освоения подземного пространства и свойств грунтов, лежащих в основании городской территории. Хорошо известно, что в городах (особенно, в больших мегаполисах) намного теплее, чем за пределами города или в сельской местности. Городские жители раньше других ощущают приход весны, а зима наступает гораздо позже. Это явление называется эффектом теплового городского острова. Оценка этого явления с экологических (и медицинских также) позиций демонстрирует неоднозначность точек зрения. Так, например, многие жители радуются этому сдвигу сезонов, но для части их такое искусственное тепло становится причиной ухудшения самочувствия, а зачастую и причиной развития некоторых серьезных заболеваний.

Наряду с продемонстрированными факторами прямого геофизического (энергетического) воздействия, следует также обратить внимание на роль опосредованного воздействия, например, таких видов физических полей, как вибрационное, электрическое (блуждающие токи) и тепловое.

Вибрация (механическое колебание, по своей природе), несмотря на относительно незначительные амплитуды, но в силу непрерывности и длительности воздействия, вызывает преждевременное старение строительных конструкций и «износу» геологического субстрата фундаментов сооружений и может способствовать деструкции самих фундаментов. Это в полной мере может быть отнесено и ко многим элементам городской инфраструктуры, включая трубопроводные коммуникации.

Электрическое (блуждающие токи) и тепловое поля усиливают действие коррозионных процессов, что также негативным образом сказывается на сохранности металлических и железобетонных конструкций, находящихся ниже уровня земной поверхности.



Таков краткий (по сути, тезисный) перечень эколого-геофизических проблем, с которыми приходится сталкиваться при оценке общей геоэкологической обстановки на территории городов вне зависимости от их ранга. Исследования показали, что такие проблемы ощутимо существуют как в мегаполисах и «городах-миллионниках», так и в городах, насчитывающих существенно меньшее число жителей. Различие между городами разного ранга состоит не в наличии или отсутствии проблем, а только в их «остроте». Из этого неизбежно следует необходимость расширения специальных исследований, направленных на изучение факторов формирования в городах аномальных зон физических полей искусственного происхождения, соотношения их с природными геофизическими полями и влияния совокупности этих полей на здоровье городского населения. В перспективе следует, опираясь на опыт и степень проработанности эколого-геофизического направления в геофизической науке, рассмотреть вопрос о создании в рамках уже существующего научного направления – урбоэкологии отдельного раздела, который, по мнению авторов, сохраняя преемственность по отношению к геофизической экологии, вполне можно назвать, например, «Геофизическая урбоэкология».

## **ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ НЕВСКОГО ПОДЗЕМНОГО ХРАНИЛИЩА ГАЗА С ПОЗИЦИИ НЕЛИНЕЙНОЙ ГЕОДИНАМИКИ**

**Э.Р. Казанкова, Н.В. Корнилова**

ИПНГ РАН, 119333, г. Москва, ул. Губкина, д. 3  
E-mail: Elvira.Kazankova@mail.ru, nataliakornilova@rambler.ru

Решение любых геоэкологических проблем возможно только на основе создания нелинейных геодинамических моделей пространственно-временной организации, взаимосвязи и соподчиненности разномасштабных и разноуровневых геологических структур современного напряженно-деформированного состояния литосферы: глобальных, региональных и локальных. Исследования в области системно-геодинамических процессов на основе оценки напряженно-деформированного состояния среды могут стать хорошей основой для геоэкологического районирования изучаемой территории [1].

В рамках системного подхода к исследованию свойств геолого-геофизической среды как геодинамической системы важное место занимает изучение напряженно-деформированного состояния среды в полях напряжений [2]. Геодинамические процессы являются следствием изменений состояния массива горных пород, которые происходят под влиянием естественных (природных) и техногенных факторов. «Состояние» массива – набор физических свойств, присущих породам в данных конкретных условиях, и характер

протекающих в них процессов на протяжении суток значительно изменяется. Любое малое воздействие на массив горных пород вызывает в них поток энергетических преобразований через физико-химические, механоэлектрические, механохимические и иные реакции.

Чрезвычайно сложное взаимодействие в природно-технических системах природных объектов и видов технической деятельности определяет сложность ее изучения и определения порога опасности. Подземные хранилища газа представляют собой природно-технические системы, характеризующиеся тесной взаимозависимостью с активной, нелинейной и изменчивой во времени геолого-геофизической средой, установленными связями составляющих их элементов и конкретными механизмами реализации этих связей.

В настоящее время создана новая область науки – техногенная геодинамика – «предметом изучения которой являются динамические явления в приповерхностной области земной коры, обусловленные технологической деятельностью человека» [6].

Эксплуатация подземных хранилищ газа оказывает существенное влияние на ход современных геодинамических процессов. Природное неустойчивое равновесие среды нарушается, в пластах происходят взаимодействия типа: вмещающие породы – подземные воды – органическое вещество – растворенные газы, в том числе частично или полностью не поддающиеся контролю. Происходят основные изменения напряженного состояния горных пород.

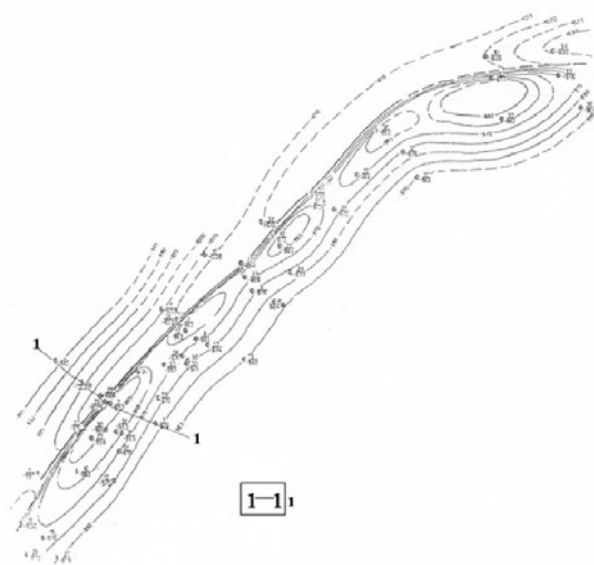
Невское подземное хранилище газа (ПХГ), расположенное в Крестецком районе Новгородской области, является самым крупным хранилищем газа на северо-западе России [7].

С позиции нелинейной геодинамики Невское поднятие находится в условиях преобладания сдвиговых деформаций и вертикальных колебаний [5]. В тектоническом отношении поднятие приурочено к зоне сочленения Балтийского щита и Московской синеклизы, поэтому в его геологическом строении проявились тектонические особенности, присущие как Балтийскому щиту, так и Московской синеклизе. Длительное прогибание фундамента Московской синеклизы и одновременное воздымание Балтийского щита привело к формированию здесь тектонически активной зоны, отличающейся сложным строением и многочисленными тектоническими нарушениями, которые образуют настолько густую сеть, что на отдельных участках расстояние между крупными параллельными разломами не превышает 10 км.

В конце протерозойского времени образование Невской структуры сопровождалось разрывами сплошности слоев с амплитудой разлома порядка 20 метров. Для более молодых осадочных образований – характерно наличие лишь пликативных дислокаций. Наличие нарушения подтверждается как геологическими, так и гидродинамическими материалами. Структура приурочена одноименному выступу кристаллического фундамента, четко фиксируется по всем осадочным горизонтам и представляет собой асимметричную брахиантиклинальную складку северо-восточного простирания. Ее северо-западное крыло более крутое и сопряжено с флексурой. По северо-западному крылу,

в отложениях гдовского горизонта, в скв. 32-Р, 17-Р, 26-Р, 25-Р установлено разрывное нарушение, протягивающееся вдоль флексуры. В северо-восточной части Невского поднятия было установлено, что тектоническое нарушение продолжает протягиваться вдоль северного крыла структуры, меняя при этом свое простирание на восточное. По кровле первого песчаного пласта гдовского горизонта верхнего протерозоя Невская поднятие представляет собой структуру с размерами 1,8 на 20 км по замкнутой изогипсе минус 970 м и амплитудой 7-13 м. Структура осложняется пятью отдельными небольшими поднятиями амплитудой от 3 до 8 м.

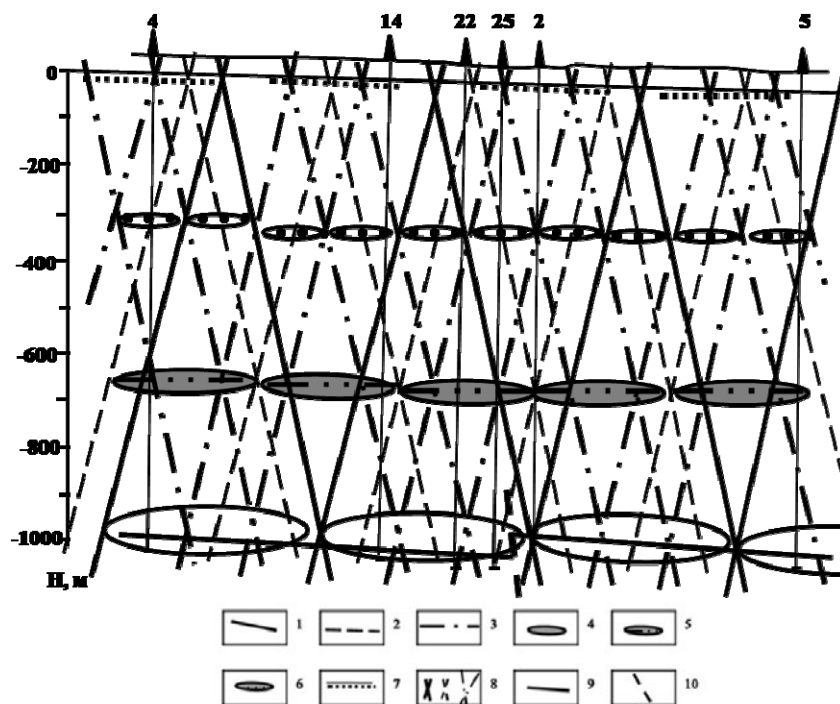
Для подземного хранения газа, в качестве пласта – коллектора, используется первый песчаный пласт гдовского горизонта верхнего протерозоя, залегающий на породах кристаллического фундамента, представленными гнейсами и гранито-гнейсами. Глубина залегания гдовского пласта колеблется от 1035 м в юго-западной части структуры до 1195 м в северо-восточной. Пласт представлен отложениями песчаника с тонкими прослоями алевролитов и реже глин. Мощность отложений колеблется от 2-3 м в юго-западной части структуры до 10-12 м в северо-восточной. С уменьшением мощности песчаного пласта увеличивается степень его глинизации и изменяется фациальный состав пород, и как следствие этого ухудшаются его коллекторские свойства. Покрышкой служат гидрослюдистые глины, мощностью 7-9 м, залегающие непосредственно на первом песчаном пласте (рис. 1).



**Рис. 1. Структурная карта Невского поднятия по кровле первого песчаного пласта гдовского горизонта (Пейсик М.И., Лерман В.А.):**

*1* – линия профиля

В результате анализа структуры поля напряжений территории подземного хранилища газа установлено, что Невское поднятие сформировано в условиях действующих на него усилий преимущественно восходящего вектора поля напряжений с глубины 10,5 км [4] (рис. 2).



**Рис. 2. Двумерная структура поля напряжений Невского поднятия (Казанкова Э.Р., Корнилова Н.В.):**

векторы касательных напряжений, действующих с глубин:  
 1 – 975 м, 2 – 650 м, 3 – 320 м; уровни, наиболее благоприятные для аккумуляции флюидов на глубине: 4 – 975 м, 5 – 650 м, 6 – 320 м; 7 – участки, наиболее вероятного скопления флюида на нулевой отметке; 8 – участки пересечения векторов касательных напряжений, действующих с различных уровней; 9 – кровля первого песчаного пласта гдовского горизонта; 10 – линия разлома

В объеме всей структуры были выделены:  
 – благоприятные уровни возможной наибольшей аккумуляции газа на глубинах -975 м и нулевой отметке относительно уровня моря;  
 – на этих же и других уровнях участки возможных изменений пласта коллектора и покрышки, характеризующиеся изменением литологического состава пород (зоны уплотнения и разуплотнения, скв. 2, 5, 61, 65 и др.);

- трещины отрыва, скалывания; области возможного заполнения газом на глубинах -320, -650, -975 м;
- участки возможного возникновения вертикальных движений на глубинах -79, -162, -320, -485 м;
- возможные субгоризонтальные перетоки и отжим газа в северо-восточном, юго-западном и юго-восточном направлениях;
- участки локализации и возможного выхода газа на дневную поверхность, проникновения углеводородов в водоносные горизонты.

Как отбор, так и закачка газа в пласт изменяют объем трещинного и порового пространства, внутрислоевого давление, свойства самого флюида; эти процессы протекают гораздо быстрее и контрастнее, чем естественные геодинамические, и таким образом возникает несогласованность техногенных воздействий на среду с ее естественным состоянием [5]. Техногенные электромагнитные поля от мощных установок вызывают изменения горных пород – разогрев, разуплотнение, повышение электропроводности и другие. В плане рассматриваемой проблемы геологические структуры и горные породы накладываются на техносферные поля, и при совпадении фаз суммарное поле будет характеризоваться резко выраженной аномалией.

**Заключение.** На основе методов районирования территории по степени геодинамической неустойчивости решаются проблемы определения геоэкологического риска при техногенном воздействии. Исследования позволяют оценить степень вовлеченности геодинамических процессов различного масштаба в процесс функционирования объектов нефтяной и газовой промышленности, что позволяет прогнозировать развитие экологической ситуации.

Таким образом, создана природно-техническая геодинамическая система, особенности строения и функционирования которой определяются сложностью и большим разнообразием способов техногенного вмешательства в геофизическую и окружающую среду. Такие же системы формируются на всех подземных хранилищах газа.

#### Литература

1. Казанкова Э.Р., Судо Р.М. Нелинейная геодинамика и экология недр (с позиции самоорганизации полей напряжений) // Фундаментальный базис новых технологий нефтяной и газовой промышленности. М., 2000. С. 359-364.
2. Казанкова Э.Р. Принципы системной организации полей напряжений в литосфере // Газовая промышленность. 1997. № 7. С. 39-42.
3. Казанкова Э.Р., Корнилова Н.В. Геодинамические и геоэкологические условия размещения подземных хранилищ газа (ПХГ) на территории Восточно-Европейской платформы // Тез. 5-й Междунар. конф. «Новые идеи в науках о земле». М., 2001. С. 231.
4. Казанкова Э.Р., Корнилова Н.В. Геоэкологические проблемы Невского подземного хранилища газа // Материалы конференции «XVI Губкинские чтения», РГУ нефти и газа им. И. М. Губкина. М., 2002.
5. Казанкова Э.Р., Корнилова Н.В., Судо Р.М. Гидрогеоэкологические аспекты эксплуатации подземных хранилищ газа // Материалы Всероссийской конференции «Гидрогеологические проблемы нефтегазового комплекса», посвященной 85-летию профессора А.А.Карцева. Москва: ИПНГ РАН, 2010. С. 450-455.

6. Мальшев Ю.Н., Сагалович О.И., Лисуренко А.В. Техногенная геодинамика. Кн. 1, 2. М.: Недра, 1996. 903 с.

7. Официальный сайт АО «Ленгазспецстрой». Режим доступа: <http://www.lgss-spb.ru>.

## **ИССЛЕДОВАНИЕ УСТОЙЧИВОСТИ БОРТОВ КАРЬЕРА С УЧЕТОМ ВЛИЯНИЯ ПОДЗЕМНЫХ ВОД НА ПРИМЕРЕ ТЕРРИТОРИИ КАРЬЕРА «ПЕЧУРКИ»**

**В.Н. Кондакова**

СПбГУ, г. Санкт-Петербург, Университетская наб., д. 7/9.

E-mail: vkondakova9@yandex.ru

Открытые горные работы вследствие своей эффективности приобретают все большее развитие. В Ленинградской области примером крупного предприятия по добыче известняка открытым способом и его переработке является Сланцевский цементный завод «Цесла», разрабатывающий месторождение известняков карьера «Печурки». Потенциальная опасность при освоении месторождений данным способом заключается в возникновении и развитии комплекса негативных геодинамических и экзогенных геологических процессов вследствие нарушения устойчивости бортов карьера, что непосредственно связано с изменением гидрогеологических условий. Расчет устойчивости бортов карьеров и отвалов способствуют эффективной и безопасной отработке месторождений, позволяет избежать экономических и экологических потерь при обрушении борта, что и обуславливает актуальность данной работы. Несмотря на сравнительно небольшие площади и глубину выработки, на примере карьера «Печурки» существует возможность исследовать на практике физико-механические основы устойчивости откосов бортов карьерных выработок и оценить возможность обрушения массива горных пород борта карьера.

Цементные известняки Сланцевского месторождения приурочены к Карадокскому ярусу Среднего отдела Ордовикской системы. Известняки представляют собой породы средней крепости, скрытокристаллические, тонкослоистые, иногда кавернозные. Весь массив карбонатных пород разбит вертикальными трещинами. Главными литологическими особенностями пласта известняков является их плитчатость, наличие в нем прослоев глин, доломитов и карстовых зон [4].

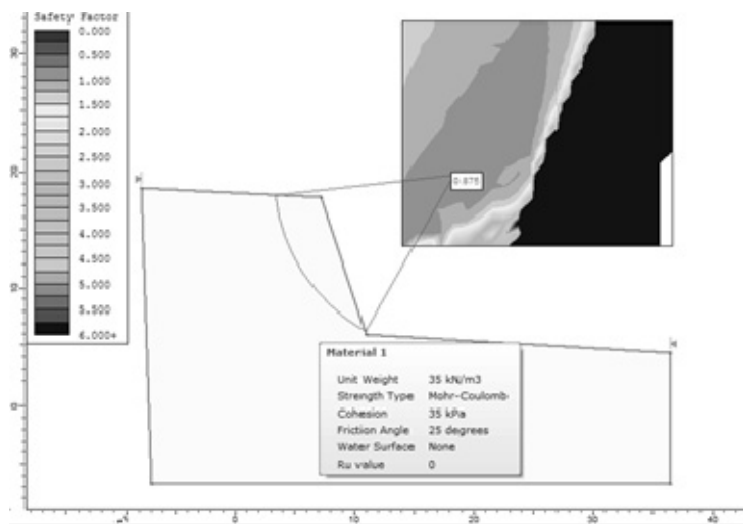
На участке «Печурки» повсеместное развитие имеют два водоносных горизонта: четвертичный, приуроченный к пескам водно-ледникового происхождения, и Ракверский горизонт, развитый в известняках полезной толщи. Воды безнапорные. Водоносные горизонты практически не осложняют отработки известняков. На изучаемой территории вследствие длительной работы

системы водоотлива, состоящей из 3 насосных станций, дренажных канав и водосборников, в водоносном горизонте, приуроченном к известнякам полезной толщи, сформировалась депрессионная воронка [4].

В результате численного моделирования существующих на карьере гидрогеологических условий в компьютерной программе Processing Modflow 5.3 были определены гидростатические напоры на разных участках карьера. С помощью созданной модели гидрогеологических условий построен разрез участка, на котором была рассчитана депрессионная кривая. На основании положения предполагаемой депрессионной кривой был сделан вывод о возможности обводнения северного борта, в то время как в южной части уровень подземных вод находится ниже отметок подошвы продуктивной толщи.

Для известняков полезной толщи обводненного и необводненного бортов карьера, одного отвала вскрышных пород были рассчитаны коэффициенты запаса устойчивости [2, 5]. Исследуемые в первых двух случаях известняки литологически схожи, но не соответствуют друг другу степени водонасыщенности [1].

Расчеты выполнялись упрощенным методом круглоцилиндрической поверхности скольжения [5]. В результате были построены чертежи призм возможного обрушения, с помощью которых рассчитаны коэффициенты устойчивости для всех трех случаев [2]. Также аналогичным методом произведены расчеты при помощи компьютерной программы Slide 6.0.



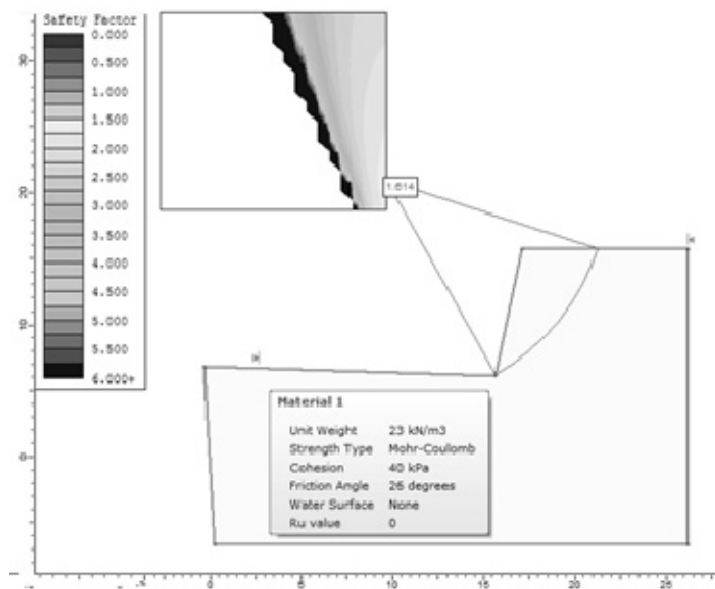
**Рис. 1. Расчет устойчивости обводненного борта карьерной выработки при помощи компьютерной программы «Slide 6.0»**

Основываясь на стадии разработки месторождения, на надежности исходных данных и категорий охраняемых сооружений, коэффициент запаса устойчивости  $\eta$  для исследуемых массивов горных пород был выбран 1,2 [3].

$\eta = 0,87$  для откоса борта карьера, породы которого находятся в обводненном состоянии (рис. 1).  $\eta < 1$ , следовательно, борт находится в неустойчивом состоянии, в котором прогнозируются горизонтальные деформации и возможно возникновение разрушающих целостность горных пород процессов, что можно наблюдать на рабочем участке карьера «Печурки» (рис. 2).



**Рис. 2. Разрушающийся борт карьера, с местами высачивания подземных вод**



**Рис. 3. Расчет устойчивости обводненного борта карьерной выработки при помощи компьютерной программы «Slide 6.0»**



$\eta = 1,61$  для борта, породы которого не обводнены (рис. 3)  $\eta > 1,2$ , следовательно, борт находится в устойчивом состоянии, при котором возникновения горизонтальных деформаций в массиве не прогнозируется.

$\eta = 1,08$  для массива вскрышных пород отвала.  $1 < \eta < 1,2$ , что свидетельствует о том, что откос находится в предельном состоянии, в котором начинается развитие деформаций.

Основываясь на исходных и расчетных данных, был сделан вывод о прямой зависимости физико-механических свойств горной породы от ее обводненности: при увеличении содержания влаги в породе, значения таких показателей, как сцепление и угол внутреннего трения уменьшаются. Это в свою очередь приводит к нарушению устойчивости всего массива, и, как итог, происходит обрушение борта выработки.

Таким образом, важным этапом разработки месторождения является наблюдение за изменением устойчивости борта выработки, проектирование систем водопонижения уровня подземных вод и карьерного водоотлива, а также проведение противодеформационных мероприятий и маркшейдерский контроль устойчивости бортов. Выполнение численного моделирования гидрогеологических условий также позволяет оценить изменения, происходящие вследствие разработки месторождения полезных ископаемых.

#### Литература

1. Методические рекомендации по сбору инженерно-геологической информации и использованию табличных геотехнических данных при проектировании земляного полотна автомобильных дорог. М., 1981.
2. Мироненко В. А., Шестаков В. М. Основы гидрогеомеханики. – М.: Недра, 1974. – 296 с.
3. Оценка устойчивости бортов карьеров (разрезов) и отвалов: метод. указания / сост. А.А. Григорьев, Е.В. Горбунова, А.Н. Девяткина. – Владивосток: Изд-во ДВГТУ, 2009. – 37 с.
4. Отчет о выполнении работ по объекту: «Оценка эксплуатационных запасов питьевых подземных вод на действующих водозаборах ОАО «Сланцевского цементного завода «Цесла» в г. Сланцы Ленинградской». ОАО «Сланцевский цементный завод Цесла» Северо-Западное Государственное геологическое предприятие «Севзапгеология». Г. Санкт-Петербург 2006 г. // Росгеолфонд по Северо-Западному ФО. Ед. хр. 27534.
5. Правила обеспечения устойчивости откосов на угольных разрезах, Межотраслевой научный центр ВНИМИ. – С.-Петербург, 1998.

## ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКИЕ И ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ НАРВСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА И ИХ ИССЛЕДОВАНИЯ

**Н.Г. Корвет**

Санкт-Петербургский Государственный университет,  
199034, г. Санкт-Петербург, Университетская наб., 7/9. E-mail: n.korvet@spb.ru

На территории Нарвского водохранилища, расположенного на западе Ленинградской области на границе с Эстонией, значительное влияние на состояние общей природной обстановки оказывают процессы всплывания торфа и образования плавучих островов (сплавин) с последующим дрейфом в сторону Нарвской ГЭС. Эти процессы определяют целый комплекс проблем, представляя потенциальную угрозу функционированию Нарвской ГЭС, а также создают серьезную трансграничную экологическую проблему, связанную с масштабным загрязнением пляжей Нарвского залива Эстонии и России торфяной крошкой и поступлением в Финский залив биогенных веществ [2, 3, 6].

До создания водохранилища около 40% площади занимали территории, сложенные торфами. В 1956 г. в составе сооружений Нарвской ГЭС была построена Нарвская плотина, которая, перегородив русло р. Нарвы, подняла в ней уровень воды на 5 м. После заполнения бассейна водохранилища, его уровень достиг отметки НПУ 25,0 м, и под затопление попали болота, общая площадь которых составляет около 75 км<sup>2</sup>. Основные из них сосредоточены в южной и юго-восточной части водохранилища и в Пятницком заливе. Площадь участков, обладающих активной способностью торфа к всплыванию, составляет около 55-60 км<sup>2</sup>. По данным аэрофотосъемочного материала, до 16 июня 1958 г. торф всплыл на площади около 20 км<sup>2</sup>, за период 1958-1963 гг. – еще на площади 10-15 км<sup>2</sup>. Всего за период 1955-1963 гг. торф всплыл на площади около 30-35 км<sup>2</sup> [4]. К 1977 г. всплывание торфа было зафиксировано на общей площади 42 км<sup>2</sup> [5]. В последующие годы процесс замедлился, но, как было отмечено, в ограниченном масштабе наблюдается до настоящего времени.

Данная проблема изучалась различными организациями в 1958, 1964 и 1975-1977 гг., но многие из поставленных задач не были решены в достаточной степени. В последующие годы произошло значительное изменение состояния природной обстановки в водохранилище и его береговой зоне, что потребовало комплексного изучения проблемы, на новом уровне, с применением современных методов исследований, которое проводилось в 2011-2012 гг. Всероссийским научно-исследовательским геологическим институтом им. А.П. Карпинского (ВСЕГЕИ) при участии специалистов ряда организаций. В ходе выполнения работ была разработана и апробирована методика исследований, основой которой являлись методы морской геологии, геофизи-

ки, экологической геологии, океанологии и дистанционных методов зондирования. Они включали: геолого-геоморфологические, ландшафтные и геоботанические исследования береговой зоны, геолого-геофизические исследования дна Нарвского водохранилища, гидрологические, эколого-геологические, инженерно-геологические исследования. Были изучены рельеф, поверхностные отложения, эколого-геологическое состояние дна Нарвского водохранилища; строение, состав и морфология сплавинных берегов и островов, выявлены причины и скорости их формирования, разработан прогноз морфолитодинамических процессов в береговой зоне. По результатам тематического дешифрирования космических снимков и данных полевых наблюдений составлены карты-схемы побережья и дна Нарвского водохранилища [2, 3].

Необходимой составляющей для оценки возможности проявления рассматриваемого процесса являлась оценка инженерно-геологических условий территории Нарвского залива и его береговой зоны [1]. С этой целью, в составе общего комплекса работ проводились полевые и лабораторные методы исследований физико-механических свойств отложений на ключевых участках, как в пределах акватории, так и прилегающей суши. Также были использованы данные большого объема фондовых (картографического и текстового материала) и литературных источников (за период с 1945 г. по настоящее время) по результатам работ, проводимых на данной территории для различных целей. Полученные, в результате их обобщения и анализа, данные о пространственных соотношениях грунтов различного состава, состояния и свойств в акватории Нарвского водохранилища и береговой части, были использованы при картографировании территории с созданием инженерно-геологической карты и схемы инженерно-геологического районирования. На данных картографических моделях обобщена и представлена информация, характеризующая распространение участков формирования опасных сплавин в Нарвском водохранилище. Инженерно-геологическая карта, наряду с другими картографическими материалами, составленными для исследуемой территории, входит в ГИС Нарвского водохранилища, включающую следующие слои: литологическая карта дна водохранилища, инженерно-геологическая карта, геоморфологическая карта дна и берегов водохранилища, ландшафтная карта берегов, карта типов берегов, карта техногенной нагрузки, карта развития опасных геологических процессов.

В результате проведенных комплексных исследований Нарвского водохранилища получена важная информация о строении и свойствах сплавинных берегов и плавучих островов водохранилища, определены основные причины и скорости их образования, а также участки распространения.

Всплыванию торфа на водохранилище способствовали незначительные глубины (2-2,5 м), высокая температура придонных вод в летний период, свойства торфяных залежей и характер контакта с подстилающими ледниково-озерными отложениями. Дополнительным фактором, способствующим его всплыванию, являлось тепловое загрязнение со стороны Эстонской и Балтийской ЭС. На начальных этапах существования водохранилища всплыванию

торфяников препятствовала закоряженность его дна и наличие большого количества затопленных стволов деревьев.

В результате всплытия торфа сформировалась своеобразная «береговая зона» водохранилища, состоящая преимущественно из «сплавинных» массивов. Они представляют собой торфяные слои (мощность 0,5-1,5 м), покрытые почвенным слоем и пронизанные корнями травянистой, кустарниковой и древесной растительности, находящиеся на плаву (глубины под сплавинными берегами 0,5-2,5 м). При этом следует учитывать отсутствие у сплавинных «берегов» подводного берегового склона в его традиционном понимании, и они даже при незначительном волнении подвергаются волновой нагрузке, что способствует их разрушению с формированием дрейфующих торфяных островов, общей площадью до 38 км<sup>2</sup>. В связи с тем, что берега водохранилища на значительном протяжении образованы сплавной, усиление волновой деятельности может приводить к постоянному образованию новых сплавинных островов.

Учитывая значительное распространение сплавинных берегов на Нарвском водохранилище, предотвратить образование плавающих островов в ближайшее время не удастся. Площадь наиболее опасных с точки зрения отрыва сплавин участков берегов в настоящее время составляет 8 км<sup>2</sup>. Проведенные исследования позволили выявить зоны наиболее интенсивного отрыва сплавин, локализованные преимущественно в восточной (устьевой) части Пятницкого залива (южный берег, и, в меньшей степени, северный берег), а также в междуречье Плюсы и Нарвы.

Согласно «Декларации безопасности гидротехнических сооружений Нарвской ГЭС», утвержденной Управлением государственного энергетического надзора Ростехнадзора России от 15.06.2008, и действующим «Правилам эксплуатации Нарвского водохранилища», в случае появления вблизи водосливной плотины и водоприемника ГЭС плавающих торфяных островов, угрожающих безопасной работе ГЭС, совершается пропуск острова через плотину. При открытии затворов плотины остров сбрасывается в нижний бьеф, разделяясь на части. В настоящее время, как считают специалисты, это является единственным способом обеспечить безопасность ГЭС и избежать повреждения гидротехнических сооружений на реке Нарва.

В рамках данного проекта также проводились исследования антропогенного загрязнения донных отложений водохранилища, результаты которых свидетельствуют о низком уровне загрязнения тяжелыми металлами и радионуклидами, что является положительным фактором для экологического состояния нижнего бьефа плотины. Но, как отмечено выше, происходит загрязнение воды, берегов и пляжей водохранилища биогенными веществами, поступающими с остатками торфяных островов и торфяной крошки, в нижний бьеф, в результате спуска в него сплавин. Предотвращение загрязнения необходимо, как с точки зрения недопущения ущерба рекреационной инфраструктуре пляжей Эстонии и России, так и в целях соблюдения международных обязательств РФ в рамках Плана Действий ХЕЛКОМ по Балтийскому морю.

Как показали результаты проделанной работы по всесторонней изученности проблем в природной среде акватории Нарвского водохранилища и его береговой зоны, необходимо ее продолжение, которое заключается, прежде всего, в организации и проведении мониторинга состояния природной обстановки за достаточно представительный отрезок времени, как наиболее эффективного способа получения необходимой информации. Учитывая трансграничный характер проблемы, целесообразна организация специальных двусторонних российско-эстонских исследований.

#### Литература

1. *Корвет Н.Г.* Решение инженерно-геологических задач при комплексных исследованиях торфяных островов в Нарвском водохранилище. // Естественные и математические науки в современном мире / Сб. ст. по материалам XXVIII международной научно-практической конференции № 3. – Новосибирск: Изд. «СибАК», 2015. – С. 106-111.
2. *Корвет Н.Г., Спиридонов М.А., Рябчук Д.В., Сухачева Л.Л., Сергеев А.Ю., Дронь О.В.* Исследование Нарвского водохранилища с целью изучения образования торфяных островов // Грунтоведение, 2015. – № 1. – С. 35-42.
3. *Корвет Н.Г., Спиридонов М.А., Рябчук Д.В., Сухачева Л.Л., Дронь О.В.* Нарвское водохранилище. Исследования причин и скорости образования плавучих островов и разработка рекомендаций по предотвращению их негативного воздействия и стабилизации берегов водохранилища. Фундаментальные проблемы воды и водных ресурсов: Труды Четвертой Всероссийской научной конференции с международным участием. – М.: ИВП РАН, 2015. – С. 420-422.
4. *Молкин Г.С.* Всплывание торфа на затопленных болотах при создании водохранилищ. Труды Ленгидропроекта, сб.7. – Л., 1968. – С. 196-209.
5. *Финаров Д.П., Лапинская Т.Д., Живкович Л.А., Кузнецова Л.Г.* Анализ опыта борьбы с всплывающими торфяниками на водохранилищах. Тр. координационных совещаний по гидротехнике, вып. 122 «Энергия». – Л., 1977. – С. 160-164.
6. *Ярвик А., Туровский А., Кадакас В.* Нарвское водохранилище – важный объект трансграничного сотрудничества на основе принципов уравновешенного развития / Река Нарва и Нарвское водохранилище. – Тарту, 2000. – С. 37-42.

### ОСОБЕННОСТИ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ИЗЫСКАНИЙ И ОПЫТ ПОВЫШЕНИЯ НЕСУЩЕЙ СПОСОБНОСТИ ЗАГРЯЗНЕННЫХ ГРУНТОВ В ГОРОДСКИХ УСЛОВИЯХ МОСКОВСКОЙ ОБЛАСТИ

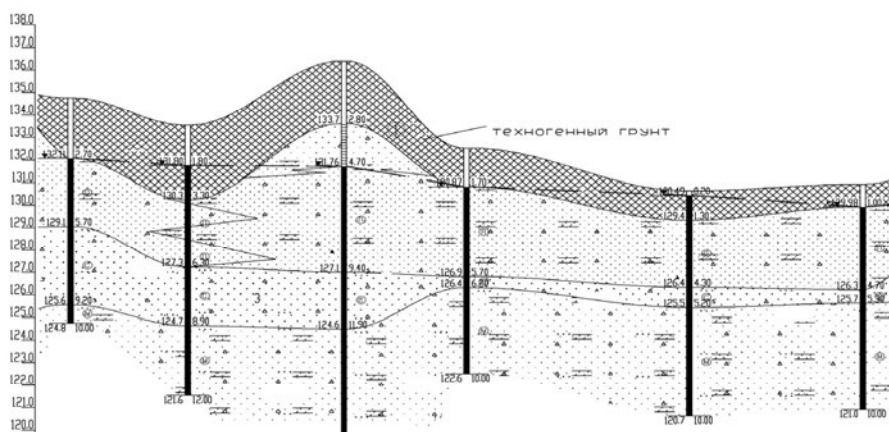
**Д.З. Кочев, С.В. Алексеев, В.А. Алексеев**

ООО «Инжгеосервис», 129344, Москва, Енисейская, 2, стр. 2.  
E-mail: Kochev05@Rambler.ru

Москва и Московская область являются динамично развивающимся регионом, где нередко приходится производить строительство в сложных геологических условиях. Так, при реализации проекта строительства жилого

массива в г. Котельники Московской области застройщики столкнулись со сложной задачей сооружения многоэтажных зданий в техногенных тиксотропных грунтах, зараженных нефтепродуктами (НП).

На месте котлована ранее в течение многих лет была расположена нефтебаза, а после её ликвидации и извлечения емкостей для хранения нефтепродуктов выемка была заполнена преимущественно песками пылеватыми и мелкими, с прослоями супесей и суглинков (рис. 1).



**Рис. 1. Схема распространения техногенных грунтов**

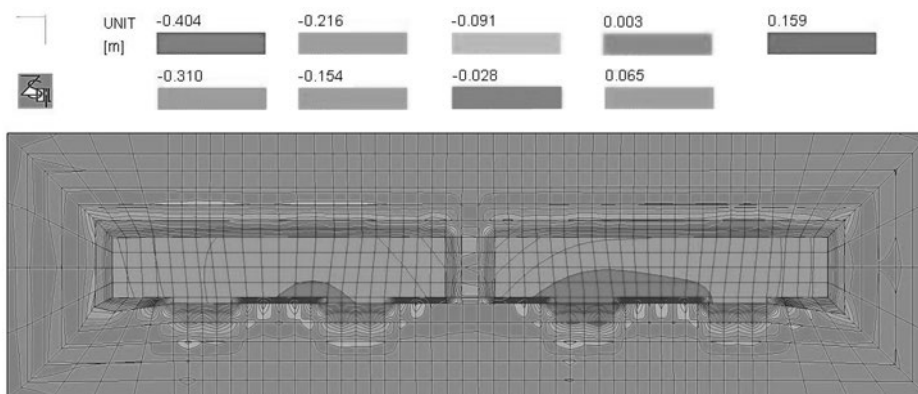
При проведении инженерно-геологических изысканий по техническим причинам пробурить скважины по центру строительной площадки не представилось возможным. При вскрытии этих грунтов было отмечено, что насыпные пески загрязнены НП и характеризуются плавунными свойствами и, соответственно, низкими прочностными и деформационными показателями (пески оплывают, практически не держат откос и характеризуются низкой несущей способностью) и не могут быть использованы в качестве основания проектируемого сооружения. Организовать строительный водоотлив в этих условиях было практически невозможно.

В связи с тем, что по бортам котлована были устроена неглубокая шпунтовая завеса, организовать дополнительное углубление котлована с выемкой слабых грунтов не представлялось возможным.

Проведённые расчеты показали, что без дополнительных мероприятий расчетные показатели осадок превысят нормативные (рис. 2). В соответствии с СП 22.13330.2011 «Основания зданий и сооружений», допустимые значения деформаций фундаментов были приняты как для многоэтажных бескаркасных зданий монолитной конструкции с несущими стенами (приложение Д, табл. Д.1). Соответственно значения относительной разности осадок не

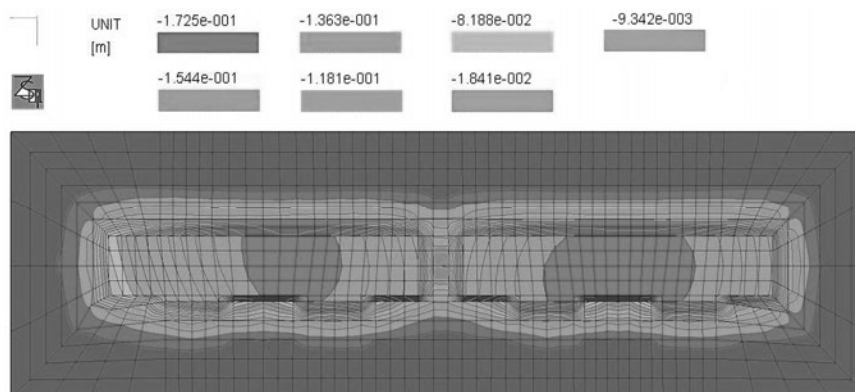
должны были превышать 18 см, значения относительной разности осадок допустимы в пределах не более 0,0024.

В этих условиях было принято концептуальное решение усиления оснований с помощью грунтоцементных массивов, создаваемых с помощью метода струйной цементации. [2]



**Рис. 2. Изополя вертикальных перемещений:**

- для здания №1: максимальная осадка 37,7 см, относительная разность осадок 0,0031;
- для здания №2: максимальная осадка 40,4 см, относительная разность осадок 0,0063)



**Рис. 3. Изополя вертикальных перемещений в уровне подошвы фундамента:**

- для корпуса 1: максимальная осадка 37,7 см (допустимая 18 см), относительная разность осадок 0,0031 (допустимая 0,0024);
- для корпуса 2: максимальная осадка 40,4 см (допустимая 18 см), относительная разность осадок 0,0063 (допустимая 0,0024).

Были рассчитаны варианты с применением грунтоцементных свай (рис. 3) при которых осадка и крен здания не превышают нормативных показателей.

Расчетные грунтоцементные сваи имели габариты: длина 8 м и диаметр 800 мм, уширенная пята имела диаметр 1000 мм при длине 1 м. Сваи создавались по технологии однокомпонентной струйной цементации JET-1 с обустройством оголовка на уровне отметки земли. Прочность материала грунтоцементных свай принималась на уровне не менее 10,0 МПа. Сваи выполнялись буровыми установками MDT 141 KK, EGT FD 518, Soilmac SM-405 по схеме JET-1с расчетным диаметром сваи и уширенной пятой заданных габаритов.

В соответствии с технологией JET-1 пробуривается скважина на требуемую глубину, на буровом инструменте возле забуривающего элемента на конце буровой колонны установлен специальный скважинный монитор, через которую имеется возможность нагнетать под высоким давлением цементный раствор. К монитору подается по шлангам высокого давления специальный цементный раствор. Получаемая струя размывает грунт, и перемешиваясь с ним, образуя грунтобетонный массив. Верх сваи формировался заливкой оголовка сваи мелкозернистым бетоном с выравниванием по необходимой отметке (рис. 4).



**Рис. 4. Грунтоцементные сваи, созданные по технологии однокомпонентной струйной цементации**

В качестве рабочего раствора на корпусе 1 использовался раствор цемента и воды с  $V/C=0,85$  при добавке пластификатора КРАТАСОЛ С-3 в количестве 2%. На корпусе 2 ввиду большей степени разуплотненности и об-



водненности грунта к раствору предъявлялись повышенные требования. На кафедре ТВВиБ МГСУ был предложен состав композиционного вяжущего для применения в растворе по технологии JET-1. Композиционное вяжущее отличалась повышенными характеристиками по седиментации, водоотделению и конечной прочности за счет наличия в своем составе цементных зерен менее 6,0 мкм (20-25%) в т.ч. частиц с размерами менее 0,1 мкм (1-2%). [1]

После выполнения всех работ по сооружению грунтоцементных свай были проведены мероприятия по контролю качества. Производилось разведочное бурение скважин с гидростатическими испытаниями свай и отбором образцов-кернов с их последующим испытанием. Дополнительно проводилась исследование прочностных показателей материала свай с помощью ультразвука. Полученные результаты подтвердили соответствие фактических показателей заданным проектным значениям.

Применение струйной цементации для повышения несущей способности фундаментов при строительстве и реконструкции сооружений является эффективным, высокотехнологичным методом, позволяющим в кратчайшие сроки решить проблему строительства в самых сложных геологических условиях. [7]

#### Литература

1. *Алексеев В.А., Харченко А.И., Харченко И.Я.* Опыт закрепления грунтов основания фундаментов здания Администрации Президента РФ с применением микроцементов. Сборник «Современные строительные материалы, технологии и конструкции». Материалы Международной научно-практической конференции, посвященной 95-летию ФГБОУ ВПО «ГГНТУ им. акад. М.Д. Миллионщикова». Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Грозненский государственный нефтяной технический университет имени академика М.Д. Миллионщикова» (ФГБОУ ВПО «ГГНТУ»), г. Грозный. 2015.
2. *Безволев С.Г.* Проблемы надежности проектных решений оснований и фундаментов высотных зданий в сложных инженерно-геологических условиях. Промышленное и гражданское строительство. № 5, 2008.
3. *Бракоренко Н.Н.* Влияние нефтепродуктов на грунты и подземные воды территорий автозаправочных станций. Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата геолого-минер. наук (2013 г., Томск).
4. *Осипов В.И., Соколов В.Н., Румянцева Н.А.* Микроструктура глинистых пород. М.: Недр, 1989.
5. *Середин В.В., Ядзинская М.Р.* Закономерности формирования прочностных свойств глинистых грунтов, загрязненных углеводородами. М.: Инженерная геология, № 2, 2014.
6. *Сергеев Е.М.* Грунтоведение. М.: МГУ, 1983.
7. *Тер-Мартirosян З.Г., Струнин П.В.* Усиление слабых грунтов в основании фундаментных плит с использованием технологии струйной цементации грунтов. Вестник МГСУ № 4-2, 2010.

## **К ОЦЕНКЕ ОПАСНОСТИ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ, ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ И ТЕХНОГЕННЫХ ПРОЦЕССОВ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ, СТРОИТЕЛЬСТВЕ И ЭКСПЛУАТАЦИИ ИНЖЕНЕРНЫХ СООРУЖЕНИЙ НА УРБАНИЗИРОВАННОЙ ТЕРРИТОРИИ**

**Э.З. Кучуков, Н.А. Филькин, С.А. Лаухин**

ФГБОУВПО Московский государственный строительный университет,  
г. Москва, Ярославское шоссе, 26. E-mail: kuchukov\_eduard@mail.ru

Современное градостроительство в мегаполисах имеет тенденцию к повышению плотности застройки, увеличению этажности, заглублению вновь возводимых зданий до десятков метров. Широкое развитие получает внедрение разнообразных подземных сооружений, возрастают объемы реконструкции существующей застройки. В связи с этим повышаются требования к обеспечению надежности, безопасности, экологичности, качеству и экономичности строительства и эксплуатации инженерных сооружений. Однако все большее число строящихся объектов в городах попадает в зоны геологического риска, поскольку часто используются территории со сложными инженерно-геологическими условиями, где главную роль играют опасные геологические, инженерно-геологические и техногенные процессы. Геологические процессы – карст в известняках, механическая суффозия в песках, образование оползней, овражная эрозия. К инженерно-геологическим процессам относятся: подтопление, морозное пучение в слое сезонного промерзания и оттаивания, плывунность в песчаных грунтах, тиксотропия (разжижение при динамической нагрузке и восстановление структурных связей при прекращении ее), набухание и усадка в глинистых отложениях. К техногенным процессам относятся: инженерная подготовка территории, статические нагрузки от инженерных сооружений с их осадками, вибрационные нагрузки от транспорта, утепляющее воздействие от зданий и многочисленных подземных теплотрасс, коллекторов, тоннелей метрополитена и подземных переходов. Кроме того, для точечного строительства используются поймы рек, места бывших свалок, засыпанные овраги и долины мелких речушек, русла которых заключены в трубы. В современных условиях строительные нормы и правила предусматривают оценку опасности и риска негативных геологических, инженерно-геологических и техногенных процессов для зданий и сооружений гражданского и промышленного назначения, транспортных систем и других объектов. Такая оценка необходима для предупреждения или уменьшения возможного ущерба от их проявления путем заблаговременного осуществления инженерно-технических и других мероприятий по уменьшению негативных последствий, обусловленных этими процессами [4]. Однако в практической деятельности специалисты городского хозяйства и строительства недостаточно используют результаты этих исследований, а иногда игно-

рируют их, что приводит к многочисленным провалам и оседаниям. Провалы грунта в городе – частое явление и есть риск, что их частота и сила будут нарастать. В советское время (60-80 годы XX века) дома разрушались в результате образования карстовых провалов в Хорошевском районе с периодичностью в 10 лет. В новом тысячелетии это связано с подтоплением 50% территории Москвы, главным образом, за счет утечек воды из коммуникаций и прорванных трубопроводов, в которые заключены речки. Наряду с этим наблюдаются эрозионные провалы в результате аварийных прорывов трубопроводов с холодной и горячей водой [3]. Способствует провалам автомобилей на дорогах города также комплексное действие подтопления, размываемости и пльвунности в песках, тиксотропия в глинистых грунтах. Коммунальные службы города реагируют уже постфактум, когда событие успело принять характер локальной катастрофы. Так, на сегодняшний день до 70% существующих водных коммуникаций в Москве требуют замены, поскольку изношены или выполнены с нарушениями технических требований. В Москве за последние 20 лет наблюдалось более 200 техногенных провалов, куда падали автомобили и жилые дома. Особенно это характерно для весенних месяцев, поскольку в этот период происходит интенсивная инфильтрация за счет снеготаяния и обильных дождей. Самый крупный за последнее время техногенный провал произошел в сентябре 2006 года на Ленинградском проспекте, где образовалась яма примерно 20x40 м и глубиной до 15 м. В результате в воронку под грунт провалился многотонный самосвал, и рухнула мачта городского освещения. Это произошло из-за нарушения строителями технологии работ в котловане. Имеются подобные примеры и в новых районах Москвы, например, в Южном Бутово. В центральной части города находится немало заброшенных подземных сооружений (колодцы и погреба), местоположение многих из них до сих пор неизвестно. При определенных обстоятельствах такие пустоты становятся причиной образования гравитационных провалов. Так, на газоне посреди Ленинского проспекта возник провал диаметром 2 м и глубиной почти 7 м. Оказалось, что в этом месте был старый колодец [2, 3]. Эта проблема характерна сегодня не только для Москвы, но и для Санкт-Петербурга, где в начале февраля прошлого года в связи с аварией на теплотрассе образовался фонтан горячей воды высотой 30 м и без воды и электричества остались 27 домов. Конечно, все эти аварии ликвидированы, но их влияние на окружающую среду, грунты оснований других инженерных сооружений никто не изучает, а оно имеется. Последствия скажутся лишь через определенное время, как это было с прорывом пльвуна на станции Площадь Мужества в Санкт-Петербурге после 20 лет эксплуатации. Для устранения этой аварии потребовалось несколько лет и огромные материальные затраты. Анализ общей ситуации, сложившейся в настоящее время в Москве, показывает, что многие заказчики, специалисты проектных и строительных организаций явно недооценивают опасность геологических, инженерно-геологических и техногенных процессов. Пытаясь снизить стоимость строительства, они сокращают сроки, объем и состав необходимых инженерно-геологических исследований таких, как определение свойств грунтов поле-

выми методами, часто заменяют реальные изыскания сбором архивных данных. В связи с этим прогноз изменения физико-механических свойств грунтов и развития опасных инженерно-геологических и техногенных процессов в окружающей среде в результате строительства и эксплуатации инженерного сооружения изыскательскими организациями производится формально и без научного обоснования.

В результате такой «экономии» в процессе строительства нередко возникают новые, не учтенные в проекте, обстоятельства, что требует проведения дополнительных изысканий, внесения изменений в проект, или это приводит к серьезным авариям. Так, например, проектирование и строительство глубинного коллектора по архивным данным в условиях существующей застройки на ул. Б. Дмитровке в г. Москве привело к провалу проезжей части и обрушению дома. Это произошло при проходке коллектора щитом на глубине 30 м при пересечении ручья, неучтенного проектировщиками, текущего в речку Неглинку. Русло ручья оказалась между архивными скважинами, и потому его не обнаружили. Прорыв пльвуна произошел через забой проходческого щита в коллектор. Через несколько минут он был полностью затоплен и образовался провал глубиной примерно 15 м и площадью 750 м<sup>2</sup>. Другой пример связан с недоучетом возможности проявления тиксотропии в юрских глинах, являющихся основанием опор метромоста на станции Воробьёвы горы. При увеличении скорости поездов метрополитена на отрезках пути от станции Воробьёвы горы до станции Спортивная произошло возрастание вибрации при торможении поезда для остановки. Это способствовало проявлению тиксотропии в глинах, спровоцировавшее смещение древнего оползня и, соответственно, появление деформации в опорах моста. Пришлось строить новый путепровод, не останавливая движения поездов на старом. Недооценка опасности развития подтопления администрацией Басманного рынка в Москве привело 23 февраля 2006 года к его разрушению и гибели 57 человек. За 30-летний период эксплуатации здания рынка к нему без соответствующего разрешения и инженерно-геологических изысканий были пристроены подземные склады и надстроены различные сооружения, что привело к ухудшению прочностных свойств грунтов основания фундамента, неравномерной осадке из-за дополнительной, нагрузки на одну сторону здания и его разрушению. Выполненные исследования прочности грунтов, по пробам, взятым из основания обрушившегося сооружения, подтвердили снижение свойств горных пород только на стороне подверженной обрушению.

Во многих случаях основными критериями для строителей при выборе участков планируемого строительства являются функциональное назначение проектируемого объекта, его привязка к существующей городской инфраструктуре, а опасным геологическим, инженерно-геологическим и техногенным процессам уделяется недостаточное внимание, как это произошло при проектировании, строительстве и эксплуатации уникального Северо-Западного тоннеля диаметром 14 м в районе Крылаткой улицы, открытого в декабре 2007 года. Он проложен под природоохранной зоной Серебряноборского лесничества на глубинах 27-44 м. Конструкция тоннеля состоит из двух

ярусом: нижний – для поездов метрополитена, верхний – для автотранспорта. Тоннель проложен в сложных инженерно-геологических условиях и проходит в пределах 3-ей надпойменной цокольной террасы. Средой для него являются породы разного генезиса и возраста: аллювиальные пески верхнего неоплейстоцена, морские нижнемеловые и верхнеюрские пески, подстилаемые верхнеюрскими глинами, лежащими на неровной поверхности верхнекаменноугольных известняков. Как известно, аллювиальные пески неоднородны по гранулометрическому и минеральному составу и при наличии верховодки или грунтовых вод, а также гидродинамического напора могут подвергаться механической суффозии с образованием суффозионных воронок. Нижнемеловые пески – однородные, слоистые, плотные, мелкие и пылеватые, кварцевые, кварцево-полевошпатовые, глауконитослюдястые, в водонасыщенном состоянии при динамической нагрузке обладают плавунными свойствами, при действии водного потока легко размываются, мощность их составляет около 10 м. Верхнеюрские глинистые, черные пески, плотные, в водонасыщенном состоянии при динамической нагрузке обладают плавунными свойствами, а при действии водного потока размываются слабее нижнемеловых песков. Верхнеюрские черные глины гидрослюдястого состава, способны при увлажнении набухать, при испарении влаги – давать усадку, при динамическом воздействии в водонасыщенном состоянии обладают тиксотропией. Мощность их в уступе 3-ей террасы равна около 10 м. Верхнекаменноугольные трещиноватые, мелкозернистые известняки при периодическом водозаборе воды из них выщелачиваются с образованием в них пустот. Таким образом, данный геологический разрез свидетельствует о возможной потенциальной опасности развития карста в известняках [1,5]. Поскольку тоннель находится в 400 м от р.Москвы, где на склонах наблюдаются оползни, овраги, суффозионные воронки, то в этом месте возможно развитие опасных геологических процессов. Так скорость подмыва берега в многоводные годы при подъеме уровня воды в р.Москве на 2,5 м может достигать 1 м/год. Линейная скорость роста оврагов на первой стадии активного развития процесса обычно составляет около 1,5 м/год. В многоводные годы с большим количеством атмосферных осадков скорость оврагообразования может достигать 5 м/год. Овраг Малая Гнилуша находится в нескольких десятках метров от тоннеля. Рядом с левым бортом оврага находится оползневой цирк диаметром около 200 м. В связи с этим следует учесть повышение микросейсмической балльности на этом участке от 5,5 баллов с учетом возможного развития опасных геологических и инженерно-геологических процессов. Все это требует инженерной защиты этой территории от опасных экзогенных и эндогенных процессов [4].

#### Литература

1. Егоров Ю.К., Зеркаль О.В., Кирич М.В., Самарин Е.Н. Оценка риска развития опасных геологических процессов на территории г. Москвы при инженерных изысканиях. Сергеевские чтения. Выпуск 17. «Инженерно-геологические и геоэкологические проблемы городских агломераций». М.: РУДН, 2015.

2. Козлякова И.В., Кожневникова И.А., Анисимова Н.Г. Провалы и оседания земной поверхности на территории г. Москвы. Сергеевские чтения. Вып. 17. «Инженерно-геологические и геоэкологические проблемы городских агломераций». М.: РУДН, 2015.

3. Кучуков Э.З., Филькин Н.А., Воронин А.М. Влияние инженерно-геологических и техногенных процессов на городское строительство и хозяйство. Материалы научно-практической конференции «Инновации в отраслях народного хозяйства как фактор решения социально-экономических проблем современности». М., 2011.

4. СП 116.13330.2012 Инженерная защита территорий, зданий и сооружений от опасных геологических процессов. Основные положения (Актуализированная редакция СНиП 22 – 02 – 2003) – М., 20012. – 60 с.

5. Хоменко В.П. Закономерности и прогноз суффозионных процессов. М.: ГЕОС, 2003. 216 с.

## **ВЛИЯНИЕ ТЕХНОГЕНЕЗА НА АКТИВИЗАЦИЮ СУФФОЗИОННО-КАРСТОВЫХ ПРОЦЕССОВ В НАДСОЛЯНЫХ ТОЛЩАХ КАЛИЙНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ В ПЕРМСКОМ КРАЕ РФ**

**Ю.А. Мамаев, А.А. Ястребов**

Институт геоэкологии им. Е.М. Сергеева РАН, 101000, Москва, Уланский пер., д. 13, стр. 2.

В настоящее время экологические последствия освоения недр стали представлять реальную угрозу социально-экономическому развитию отдельных регионов, ухудшая условия (качество) жизни населения и прямо подвергая жизнь людей опасности; оказывая негативные воздействия на технологические процессы, вызывая аварии и ЧС [1].

Пермский край является одним из наиболее промышленно развитых регионов РФ, который характеризуется разнообразием и сложностью природных условий, масштабностью и комплексностью развития геологических процессов, интенсивностью техногенных преобразований. Более 300 лет на территории Пермского края с нарастающей интенсивностью осуществляется эксплуатация промышленных объектов и добыча полезных ископаемых, в том числе железных, хромитовых и медных руд, калийных, магниевых и каменной солей, нефти, газа, минеральных вод, угля, золота, драгоценных камней и др. На данной территории активно проявляются опасные процессы: сейсмотектонические, суффозионно-карстовые, гидрологические, оползневые, деформационные, связанные с просадочностью грунтов и подработкой территорий, процессы химического и радиационного загрязнения и другие, что определяет высокий уровень техногенной нагрузки на природную (геологическую) среду и риска возникновения природно-техногенных катастроф [1]. Соликамско-Березниковская градопромышленная агломерация края расположена в центре крупнейшей в РФ залежи калийных солей, которая разрабатывается подземными выработками. Активизация карстовых и суффозионных процессов на рассматриваемой территории обуславливается воздействи-

ем двух групп техногенных факторов. Первая группа – это промышленные объекты: подземные горные выработки, водохранилища, нефтяные и водозаборные скважины и другие объекты, оказывающие непосредственное гидрогеодинамическое воздействие на строение и состояние массивов пород, изменение характера и величин действующих в них напряжений, гидродинамических режимов подземных вод, газонасыщенности и другие особенности. Вторая группа техногенных факторов связана с геохимическим воздействием действующих промышленных производств на геологическую среду района. Газовые выбросы, выпуски загрязненных вод, полигоны и свалки промышленных отходов способствуют повышению агрессивности природных сред: почв, грунтов, подземных и поверхностных вод, и также активизации карстовых процессов.

**Гидрогеодинамическое воздействие объектов техносферы.** Первостепенной техногенной причиной активизации карстового процесса на рассматриваемой территории является разработка Верхнекамского месторождения калийных солей подземными выработками большого объема (до 80 млн.м<sup>3</sup>), которые ослабляют массивы пород соляных и надсоляных толщ, повышают их пустотность, изменяют гидродинамические и гидрохимические условия фильтрации подземных вод и, в конечном счете, приводят к деформациям, разрушениям и затоплению подземных выработок с образованием на земной поверхности мульд оседания и провалов больших размеров. Подтверждением этому является тот факт, что нарушение гидродинамического и гидрогеохимического режимов подземных вод часто обуславливается воздействием высокоминерализованных соленых шахтных вод с большим содержанием загрязняющих веществ, поднимающихся по горным выработкам к поверхности и попутно разгружающихся в толщи вышележащих горных пород и водоносные горизонты.

Другим важным техногенным фактором активизации карстово-суффозионных процессов является создание в 1954 г. Камского водохранилища, которое способствует ежегодному циклическому обводнению паводковыми водами грунтовых толщ четвертичных отложений разного генезиса и зон выветривания и повышенной трещиноватости коренных пород. Это ускоряет процесс образования пустот в массивах карстующихся пород за счет их растворения, выщелачивания и механического выноса мелких грунтовых частиц при увеличении объемов и скоростей фильтрации подземных вод.

Негативное влияние также же оказывают искусственные запрудные водоемы в долинах малых рек. Например, запроектированное местоположение Семинского пруда в долине р.Зырянка г.Березники совпало с участками выхода на поверхность дислоцированных трещиноватых растворимых пород соляно-мергельной толщи нижней перми, мощностью до 70 м, что создало благоприятные условия для растворения галоидных, сульфатных и карбонатных пород при высоких гидравлических градиентах вертикальной фильтрации. Часто уровни воды в прудах на несколько метров превышают нормально подпертый уровень (НПУ) Камского водохранилища, что обуславливает

дополнительную фильтрацию в долину р.Камы и подтопление территории промзоны города.

Определенное влияние на изменение гидродинамического режима подземных вод и активизацию суффозионно-карстовых процессов в верхних приповерхностных сильно выветрелых толщах коренных пород оказывает откачка пресных вод объемом до 200 тыс.м<sup>3</sup>/сут. из надсолевого водоносного горизонта.

К техногенным факторам, влияющим на активизацию карстовых процессов на рассматриваемой территории, относится добыча нефти из подсоляных отложений с глубин 1700-2300 м. Разведка и эксплуатация нефтяных месторождений обуславливает дополнительное газонасыщение массивов пород, залегающих выше, в том числе соляных и надсоляных толщ. Насыщенность толщ горных пород газовыми эманациями метана, диоксида углерода, сероводорода, углеводородных компонентов и других газов, присутствующих в рассеянном, связанном и растворенном видах, обуславливает повышенную агрессивность подземных вод и ускоряет процессы растворения, выщелачивания и массопереноса отдельных элементов в десятки раз. Для территории Верхнекамского месторождения калийных солей, основным газом-индикатором процесса активного газовыделения является метан (СН<sub>4</sub>), который обладает высокой миграционной способностью. При диссоциации в воде метан выделяет диоксид углерода (СО<sub>2</sub>), способный многократно ускорять процесс растворения карбонатных пород.

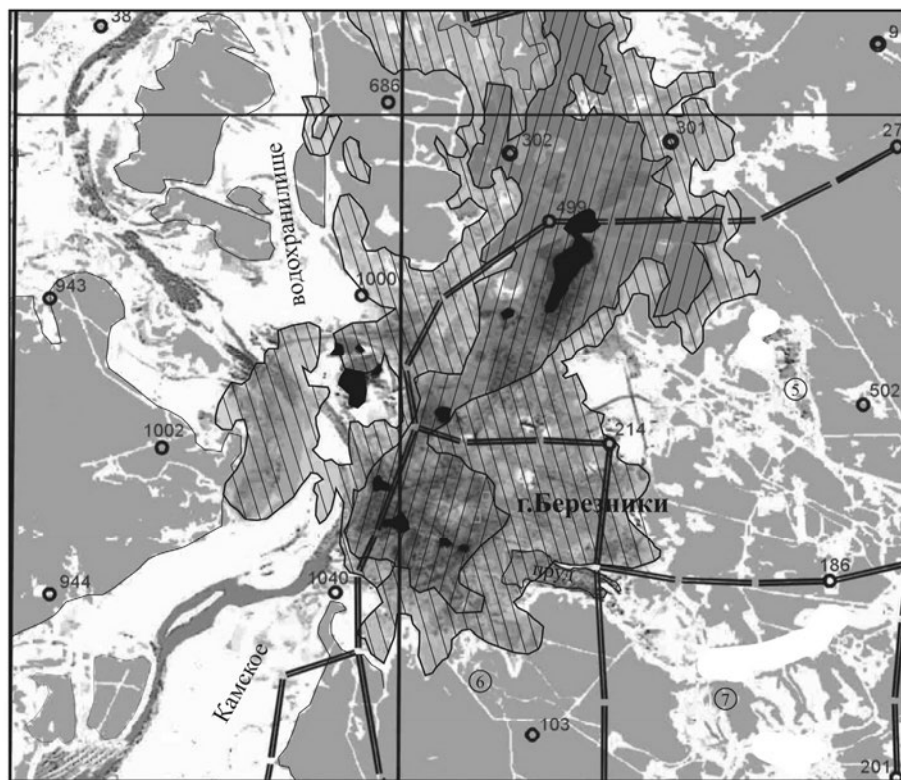
Установлено, что выделение метана (в меньшей степени сероводорода) может происходить при выщелачивании массивов соляных пород, залегающих на глубине и при дегазации деформируемых соляных толщ и заземленных газовоздушных шапок в подземных выработках. Известны случаи (1986 и 2007 гг.), когда на рассматриваемой территории при авариях с затоплением шахтного пространства происходили мощные взрывы с выбросами в атмосферу на высоту до 100 м соленосной газовой-пылевой смеси. Отсутствие или незначительное количество газов в подпочвенном воздухе указывает на стабилизацию процессов выщелачивания массивов соляных пород. Увеличение же количества и скорости накопления газов в подпочвенном воздухе говорит об активно протекающих процессах растворения пород и (или) деформирования толщ горных пород.

**Геохимическое загрязнение природных сред.** Промышленная зона г.Березники общей площадью около 140 км<sup>2</sup> располагается в западной части города в широкой излучине долины р.Кама. Она включает участки более 900 хозяйствующих субъектов с различной формой собственности и видами деятельности. Из них 116 предприятий имеют в общей сложности около 1400 стационарных источников выбросов, загрязняющих атмосферный воздух (рис. 1).

Предприятия города выбрасывают в атмосферу около 160 наименований загрязняющих веществ, химических элементов и их соединений. Наибольшие уровни загрязнения создаются по диоксиду азота, диоксиду серы,










оксиду углерода, сероводороду, аммиаку, соединениям хлора (хлорид калий, хлорид натрия) и пыли [3].



Масштаб 1:200000

Условные обозначения:

-  Ореолы максимального загрязнения вблизи источников эмиссии (предприятия, ТЭЦ)
-  Ореолы рассеивающегося загрязнения над промзоной города
-  Ореолы рассеивающегося загрязнения (смог) над городом и прилегающей территорией
-  Залесенная территория
-  Контуры детально разведанных участков соляной залежи и их номера
-  Разведочные скважины на соль
-  Разведочные скважины на нефть

**Рис. 1. Схема загрязнения воздушного бассейна района г. Березники Пермского края (по материалам дешифрирования КФС)**

Валовый объем выбросов в атмосферу загрязняющих веществ от стационарных источников в год составляет 13-15 тыс.т. Среднемесячные уровни загрязнения атмосферного воздуха отдельными веществами в г.Березники превышают санитарно-гигиенические нормы.

Расположение промзоны города в долине р. Камы – наиболее низком морфологическом элементе рельефа, способствует образованию здесь застойных воздушных явлений, смога, выпадению воздушно-капельных кислотных осадков, которые оказывают комплексное воздействие на загрязнение почв, грунтов, поверхностных и подземных вод.

Ветровое движение воздушных масс также способствует загрязнению природных сред за счет процессов раздува и переноса отходов шахтной добычи калийных солей, хранящихся в солеотвалах, шламонакопителях, рассолосборниках, а также отходов химического производства с полигонов. По фондовым данным на территории промзоны города скопилось более 140 млн т отходов в виде огромных солеотвалов, ветровые раздувы которых обуславливают формирование полей пылевато-соленосных отложений; границы их распространения выходят далеко за пределы города.

Проникая в почвы, грунты, поверхностные и подземные воды, загрязняющие вещества повышают агрессивность природных сред и способствуют усилению растворяющего воздействия на карстующиеся горные породы, формируя на поверхности и внутри массивов горных пород карстовые формы.

Основными техногенными источниками загрязнения поверхностных и подземных вод территории г.Березники являются сбросы и выпуски недостаточно очищенных сточных вод промышленных и коммунальных предприятий, а также шахтные воды рудников и т.д. По массе загрязняющих веществ, сбрасываемых со сточными водами, лидируют предприятия химического и нефтехимического комплексов – 76%; 15% загрязняющих веществ приходится на жилищно-коммунальный и лесопромышленный комплексы. Только за 2013 г. в Камское водохранилище с территории промзоны города сброшено промышленных, хозяйственных и ливневых сточных вод в массе более 650 тыс.т., что изменяет химический состав поверхностных вод. В придонном слое воды Камского водохранилища отмечается наличие слабо соленых вод.

Местоположение выпусков промышленных стоков в водохранилище обуславливает неравномерное распределение по акватории показателей состава и минерализации вод, которые в районе г.Березники, не отвечают нормативным требованиям по качеству для рыбохозяйственных водоемов. В поверхностных водных объектах исследуемой территории отмечается стабильное превышение предельно-допустимых норм: по нефтепродуктам (до 2 ПДК), фенолам (до 2 ПДК), соединениям марганца (до 12 ПДК), меди (до 2 ПДК), железа (до 7 ПДК), аммонийного азота, трудноокисляемых органических веществ и других загрязнителей.

Имея тесную гидравлическую связь с подземными водами зоны активного водообмена, поверхностные воды влияют на их солевой состав и мине-

рализацию и тем самым на активизацию карстовых процессов в породах разного петрографического состава [2].

Деятельность промышленных горно-химических предприятий оказывает негативное воздействие на экологические условия города, из-за накопления огромных объемов промышленных отходов на полигонах и свалках.

Солеотвалами, шламоохранилищами, рассолоборниками и свалками на рассматриваемой территории занято около 2,0 тыс.га лесных и сельскохозяйственных территорий, где существенно изменен природный рельеф. В излучине р.Камы на широкой ровной поверхности первой надпойменной террасы реки возникли обширные спланированные участки, перекрытые техногенными отложениями мощностью от 2 до 18 м, созданы искусственные холмы солеотвалов высотой от 10 до 60 м и более, выкопаны водоемы шламоохранилищ и рассолоборников, засыпаны отдельные участки естественных речных долин, что приводит к подтоплению и заболачиванию территорий, прорыты русла каналов – коллекторов для отвода жидких промышленных сбросов.

В течение года на полигонах крупных горно-химических предприятий может храниться от 25 до 60 тыс.т. отходов, часть которых (глинисто-солевые и галитовые отходы) используются для гидрозакладок выработанных подземных пространств и приготовления технических солевых растворов.

Перечисленные объекты являются источниками загрязнения атмосферного воздуха, снежного покрова, почв и грунтов, подземных и поверхностных вод. Данные воздействия носят накопительный синергетический характер, обуславливающий многократное увеличение скоростей и масштабов развития суффозионно-карстовых процессов.

#### Литература

1. Безопасность России. Правовые, социально-экономические и научно-технические аспекты. Региональные проблемы безопасности с учетом риска возникновения природных и техногенных катастроф. М.: МГФ «Знание», 1999. 672 с.

2. *Липницкий В.К.* Инженерно-геологические и гидрогеологические параметры пород соляно-мергельной толщи Верхнекамского месторождения калийных солей. Л.: ВНИИГ, 1980. 33 с.

3. Государственный доклад о состоянии и об охране окружающей среды Пермского края в 2013 году. Министерство природных ресурсов и экологии РФ. Официальный сайт: <http://www.mnr.gov.ru> (дата обращения: 15.09.2014).

## АНАЛИЗ ВРЕМЕННОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ РАДОНОВЫХ АНОМАЛИЙ НА ТЕРРИТОРИИ МОСКВЫ

П.С. Микляев<sup>1</sup>, Т.Б. Петрова<sup>2</sup>, В.М. Макеев<sup>1</sup>, А.В. Климшин<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Институт геоэкологии им. Е.М. Сергеева РАН, г. Москва, Уланский пер., д. 13.  
E-mail: peterm7@inbox.ru

<sup>2</sup> МГУ им. М.В. Ломоносова, химический факультет, кафедра радиохимии  
E-mail: alpinzayac@mail.ru

<sup>3</sup> Институт геофизики им. Ю.П. Булашевича УрО РАН, Екатеринбург, ул. Амундсена, 100.  
E-mail: aklimshin@yandex.ru

По результатам исследований радонового поля на территории Москвы были выявлены аномально высокие значения плотности потока радона (ППР) (в отдельных точках превышающие 1000 мБк/м<sup>2</sup>с), что в сотни, а иногда и в тысячи раз превышает фоновый поток радона (т.н. «факельные выбросы»). Была установлена пространственная связь этих аномалий с геодинамически активными зонами, выделяемыми на исследуемой территории по комплексу структурно-геоморфологических признаков [6]. При этом факельные выбросы радона формируются, судя по всему, в приповерхностной толще грунтов за счет локальных конвективных потоков порового воздуха, и могут быть связаны с интенсивными деформациями растяжения, реализуемыми в пределах геодинамически активных зон [6,7].

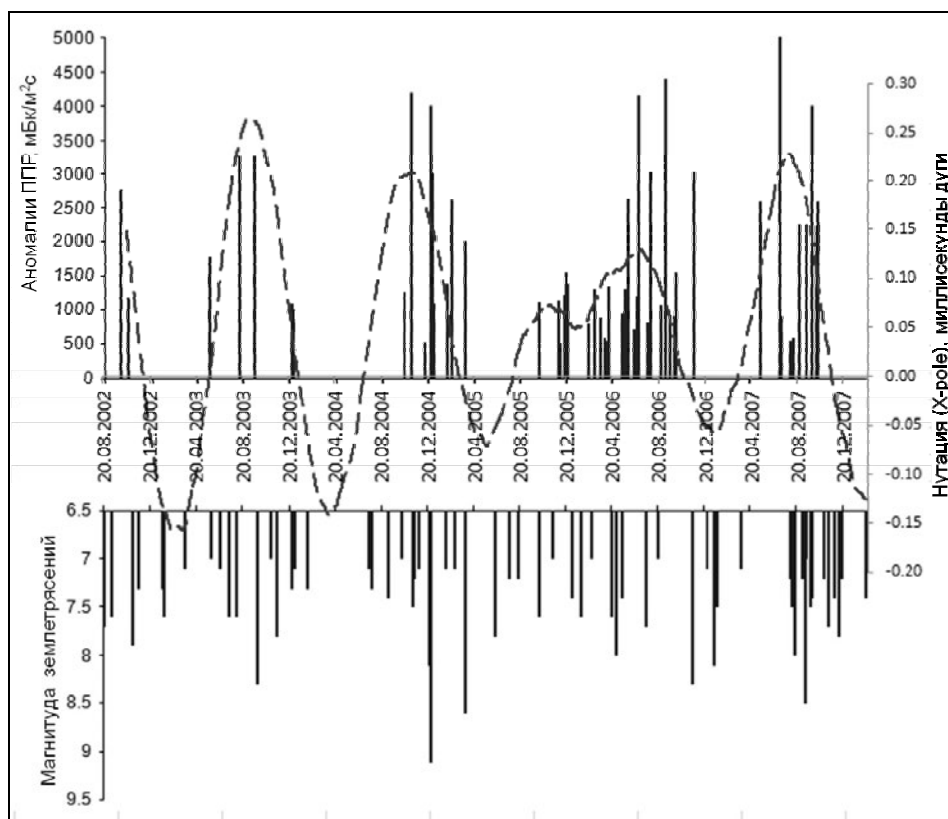
В данной работе приводятся результаты анализа временного распределения указанных аномалий ППР. Проанализированы данные инженерно-экологических изысканий более чем на 3000 участках, полученных ООО «ГеоКон» и ООО «ГК РЭИ» в период с августа 2002 года по декабрь 2007 года. В данный период, в отличие от предыдущих и последующих лет, инженерно-экологические изыскания на исследуемой территории проводились наиболее массово, практически каждый день обследовалась одна или несколько строительных площадок, что позволяет говорить о представительности данных и наличии непрерывного ряда наблюдений. Учитывая, что территория города в целом была охвачена достаточно густой сетью измерений, проводившихся каждый день по совершенно случайной схеме, можно сказать, что вся территория города была некоторым аналогом режимного полигона. В последующие годы в связи с экономическим кризисом количество обследуемых участков резко сократилось, вплоть до 2-4 участков в месяц, и затем распределение обследованных участков во времени было крайне неравномерным. Это не позволяет использовать данные, полученные после 2007 года, для анализа временного распределения аномалий радона.

Анализ полученных данных показывает, что аномалии плотности потока радона встречаются в любое время года, при самых разнообразных погодных и прочих условиях. В том числе, весной и осенью в периоды наибольшего ротационного сжатия приповерхностного массива, а также в условиях повышенного увлажнения грунтов, когда поток радона с поверхности грунтов в

целом, как правило, минимален. Каких либо сезонных изменений в проявлении аномалий ППР не выявлено. Вместе с тем, анализ данных все же позволяет достаточно четко выделить периоды частого проявления аномалий, сменяющиеся промежутками времени в которых аномалии встречаются значительно реже или не проявляются вовсе. Причем максимумы частоты проявления аномалий ППР повторяются с периодом примерно 14-16 месяцев. Ритмичность аномалий свидетельствует о существовании некоторого природного процесса эту ритмичность вызывающего.

Анализ литературы, посвященной периодичности различных процессов на Земле, показал, что среди всего многообразия природных процессов четко выраженный ритм с периодом около 14-16 месяцев характерен только для нутации оси вращения Земли. Нутация – передвижение оси вращения в теле Земли, приводящее к периодическим изменениям координат географического полюса и, соответственно, изменениям географических широт [1]. По мнению ряда авторов, ось вращения Земли может изменять свое положение вследствие перераспределения масс в теле планеты за счет вынужденных движений внутреннего ядра планеты [1-3]. Известно существование определенной связи между периодами нутации земной оси и сейсмической активностью на планете [1]. Наличие определенной связи с сейсмической активностью известно и для радонового поля. Из литературы давно известны факты, свидетельствующие о реакции радонового поля в пределах геодинамически активных зон и зон тектонических разломов на подготовку и реализацию сейсмических событий, в том числе, крайне удаленных от пункта наблюдения. Так, в пределах геодинамически активных зон Москвы и Московской области была зафиксирована реакция радонового поля на подготовку и/или реализацию землетрясений в Италии (апрель 2009 г.) [4], на Алтае (сентябрь 2003 г.), в Индийском океане (декабрь 2004 г.) [11] и даже в Мексике (сентябрь 1985 г.) [5]. По нашим данным было зафиксировано совпадение во времени аномалий ППР в Москве с серией мощных подземных толчков в Индийском океане, произошедших в конце декабря 2004 года. В период с 24 по 31 декабря 2004 года аномальные значения ППР были зарегистрированы сразу на 4 участках, что не могло не вызвать интереса.

В этой связи было проведено сопоставление временного распределения аномалий ППР, зафиксированных в Москве за период с 2002 по 2007 год, с нутацией оси вращения Земли (изменением координаты полюса  $x$ ), а также с датами сильных землетрясений с магнитудой 7 и более, произошедших на Земном шаре в указанный период. Данные по нутации земной оси были взяты с официального сайта Международной службы земного вращения и эталонных мер (International Earth Rotation and Reference Systems Service) [9]. Сведения о землетрясениях взяты из поискового каталога Расширенной национальной сейсмической системы США (ANSS Catalog Search) [10], а также по данным Геофизической службы РАН [8]. Результаты приведены на рис. 1.



**Рис. 1. Сопоставление временного распределения аномалий ППР на территории Москвы (верхний график), землетрясений с магнитудой  $M > 7$  в целом по земному шару [8, 10] (нижний график), и нутации земной оси – изменения координаты полюса  $x$  [8] – (пунктирная линия) в период с 2002 по 2007 год (включительно)**

Как видно из рисунка, временные периоды проявления аномалий ППР нельзя считать случайными. Проявление аномалий ППР в целом совпадает с максимумами нутации оси вращения Земли, а также с периодами реализации наиболее сильных землетрясений на планете (с магнитудой 7 и выше). Причем, эпицентры этих землетрясений расположены на расстоянии многих тысяч километров от исследуемой территории. Точное совпадение во времени проявления аномалий ППР с удаленными сейсмическими событиями (до дней, как в случае с землетрясением в Индийском океане в декабре 2004 года) регистрируется редко, однако эти события можно считать совпадающими в пределах месяца. С некоторой осторожностью можно говорить даже о существовании связи между амплитудой аномалий ППР и магнитудой наиболее сильных землетрясений. Так, время регистрации потоков радона более

3000 мБк/м<sup>2</sup>с в целом, (в пределах месяца), совпадает во времени с реализацией землетрясений с магнитудой более 8.

Полученные данные позволяют предположить существование глобальных периодов «возмущенного» напряженно-деформируемого состояния планеты, связанных с режимом ее вращения (возможно, обусловленных перемещениями твердого ядра Земли). В эти периоды, совпадающие с периодами нутации земной оси, в зонах повышенного тектонического напряжения реализуются деформации (разрядка напряжений). Возможно, в сейсмически активных областях эти процессы проявляются в виде землетрясений, в том числе, сильных. В пределах же платформенных территорий, где тектонические напряжения на порядки слабее, их разрядка реализуется в геодинамически активных зонах в виде относительно слабых деформаций земной поверхности, вызывающих, в том числе, аномалии плотности потока радона с поверхности грунта.

В этой связи следует отметить описанные В.Е. Хаиным и Э.Н. Халиловым аномальные изменения силы тяжести (гравитационной постоянной), период регистрации которых совпадает с реализацией сильных землетрясений. Причем, эпицентры этих землетрясений также находятся на удалении в 4-7 тысяч километров от регистрирующей станции. В работе [12] описано 10 крупных землетрясений, вызвавших аномальные вариации гравитационной постоянной на прогнозной станции «Vinagadi» НИИ прогнозирования и изучения землетрясений (г.Баку) за период с 2004 по 2006 год. Авторы [12] объясняют реакцию вариаций силы тяжести на удаленные землетрясения квазипериодическими энергетическими выплесками в глубинных слоях Земли (предположительно в слое D). Эти выплески предположительно могут вызывать распространение сверхдлинных тектонических волн, попеременно изменяющих плотность пород по мере своего движения, что регистрируется гравиметрами в виде вариаций силы тяжести. Эти же тектонические волны могут выступать в качестве триггера, т.е. инициировать резкое повышение напряжений в очаговых зонах, где напряжения достигли критических величин, что вызывает землетрясения.

Интересно, что периоды аномальных изменений силы тяжести, зарегистрированные в работе [12], и совпадающие по времени с реализацией крупных землетрясений, прекрасно совпадают с аномалиями ППР, зарегистрированными в этот период в Москве (табл. 1). Из таблицы видно, что моменты реализации сильных землетрясений хорошо соответствуют периодам возмущения гравитационных полей на прогнозной станции в Баку и времени проявления аномальных значений ППР в геодинамически активных зонах на территории Москвы. Это может служить аргументом в пользу высказанной выше гипотезы о существовании некоторых периодов повышенной сейсмо-тектонической активности планеты, обусловленных, например, распространением сверхдлинных тектонических волн вследствие перераспределения масс в теле планеты за счет вынужденных движений внутреннего ядра. Эти волны, как говорилось выше, могут вызывать крупные землетрясения в сейсмоактивных областях планеты, а в геодинамически активных зонах платформ

быть причиной локальных деформаций растяжения, вызывающих аномалии плотности потока радона.

Таблица 1

**Сопоставление периодов регистрации гравитационных аномалий на станции «Vinagadi» (Азербайджан), предшествующих сильным удаленным землетрясениям [12], с датами регистрации аномальных значений ППР в Москве**

| Дата, положение эпицентра и магнитуда землетрясения | Период регистрации гравитационной аномалии на станции «Vinagadi» | Дата регистрации аномальной ППР в Москве (в скобках значение ППР, мБк/м <sup>2</sup> с) |
|---|--|---|
| 15.10.2004<br>Тайвань, М7                           | 9.10.2004 – 24.10.2004   | 15.10.2004 (1240)   |
| 26.12.2004<br>Индонезия, М9                         | 3.12.2004 – 01.01.2005   | 8.12.2004 (1513)<br>25.12.2004 (2500)<br>26.12.2004 (4300)<br>31.12.2004 (1090)         |
| 13.03.2005<br>Южный Иран, М6                        | 1.03.2005 – 15.03.2005   | 18.02.2005 (2610)   |
| 26.03.2005<br>Индонезия, М8.7                       | 23.03.2005 – 31.03.2005  | 25.03.2005 (1990)   |
| 08.10.2005<br>Пакистан, М7.7                        | 2.10.2005 – 14.10.2005   | 9.10.2005 (1110)  |
| 27.05.2006<br>Индонезия, М6.3                       | 16.05.2006 – 28.05.2006  | 16.05.2006 (1002)<br>24.05.2006 (1288)<br>27.05.2006 (1040)<br>31.05.2006 (2630)        |
| 17.06.2006<br>Индонезия М7.7                        | 9.06.2006 – 23.06.2006   | 15.06.2006 (989)<br>23.06.2006 (1180)<br>28.06.2006 (4150)                              |
| 10.10.2006<br>Япония, М6                            | 2.10.2006 -15.10.2006  | 2.10.2006 (1550)  |
| 15.11.2006<br>Курилы М8.3                           | 14.11.2006 – 20.11.2006  | 21.11.2006 (3030)   |
| 26.12.2006<br>Тайвань М7.4                          | 19.12.2006 – 27.12.2006  | 01.12.2006 (1030)   |

Таким образом, на данном этапе можно сделать вывод, что выявленные аномалии ППР связаны некоторым образом с ротационным режимом и сейсмической активностью планеты. Работа выполнена при поддержке РФФИ, проект № 13-05-00975-а, № 13-05-01112-а.

#### Литература

1. Авсюк Ю.Н. Приливные силы и природные процессы. М.: ОФИЗ РАН, 1996. 188 с.
2. Авсюк Ю.Н., Светлосанова З.П., Суворова И.И. Открытие С. Чандлера: Ось вращения перемещается в теле Земли с периодичностями возмущения Солнцем орбитального движения Земли// Геофизические исследования. 2005. № 1. С. 116-133.



3. Авсюк Ю.Н., Суворова И.И. Процесс изменения широт и его связь с вынужденными перемещениями внутреннего твердого ядра // Физика Земли. 2006. № 7. С. 66-75.
4. Белецкая Ю.В., Крупный Г.И., Мамаев А.М., Расцветалов Я.Н. Вариации плотности потока радона с поверхности почвы экспериментального полигона // АНРИ. 2010. №1(60). С. 34-36. Эманационный мониторинг геосред и процессов. М.: Научный мир, 2009. 176 с.
5. Бондаренко В. М., Сабо Я., Христич В. Закономерное отражение геодинамических процессов в долговременных вариациях поля радона // Абстракты и доклады тех. программы 34-й Междунар. геофиз. симп. Будапешт, 1989.
6. Микляев П.С., Макаров В.И., Дорожко А.Л., Петрова Т.Б., Маренный М.А., Маренный А.М., Макеев В.М. Радоновое поле Москвы // Геоэкология. 2013. № 2. С. 172-187.
7. Микляев П.С., Петрова Т.Б., Клишин А.В., Макеев В.М. К вопросу о причинах формирования радоновых аномалий в Москве // Сергеевские чтения. Юбилейная конференция, посвященная 100-летию со дня рождения академика Е.М. Сергеева. М.: ГЕОС, 2014. С. 443-447.
8. Официальный сайт Геофизической службы РАН <http://www.ceme.gsras.ru>
9. Официальный сайт Международной службы земного вращения и эталонных мер (IERS) <http://www.iers.org>
10. Официальный сайт Расширенной национальной сейсмической системы США (ANSS Catalog Search) <http://www.ncedc.org/anss/catalog-search.html>
11. Рудаков В.П. Эманационный мониторинг геосред и процессов. М.: Научный мир, 2009. 176 с.
12. Хаин В.Е., Халилов Э.Н. Гравитационные эффекты перед сильными удаленными землетрясениями. Вестник Международной академии наук. Русская секция. 2007. №2. С. 45-52 ([http://www.heraldrsias.ru/download/articles/07\\_\\_\\_Article\\_\\_\\_Khain.pdf](http://www.heraldrsias.ru/download/articles/07___Article___Khain.pdf)).

## РЕАЛЬНЫЕ ОПАСНОСТИ ГЕОДИНАМИЧЕСКОГО РЯДА В РАЙОНЕ СТРОИТЕЛЬСТВА КЕРЧЕНСКОГО МОСТОВОГО ПЕРЕХОДА

**А.А. Никонов**

ИФЗ РАН, 123242, Москва, Большая Грузинская ул., д. 10, стр. 1.  
E-mail: [nikonov@ifz.ru](mailto:nikonov@ifz.ru)

Вопрос об опасностях в районе Керченско-Таманского перехода актуален, но автору неизвестны публикации оценки возможных с этой стороны рисков при составлении проекта грандиозного сооружения. Здесь кратко отражены новые разработки по разным видам опасности в Керченском проливе (КП).

**Молодая и современная тектоническая активность.** В Керченско-Таманской области (КТО) давно обнаружены признаки молодой тектонической активности в пределах Южно-Азовской субширотной и Керченской субмеридиональной зон разломов [4]. Современный КП возник во второй половине голоцена на месте новейшего грабена с признаками и молодой активизации. В таких условиях, особенно вблизи очаговых областей крупных землетрясений, важно выявление и идентификация участков блокового опус-

кания (провалов днища и, возможно, прилежащих бортов). Прежде два таких участка намечены автором в Черноморском бассейне, в КП ранее они обнаруживались. В публикации [13] дана подробная и разносторонняя характеристика подводной и надводной морфологии, стратиграфии и хронологии местности вблизи пос. Камыш-Бурун южнее г. Керчь. В планово-высотной диспозиции позднеголоценовых отложений, в резкой смене литологических разностей, в характере деформаций и внутренних несогласий отложений определенно выступают черты внезапного провала участка (не оползня!) на несколько метров. Возраст этого тектонического импульса определен около 2 тыс. лет. Сравнение с независимо и ранее составлявшимися каталогом сильных землетрясений КОЗ, картой макросейсмического поля и оценкой эпицентральной интенсивности  $I_0=IX$  баллов по шкале MSK-64 обнаруживает полное согласование, что вряд ли случайно, специальные исследования необходимы.

Новый феномен обнаружен у северного берега Таманского полуострова близ мыса Каменный, вблизи пролива. В 2011 г. здесь внезапно и быстро возникло продольное поднятие дна размером 435x100 м на высоту 5 м [12]. Со дна подняты коренные породы, которые оказались разбиты разрывами взбросовой и сдвиговой кинематики с амплитудами 0,5-1,0 м. На прилежащем береговом уступе высотой около 80 м вслед за этим активизировались оползни. Сейсмических сотрясений не было, как и грязеизвержения. Явление тектоническое, обусловленное господствующими тангенциальными напряжениями субмеридиональной ориентации [12], которые вообще присущи району Керченского полуострова в новейшее время. Факт возникновения складки выжимания связывается со сдвиганием восточного крыла Керченского грабена в северных румбах на величину 0,6-1,0 м.

**Сейсмическая опасность.** Среди геодинамически обусловленных опасностей сопряженных с сильными землетрясениями рассматриваются как ключевой фактор. Распространенные еще тридцать лет назад суждения и решения формулировались так: «Керченский полуостров нельзя считать сейсмоопасным». «Можно ли... считать, что в Крыму не могут возникнуть землетрясения (с  $M$  6, даже до 7)...? К сожалению, твердого и ясного ответа на этот вопрос дать нельзя» [2]. Первый ответ появился спустя 15 лет [7], теперь он представлен в пополненном и уточненном варианте. Специальное многолетнее исследование множества исторических источников, никогда ранее не привлекавшихся, а также применение археосейсмического метода выявления следов древних разрушительных землетрясений на большинстве раскопанных городищ (древних городов и поселений Боспора), дало возможность выявить, а затем и параметризовать, сильные землетрясения в Керченской очаговой зоне (КОЗ) за 2,6 тыс. лет [10] (рис. 1). Стало возможным оценить средний интервал повторения сейсмических событий в данной зоне (сейсмолинеamente). Интервал возникновения разрушительных землетрясений в зоне за 2,6 тыс. лет составил  $300\pm 50$  лет. С учетом соседней, геодинамически сопряженной Южно-Азовской очаговой зоны со времени последнего события прошло 322 года, т.е. зона близка или вступила в период опасности. Это пер-

вый базовый, вполне новый вывод. Второй, не менее ответственный для степени опасности вывод состоит в выявлении своеобразия сейсмического режима в Керченском сейсмолинеаменте. Он относится к типу, для которого характерно длительное сейсмическое «молчание», так что мощное землетрясение возникает внезапно, что усиливает опасность (в отличие от Ялтинской зоны).

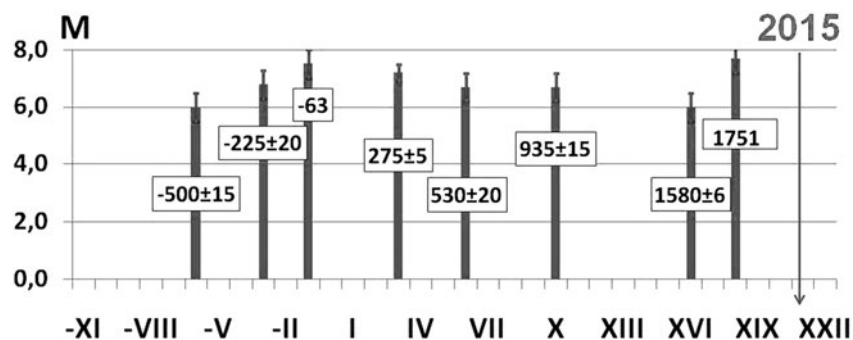


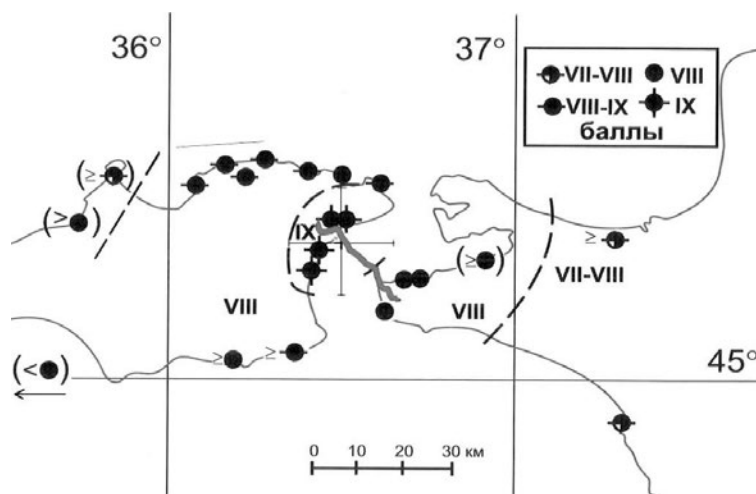
Рис. 1. График распределения сильных (с  $M \geq 6$ ) землетрясений в Керченской зоне за 2,6 тыс. лет

Специфика КОЗ, также в отличие от соседних, заключается в наибольшей протяженности здесь береговой линии и приближенности очаговой области к суше, с одной стороны, и обширности прилежащих площадей акваторий, – с другой, что предопределяет значимо большую уязвимость в этой области освоенных и осваиваемых территорий со всеми жителями, постройками и инфраструктурой. Для сравнения: Ялтинская очаговая зона располагается на расстоянии 20-40 км от ЮБК, а Керченская – на расстоянии 0 – первые километры от любого из берегов. Сколь далеко от эпицентра землетрясения распространяются зоны разной интенсивности в Крыму дают представление карты двух поздних из них [5, 9].

**Опасность цунами.** К 1997 году в Черноморском бассейне было выявлено 22 события [6], ныне, после углубленной проработки множества исторических источников, их число возросло до 35 за последние 2,6 тыс. лет (без учета палеоцунами). Среди цунами на Крымских берегах несколько случаев сильных, с высотой заплеска до 3-5 м. Они обнаружены в разных частях Крыма, в том числе и в КП. Базовыми служат несколько групп данных, а именно: 1) стратиграфия и фациальный анализ разрезов отложений с выделением специфических чужеродных горизонтов среди морских и прибрежных наслоений; 2) особые, аномальные формы береговых наносов; 3) необъяснимый иначе по вектору и силе латеральный разнос колонн античного храма; 4) косвенные сведения Страбона о бедственном затоплении в низовьях реки Гипанис (Кубань) и др. В колонках буровых скважин на Камыш-

Бурунском участке южнее г. Керчь обнаружены горизонты с признаками несогласной, нарушенной стратификацией, вторжения вод с переотложенным материалом, а на прилежащем плоском дне по профилям эхозондирования выделены разнородные пачки отложений с несогласиями, деформациями и пропластками дальнего переноса [13]. Они несут признаки цунами, но событие осталось не распознанным.

Коса Чушка на широте Камыш-Бурунского участка и г. Керчь, в отличие от других известных кос в проливе, в плане оторочена своеобразными грядами, в виде «бахромы». Анализ мыслимых факторов возникновения аномалии заставил признать действие мощного, направленного к востоку водного вала. Это согласуется с фактом разноса массивных колонн античного храма от косы Чушка в мелководный Таманский залив, на расстояние до 2-2,5 и до 4 км. Этим можно объяснить сведения Страбона о затоплении низовьев реки Гипанис в 63 г. до н.э. Низовья р. Кубань удалены от косы Чушка к востоку на 50-55 км, такое расстояние мощное цунами легко преодолело по плоской низине, через ложбину шириной 2 км и впадину Ахтанизовского лимана, беспрепятственно достигнув плавней Кубани. Цунами приходится признать катастрофическим. По каждому признаку событие имело место в середине I в. до н.э. и его резонно соотносить с землетрясением в КОЗ в 63 г. до н.э. (рис. 2). Цунами в КП вероятны и при других землетрясениях в зоне.



**Рис. 2. Схема интенсивности сотрясений при землетрясении 63 г. до н.э. в Керченском проливе**

**Оползание по берегам пролива.** Связь оползневых явлений с сейсмическими воздействиями, в первую очередь сильными, общеизвестна. Массовое проявление сейсмогравитационных процессов в Крыму отмечалось при

VIII-балльных сотрясениях на склонах ЮБК в 1423 г. и при VII-VIII-балльных в 1927 г. [11, 9]. Северная часть КП отличается от южной, прежде всего, высотой и крутизной берегов, что предопределяет возможность их оползания. Крупные блоковые оползни на севере западного берега спонтанно возникали в XX в, например, в 1980 и 1990 гг. [8]. Древние оползни крупных размеров занимают северо-западный участок побережья пролива между мысами Хрони и Фонарь, здесь даже одна из деревень называется Осовы. Крупные оползни показаны здесь уже на геологической карте Н.И. Андрусова, изданной в конце XIX в. Тот же автор отмечал во многих местах западного побережья оползни, а также осыпи камнепады, чего, кстати, нет на восточных берегах пролива. Специальное рассмотрение вопроса об исчезновении греческих городов Пирра и Антисса привело автора к заключению о их расположении именно на северо-западном берегу пролива и гибели в результате сползания в море крупных участков возвышенного берега с образованием глубоких рвов в тылу при мощном землетрясении 63 г. до н.э. [8]. Оползневый является также прилежащий к проливу с востока крутой и высокий, до 80-90 м, Таманский берег. Здесь у урочища «Синяя балка» с одним из землетрясений античности связано событие на берегу Меотиды: «расселся один холм», что трактуется как возникновение крупного рва в тыловой части берегового оползня там, где и теперь широко развит оползневой рельеф [3]. На обоих участках имеются основания соотносить возникновение крупных оползневых тел с мощными землетрясениями исторического прошлого. В условиях постоянно повышающегося уровня моря абразия подготавливает новые массы скальных пород к оползанию.

**Грязевой вулканизм.** В самом проливе, в его акватории, известно два действующих грязевых вулкана, один в осевой части к югу от косы Тузла, другой севернее восточного побережья косы Чушка («Блевака»). По берегам пролива имеется еще несколько действующих грязевых вулканов. Еще в конце XIX в. Н.И. Андрусов вынес на карту три из них: в 5 км к югу от г. Керчь, в 8 км к юго-западу и в 13 км к северо-востоку от него. Вообще в КТО действующих «сопок» около 30. Оживляются они сравнительно редко, единично – в связи с землетрясениями. Опасность возникает не только и не столько в виде излияний и извержений, но в возникновении в нескольких случаях, в том числе на дне, сопряженных быстрых воздыманий поверхности на несколько метров, до 4-5 м, на площади десятки и сотни м<sup>2</sup>. Так случилось, например, в 1914 г., когда к югу от косы Тузла на возникшую таким образом мель, где была глубина 9 м, сел пароход «Цезарь». Вулканические аппараты здесь приурочены к раздробленной замковой части сжатой антиклинали северо-восточного простирания, здесь же зафиксированы зоны газо-флюидной разгрузки [1]. В газовой смеси выбросов 80-99% составляет метан. На суше в пределах Таманского полуострова известны грязевые извержения, сопровождавшиеся воспламенением (газов), что может представлять дополнительную опасность. «На Керченском и Таманском полуостровах выбросы вещества объемом 50-100 м<sup>3</sup> за одно извержение не редкость» [14].

При уровне современного знания/незнания выявляется необходимость адекватной оценки риска грандиозного проекта. Такая оценка возможна и необходима с учетом, как минимум, двух базовых научных положений. 1. Область КП является очаговой зоной регулярных, с интервалом  $300 \pm 50$  лет, разрушительных землетрясений. 2. Каждое мощное землетрясение в районе грабена, в месте сопряжения земной и водной оболочек, неизбежно сопровождается критическими возмущениями во всей окружающей природной среде и тяжелейшими последствиями для населения.

### Литература

1. Глазырин Е.А. Новые сведения по грязевому вулканизму Керченского пролива // Геология морей и океанов. Матер. XXI Междунар. научн. конфер. (Школы) по морской геологии. Т. V. М.: ГЕОС, 2015. С. 66-70.
2. Гориков Г.П. Региональная сеймотектоника территории Юга СССР. М.: Наука, 1984.
3. Никонов А.А., Вангенгейм Э.А. Землетрясение "Синяя Балка" // Природа. 1991. № 4.
4. Никонов А.А. Признаки молодой тектонической активности в зоне Южно-Азовского и Керченского разломов // Геотектоника. 1994. № 5. С. 16-27.
5. Никонов А.А. Разрушительное землетрясение 1751 г. в Крыму // Физика Земли. 1996. № 1. С. 62-74.
6. Никонов А.А. Цунами Черного и Азовского морей // Физ. Земли. 1997. № 1. С. 86-96.
7. Никонов А.А. Сейсмический потенциал Крымского региона: сопоставление региональных карт и параметров выявленных событий // Физика Земли. 2000. № 7. С. 53-62.
8. Никонов А.А. О местонахождении и исчезновении античных городов Пирра и Антисса на Боспоре. В кн.: Боспорский феномен: колонизация региона, формирование полисов, образование государства. Ч. 2. СПб.: Изд-во Гос. Эрмитажа, 2001. С. 241-246.
9. Никонов А.А. Ялтинское землетрясение XV в. // Природа. 2012. № 11. С. 24-34.
10. Никонов А.А. Сейсмогеодинамика Крымского региона // Тектоника, геодинамика, и сейсмогенез складчатых поясов и платформ. Матер. XLVIII Тектонич. совещания. М., 2016.
11. Никонов А.А., Сергеев А.П. Сейсмогравитационные нарушения в Крыму при землетрясениях 1927 г. // Проблемы сейсмобезопасности Крыма: Сб. материалов конф. Симферополь, 1995. С. 34-35.
12. Попков В.И., Фоменко В.А., Глазырин Е.А., Попков И.В. Катастрофическое тектоническое событие лета 2011 г. на Таманском полуострове // ДАН. 2013. Т. 448. № 6. С. 680-683.
13. Поротов А.А., Мысливец В.И., Зинько В.Н., Зинько А.В., Гайнанов В.Г., Зверев А.С. Развитие рельефа побережья Керченского пролива в районе мыса Камыш-Бурун в позднем голоцене // Вестн. Моск. Ун-та. Сер. 5. География. 2014. № 2. С. 41-48.
14. Шнюков Е.Ф. Грязевые вулканы Черного моря как поисковый признак газогидратов метана // Литология и полезные ископаемые. 2013. № 2. С. 119-127.

## ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ МАССИВОВ НАМЫВНЫХ ГРУНТОВ

Е.Н. Огородникова<sup>1</sup>, С.К. Николаева<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Экологический факультет Российского университета дружбы народов,  
115093, Москва, Подольское ш., д. 8/5.

<sup>2</sup> Геологический факультет МГУ им. М.В.Ломоносова, 119899, Москва, Ленинские горы,  
МГУ, Геологический факультет. E-mail: sk.niko@geol.msu.ru

Намывные грунты в соответствии с Общей классификацией техногенных грунтов входят в классы техногенно образованных и техногенно переотложенных грунтов [6]. Они широко распространены в местах добычи и переработки полезных ископаемых, на селитебных территориях, вдоль линейных сооружений.

Рассмотрение геоэкологических особенностей намывных грунтов предусматривает оценку взаимодействия их массивов с окружающей природной средой. Под массивом намывного грунта (МНГ) авторы, вслед за И.В. Дудлером, понимают геотехногенное тело, образованное намывом из природных или техногенно образованных грунтов и являющееся частью природно-технической системы [2]. Формирование массивов намывных техногенных грунтов свидетельствует о масштабной порообразующей деятельности человека при различном хозяйственном освоении территорий, и при этом изменяет геоэкологические условия. Негативное воздействие на природные среды связано в основном с горнодобывающей и энергетической отраслями промышленности. Складируемые отходы производства создают намывные техногенно образованные грунты. Строительная деятельность человека приводит к появлению техногенно переотложенных массивов намывных территорий или намывных линейных сооружений [7].

Для оценки изменения геоэкологических условий воспользуемся методологическими представлениями В.Т. Трофимова с соавторами об экологических функциях литосферы [8], которые, на наш взгляд, применимы ко всем абиотическим компонентам Земли. Постараемся показать эти изменения на примере массивов намывных грунтов, образующихся при добыче, обогащении и переработке полезных ископаемых.

**Ресурсная экологическая функция** определяет состояние ресурсов Земли и включает ресурсы литосферы, атмосферы и гидросферы. Добыча полезных ископаемых открытым способом с помощью средств гидромеханизации связана с формированием массивов намывных грунтов. Под складирование отчуждаются обширные площади сельскохозяйственных угодий (пахотных земель и др.), экологически уязвимых пойменных, таежных, тундровых и других участков; изменяются природные ландшафты. Территории, на которых фиксируется изменение природной экологической обстановки, распространяются на значительные расстояния от выделенного земельного отвода и

составляют сотни гектар. В таблице 1 показаны размеры и объемы гидроотвалов Курской магнитной аномалии [3].

Таблица 1

**Параметры гидроотвалов ГОКов в пределах КМА**

| Гидроотвалы      | Площадь, га | Уложено грунтов, млн. м <sup>3</sup> | Объем укладки млн. м <sup>3</sup> /год |
|------------------|-------------|--------------------------------------|--|
| Лебединский ГОК  | 2116        | 409                                  | 97                                     |
| Михайловский ГОК | 308         | 22,8                                 | 3,5                                    |

*Примечание:* значения объема укладки рассчитаны в условиях максимального объема для разных гидроотвалов.

Массивы хвостохранилищ, образованные техногенными грунтами – продуктами переработки и обогащения полезных ископаемых, по размерам сопоставимы с площадями, отведенными под гидроотвалы (табл. 2).

Таблица 2

**Параметры хвостохранилищ ГОКов в пределах КМА**

| Горно-обогатительный комбинат | Площадь хранилищ, га | Проектная высота ограждающих дамб, м | Вместимость на конец эксплуатации, млн. м <sup>3</sup> | Общий выход хвостов, млн. м <sup>3</sup> |
|-------------------------------|----------------------|--------------------------------------|--|--|
| Лебединский                   | 1080                 | 94,0                                 | 567  | 19,35                                    |
| Михайловский                  | 2250                 | 52,0                                 | 350  | 12,32                                    |

В результате этих видов воздействия на литосферу видоизменяется и нарушается ресурс пространства наряду с уменьшением запасов полезных руд.

Массивы намывных грунтов оказывают влияние на загрязнение атмосферы, которое связано с пылением. Пыление поверхности отвалов и хвостохранилищ наносит значительный урон окружающей среде. Например, только с отвалов Лебединского ГОКа ежегодно сдувается около 200 тыс. тонн пыли [9] (табл.3). В результате загрязнения ресурсная функция атмосферы изменяется.

Таблица 3

**Содержание пыли в приземном слое воздуха в районе Лебединского ГОКа (на 25 июня 2010 г.)**

| Расстояние от хвостохранилища, м | Количество точек | Концентрация пыли, мг/м <sup>3</sup> |       |         |
|----------------------------------|------------------|--------------------------------------|-------|---------|
|                                  |                  | макс.                                | мин.  | средняя |
| 0-300                            | 9                | 1,930                                | 0,013 | 0,187   |
| 300-500                          | 3                | 2,450                                | 0,010 | 0,484   |
| 500-1000                         | 3                | 0,055                                | 0,014 | 0,034   |
| >1000                            | 3                | 0,053                                | 0,006 | 0,031   |



**Геохимическая экологическая функция** связана с изменением кларкового содержания химических элементов и их трансформацией и перемещением в литосфере и гидросфере. Распространение пыли в районах обустройства хвостохранилища приводит к загрязнению почвенного покрова. В таблице 4 показано влияние пыления отвалов обогащения Тырнаузского вольфрам-молибденового комбината на почвы, приуроченные как к пастбищам, так и к сельскохозяйственным угодьям.

Таблица 4

**Значения средних содержаний химических элементов (г/т) в техногенных намывных грунтах хвостохранилищ [1]**

| Элемент | Хвостохранилище | Сенокос | Капустное поле | Пастбище |
|---------|-----------------|---------|----------------|----------|
| Cr      | 70              | 86      | 115            | 101      |
| V       | 79              | 92      | 146            | 123      |
| Co      | 13              | 15      | 22             | 23       |
| Ni      | 34              | 33      | 61             | 40       |
| Cu      | 28              | 45      | 46             | 33       |
| Zn      | 54              | 97      | 149            | 223      |
| Sr      | 537             | 299     | 194            | 207      |
| Zr      | 192             | 214     | 230            | 191      |
| Ba      | 318             | 430     | 565            | 364      |
| Pb      | 24              | 34      | 40             | 38       |
| As*     | 18,7            | 20,7    | 12,5           | 87,2     |
| Cs*     | 5,28            | 8,52    | следы          | 8,36     |
| W*      | 7,4             | 6,3     | следы          | 372,3    |
| Th*     | 10,05           | 14,10   | следы          | 11,55    |
| U*      | 2,92            | 2,86    | следы          | 2,76     |

*Примечание:* 1) анализы выполнены методом рентгено-флюорисцентного анализа, отмеченные звездочкой – методом нейтронно-активационного анализа; 2) разброс значений обусловлен рельефом местности и направлением ветра.

Эксплуатация карьеров и формирование массивов намывных грунтов гидроотвалов и хвостохранилищ приводит к геохимическому загрязнению поверхностных и подземных вод водами техногенного водоносного горизонта. На объектах Лебединского ГОКа (1995 г.) в отдельных пробах воды, отобранной непосредственно в пределах хвостохранилищ, некоторые компоненты обнаружены в концентрациях, близких к ПДК или превышающих их. Содержание селена – 0,0006-0,0010 мг/л (ПДК 0,001 мг/л); марганца – 0,08-0,40 мг/л (ПДК 0,1 мг/л); титана – 0,05-0,40 мг/л (ПДК 0,1 мг/л); бериллия – 0,00005-0,00048 мг/л (ПДК 0,0002 мг/л). В водах хвостохранилища ПДК по азоту аммонийному превышены в 9,6 раза, по нитрат ионам – в 2,1 раза, по железу общему – в 2,6 раза, по меди – в 29 раз. Наряду с нитрат ионом, в воде обнаружены  $\text{NH}_4^+$  – от 0,2 до 12,1 мг/л,  $\text{NO}_2^-$  – от 0,27 до 1,4 мг/л. [5].

**Геофизическая экологическая функция** применительно к намывным грунтам проявляется в трансформации радиоактивных элементов при перемещении и изменении их концентрации. Из данных, приведенных в таблице 4 видно, что в землях сельскохозяйственного использования содержание тория завышено по сравнению с содержанием в хвостохранилище. В таблице 5 показано содержание радиоактивных элементов в углях и угольных месторождениях Забайкалья [4]. Концентрация радиоактивных элементов в золах и шлаках превышает концентрацию в природных углях на порядок.

Таблица 5

**Содержание радиоактивных элементов (г/т) в углях на угольных месторождениях Забайкалья, в золе и шлаке**

| Месторождение<br>углей | <sup>238</sup> U |    |     | <sup>226</sup> Ra |    |     | <sup>232</sup> Th |    |     | <sup>40</sup> K |    |     |
|------------------------|------------------|----|-----|-------------------|----|-----|-------------------|----|-----|-----------------|----|-----|
|                        | I                | II | III | I                 | II | III | I                 | II | III | I               | II | III |
| Харанорское            | 5,8              | 53 | 46  | 2,0               | 28 | 25  | 1,6               | 12 | 11  | 2,1             | 13 | 10  |
| Уртуйское              | 18               | 62 | 66  | 3,5               | 43 | 64  | 2,8               | 13 | 14  | 13              | 70 | 80  |

*Примечание:* I – уголь, II – зола, III – шлак.

**Геодинамическая экологическая функция** проявляется уже на стадии седиментации техногенных грунтов. Важнейшей задачей, определяющей накопление массива, является скорость седиментации осадка и перераспределение частиц пульпы в процессе намыва. Последнее обстоятельство приводит к неоднородности массива техногенного грунта, формированию слоистости, незакономерному чередованию слоев разного состава и дисперсности из-за смены мест выпуска пульпы, а также анизотропии и существенной изменчивости свойств намывного материала по разрезу и в плане по распространению фронта намыва [7].

Обязательным объектом исследования массивов намывных техногенных грунтов является гидродинамический режим техногенного водоносного горизонта и его взаимосвязь с природными гидрогеологическими условиями. В работе «Экологическая геология крупных горнодобывающих районов Северной Евразии» (стр. 401-402) [10] показана роль техногенного водоносного горизонта на изменение гидрохимического режима болота с олиготрофного на автотрофный. Высокая обводненность и минерализация привели к смене растительных сообществ.

Особое внимание при эксплуатации хвостохранилищ и шламохранилищ следует уделять устойчивости ограждающих сооружений. В последнее время все чаще появляются известия о потерях устойчивости ограждающих дамб, их разрушениях и разливах отходов разных производств, что наносит экологический ущерб прилегающим территориям.

Анализ приведенных данных подтверждает высказанные положения о взаимосвязи техногенных грунтов и экологических функций всех абиотических компонентов и заставляет обращать внимание на необходимость изучения массивов техногенных грунтов с позиций геоэкологии.

## Литература

1. *Бортников Н.С., Гурбанов А.Г., Богатилов О.А.* и др. Оценка воздействия захороненных промышленных отходов Тырнаузского вольфрамово-молибденового комбината на экологическую обстановку (почвенно-растительный слой) прилегающих территорий Приэльбрусья // *Геоэкология*. 2013. № 5, с. 405-416
2. *Дудлер И.В.* Инженерно-геологическое управление природно-техническими системами «намывное сооружение – геологическая среда» // *Сб. научн. трудов Гидропроекта*. Вып. 158. М., 1993, с. 1-16
3. *Косинова И.И.* Экологическая геология Курской магнитной аномалии (КМА) Издательско-полиграфический центр Воронежского государственного университета. 2009, 215 с.
4. *Овсейчук В.А., Сидорова Г.П.* Ураноносность бурых углей Забайкалья. Чита: Изд-во ЗабГУ. 2013, 192 с.
5. *Огородникова Е.Н., Николаева С.К., Нагорная М. А.* Инженерно-геологические особенности массивов намывных техногенных грунтов // *Инженерная геология*. 2013. № 1, с. 76-77.
6. *Огородникова Е.Н., Николаева С.К.* Классификации техногенных грунтов. Сергеевские чтения. Выпуск 16. М.: Изд-во РУДН, 2014, с. 194-198.
7. *Огородникова Е.Н., Николаева С.К., Ван Чин* и др. Намывные грунты и управление их свойствами М.: Изд-во РУДН, 2014, 368 с.
8. *Трофимов В.Т., Зилинг Д.Г., Барабошкина Т.А.* и др. Трансформация экологических функций литосферы в эпоху техногенеза. М.: Издательский дом «Ноосфера», 2006, 718 с.
9. *Чепелев О.А., Ломиворотова О.М.* Определение уровня техногенного давления пыли на периферии карьерно-отвальных комплексов Лебединского горно-обогатительного комбината по данным полевых и лабораторных исследований // *Людина та довкілля. Проблеми неоекології*. 2011. № 3-4, с. 87-94.
10. Экологическая геология крупных горнодобывающих районов Северной Евразии. Воронеж, 2015, 574 с.

## К ВОПРОСУ РЕШЕНИЯ ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКИХ И ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ПРОБЛЕМ УРБАНИЗИРОВАННЫХ ТЕРРИТОРИЙ ГЕОФИЗИЧЕСКИМИ МЕТОДАМИ

**П.И. Пигулевский<sup>1</sup>, В.К. Свистун<sup>1</sup>, О.К. Тяпкин<sup>2</sup>, А.С. Кирилюк<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> ДГЭ «Днепрогеофизика», ИГФ НАНУ, Днепрпетровск, Украина

<sup>2</sup> Институт проблем природопользования и экологии НАН Украины, Днепрпетровск, Украина

Исчерпаемость природных ресурсов порождает стыковую «междисциплинарную» (техническо-геолого-химическую) проблему экологии и рационального природопользования. В рамках этой проблемы решение вопросов функционирования и оценки состояния экосистем в условиях антропогенного воздействия является крайне сложной задачей, как с научно-теоретической, так и с экспериментально-прикладной точек зрения. Экология, геология, геофизика и геохимия связаны между собой значительно теснее, чем это кажется с первого взгляда. Отдельные компоненты геологической среды взаимосвязаны между собой так, что изменение одного из них вызывает «цепную реак-

цию» изменений других. Все это требует развития нетрадиционных технологий диагностики динамики антропогенного воздействия (загрязнения) и состояния экосистем. Технологии исследований, использующие комплекс геофизических методов, позволяют определить их состояние и функционирование оперативно и по малому числу параметров без вмешательства в экосистему.

В частности, в относительно «молодой» экогеофизике акцент делается на методы исследования как средство контроля среды обитания человека, обеспечивающих высокую точность и чувствительность в фиксировании напряженности и вариации физических полей любой природы [1]. Однако в настоящее время экогеофизика вышла за рамки чисто геологической науки. В ней можно четко выделить два основных направления исследований: 1) природопользовательское – геофизические исследования современных природных и техногенных процессов в земных недрах и контроль за состоянием природной среды и 2) экологическое – изучение непосредственного воздействия самих геофизических полей на человека и окружающую среду [5]. Среди первоочередных задач новой геофизической дисциплины необходимо отметить проблему разработки (выбора) единых геологических основ процессов получения и обработки-интерпретации геофизической информации и создание комплексного геолого-геофизического мониторинга, ориентированного на решение как региональных, так и локальных геоэкологических проблем техногенно нагруженных территорий.

Одними из ключевых вопросов эффективного использования здесь геофизических методов являются: пространственно-временное прогнозирование развития разномасштабных и разнородных процессов в земных недрах на тектонической основе и создание экологических физико-геологических моделей – как основы всего процесса изучения геологической среды и техносферы геофизическими методами. Не менее важным вопросом также является роль геофизических критериев при оценке условий жизнедеятельности населения сформировавшегося природно-техногенного комплекса Украины для целей безопасного ведения хозяйства (производства), реструктуризации экономики и перехода к устойчивому развитию. В настоящее время уже существует положительный опыт решения этих вопросов на региональном уровне применительно к условиям индустриального юго-востока Украины: 1) комплект разномасштабных карт (система вложенных телескопических «врезок») плотности индикаторов всех фиксируемых на Украинском щите систем разломов (согласно [4]) позволяет охарактеризовать фоновое состояние геологической среды по отношению к наиболее интенсивным и опасным природным и техногенным процессам, которые могут представлять опасность для жизнедеятельности человека [7]; 2) интегральная оценка уровня геофизического воздействия на биоту равновесных природной и техногенной составляющих, формирующих высокоуровневый геофизический фон, выходящий за рамки «привычного» для экосистем, человека и приводящий к ухудшению условий жизнедеятельности населения [7, 8]; 3) геофизические модели разрабатываемого месторождения ориентированы на решение кон-

кретных экогеологических и технологических задач, которые являются частью экологической физико-геологической модели самого месторождения и прилегающих территорий [6]; 4) комплексный геофизический мониторинг геологической среды в районах АЭС юга Украины и другие.

Результаты региональных исследований являются базой решения локальных проблем геолого-геофизического изучения природно-техногенных комплексов с уже сложившимся хозяйственной инфраструктурой и уровнем загрязнения окружающей среды. На юго-востоке Украины за последние 10-15 лет накоплен богатый положительный опыт детальных геофизических исследований опасных в экологическом отношении геологических процессов. В качестве конкретных примеров можно привести следующие локальные проекты (преимущественно на территории Днепропетровской и Николаевской областей) [2, 3].

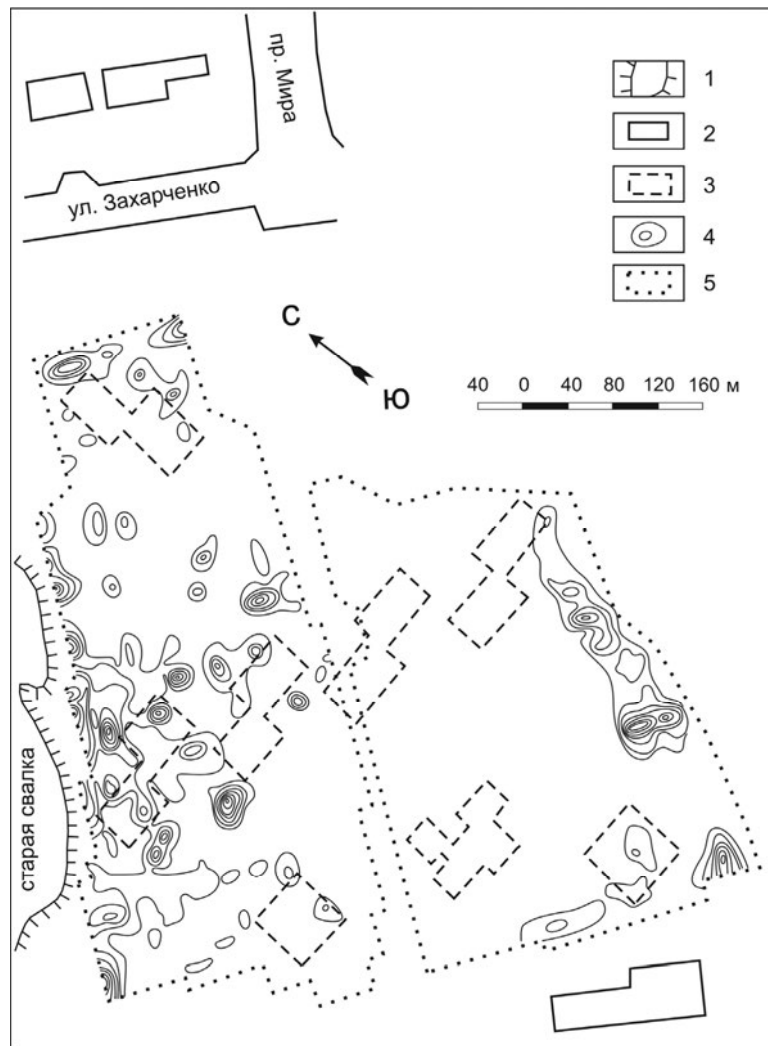
**1. Изучение оползнеопасных склонов.** Исследования проведены в пределах жилмассива «Сокол-2» (г.Днепропетровск) с целью выделения и изучения во времени динамически активных (ослабленных) горных пород. Использовался комплекс геофизических методов, который включал эманационную съемку, газовую съемку, гравиразведку, электроразведку, сейсморазведку. По данным сейсморазведки, содержанию метануглекислых газов и радона, анизотропии электромагнитного поля, этот район характеризуется неравномерной пространственно-временной геодинамической активностью, что подтверждается результатами геодезических наблюдений за глубинными реперами.

Полученные материалы свидетельствуют о том, что в результате гражданского строительства было нарушено естественное состояние горного массива, возникли дополнительные прогрессирующие напряжения и нагрузки, приведшие к образованию микротрещиноватости. Все это потребовало от городских властей незамедлительных управленческих решений и, в первую очередь, проведения защитных мероприятий, связанных с понижением уровня подземных вод.

**2. Выявление и оконтуривание погребенных свалок.** Газовая съемка (суммарное содержание метануглекислых газов) была проведена на жилмассиве «Левобережный-3» (г.Днепропетровск) с целью выявления мест захоронения отходов мясокомбината в пределах участка, отведенного под жилую застройку (рис.1).

В результате интерпретации данных этой съемки выделено три типа площадей. К первому типу отнесены площади с фоновыми (0,1-1,0%) значениями содержания газов в почвенном воздухе. Здесь верхняя часть геологического разреза находится в ненарушенном или слабо нарушенном состоянии, насыпные грунты с включениями органики имеют незначительную мощность, либо отсутствуют вовсе. Второй тип характеризуется наличием локальных аномалий с горизонтальными размерами до нескольких метров, имеющих сглаженную, близкую к изометрической форму и интенсивность в пределах 1-2%. Аномалии отражают наличие ограниченных в плане и по мощности первыми метрами участков насыпных грунтов, в составе которых

имеется бытовой мусор, содержащий органические остатки. Третьему типу площадей соответствуют четкие аномалии интенсивностью до 8-10%, покрывающие площадь от десятков до сотен м<sup>2</sup>. Такие аномалии фиксируют протяженные рвы, заполненные бытовым мусором с большим количеством органических остатков.



**Рис. 1. Результаты выявления мест захоронения отходов мясокомбината в пределах участка, отведенного под жилую застройку на жилмассиве «Левобережный-3» (г. Днепропетровск):**

1 – элементы современного рельефа; 2 – жилые здания; 3 – контуры проектных зданий; 4 – изолинии концентрации метан-углекислых газов (сечение 1%); 5 – границы съемки

Результаты проведенных исследований позволили выявить и рекомендовать участки для выполнения специальных инженерно-технических мероприятий, направленных на минимизацию отрицательного влияния мест захоронения органических остатков как на технологический процесс строительства, так и на общую экологическую ситуацию исследованной территории.

**3. Изучение подтопленных территорий.** Исследования (электроразведочные и биолокационные наблюдения в режиме мониторинга) были проведены с целью определения причин и источников подтопления территории депо скоростного трамвая и прилегающих к ней площадей (г.Кривой Рог, Днепропетровская область). Было установлено, что на территории депо скоростного трамвая отсутствует картина сплошного подтопления. Контуры водных линз периодически меняют свою конфигурацию и их размеры находятся в прямой зависимости от режима работы теплотрассы и времени года. Обводнение пока невелико по размерам, но оно поражает наиболее важные участки депо и территории нового строительства. По результатам работ были выделены участки гидравлической связи между водоносными горизонтами, которые могут быть использованы при осушении территории и даны конкретные рекомендации по инженерной защите от подтопления территории депо скоростного трамвая и прилегающих площадей.

Исследования (электроразведочные и биолокационные наблюдения) по станции «Электрозаводская», были выполнены в 2010 году Криворожской геофизической партией ДГЭ «Днепрогеофизика». Они показали, что:

подземная часть станции пересекает водоносный горизонт, а ее основание находится почти на водоупоре; питание водоносного горизонта осуществляется за счет сочетания природных и техногенных факторов.

Природные факторы – атмосферные осадки и конденсация влаги.

Техногенные факторы – фильтрационные потери из канала Днепр – Кривой Рог, который расположен выше по рельефу и ближе к водоразделу восточнее станции; утечки из водонесущих коммуникаций, находящихся на прилегающей территории; уровень грунтовых вод в районе работ находится на глубине от 4-5,5 м. на востоке до 6,9-7,2 м – на западе. Дренажная система, находящаяся в западной части участка, предположительно не работает, но проверить это предположение было невозможно из-за того, что колодцы системы засыпаны.

Потоки фильтрации грунтовых вод ориентированы в северо-западном направлении (аз.  $315^{\circ}$  СЗ), т.е. от канала Днепр-Кривой Рог в сторону долины реки Саксагань.

**4. Исследования мест захоронения отходов шахтных пусковых установок.** В зоне сложившейся во второй половине 2000 года чрезвычайной экологической ситуации (с.Болеславчик, Первомайский район Николаевской области) проведены комплексные геофизические исследования (индуктивная электроразведка, магниторазведка, газовая съемка, радиометрическая съемка и др.). Выявлено отсутствие в насыпных грунтах траншей, где были захоронены остатки шахтных пусковых установок, растворимых солей в ионной форме и присутствие на глубине первых метров скоплений магнитных масс:

фрагментов железобетонных сооружений, кусков железа, мотков колючей проволоки и т.д. Установлено, что изученные объекты не несут радиационной и химической опасности для окружающей среды.

#### Литература

1. *Вахромеев Г.С.* Экологическая геофизика. – Иркутск: ИрГТУ, 1995. – 216 с.
2. Использование геофизических методов при выявлении пустот в массивах горных пород (на примере Кривбасса, Украина) / Пигулевский П.И., Свистун В.К., Лазебник В.П., Кирилюк А.С. // Гелиогеофизические исследования. 2015. <http://vestnik.geospace.ru/index.php?id=330>
3. Решение задач техногенной безопасности в пределах городских агломераций с помощью геофизических методов / П.И. Пигулевский, В.К. Свистун, С.А. Слободянюк, О.К. Тяпкин // Геофизический мониторинг опасных геологических процессов и экологического состояния среды: Тез. докл. Междунар. научн. конф. – Киев: Киевский университет, 2000. – С.33-34.
4. *Тяпкин К.Ф.* Физика Земли. – Киев: Вища школа, 1998. – 312 с.
5. *Тяпкин О.К.* Геофизические методы решения геозэкологических задач. – Днепропетровск: Монолит, 2006. – 296 с.
6. *Тяпкин О.К., Солдатенко В.П.* Применение гравиразведки для оценки геолого-экологических последствий горнодобывающей деятельности // Геофизический журнал. – 2000. – Т. 22. – № 1. – С. 21-30.
7. *Шапарь А.Г., Тяпкин О.К.* Экогеофизические аспекты районирования промышленно и техногенно-нагруженных регионов // Доклады Национальной академии наук Украины. – 1999. – № 3. – С. 133-137.
8. *Troyan J.G., Tyapkin O.K., Bugrova H.L.* Geophysical Criterias of an Estimation of Conditions of Human Activity of Population of Ukrainian Southeast // EAGE 62<sup>nd</sup> Conference and Technical Exhibition. – Glasgow, UK, 2000. – v.1. – Paper A-48. – 4 p.

### ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОМПЛЕКСНОЙ АНТРОПОТЕХНОГЕННОЙ НАГРУЗКИ НА ГОРОДСКУЮ ТЕРРИТОРИЮ РЯДА ГОРОДОВ РФ

**И.С. Помеляйко**

ООО «Нарзан-гидроресурсы», 357700, Россия, г. Кисловодск, ул. Кирова, д. 43.  
E-mail: irinapomelyayko@rambler.ru

Города Кисловодск, Ессентуки, Железноводск и Пятигорск имеют статус курортов федерального значения. В России подобным статусом обладает всего 11 городов. Численность населения, занятого в санаторно-курортной отрасли, составляет: в Кисловодске – 22,1, Железноводске – 18,1, Ессентуках – 17,2, Пятигорске – 5,1%. Официальные источники свидетельствуют, что города-курорты Кавказских минеральных вод (КМВ) являются эталоном благополучной в экологическом плане территории. По совокупности экологических условий, города РФ делятся на 5 категорий [2]: 1-я – благополучное экологическое состояние (ЭС), 2-я – удовлетворительное, 3-я – умеренно напря-



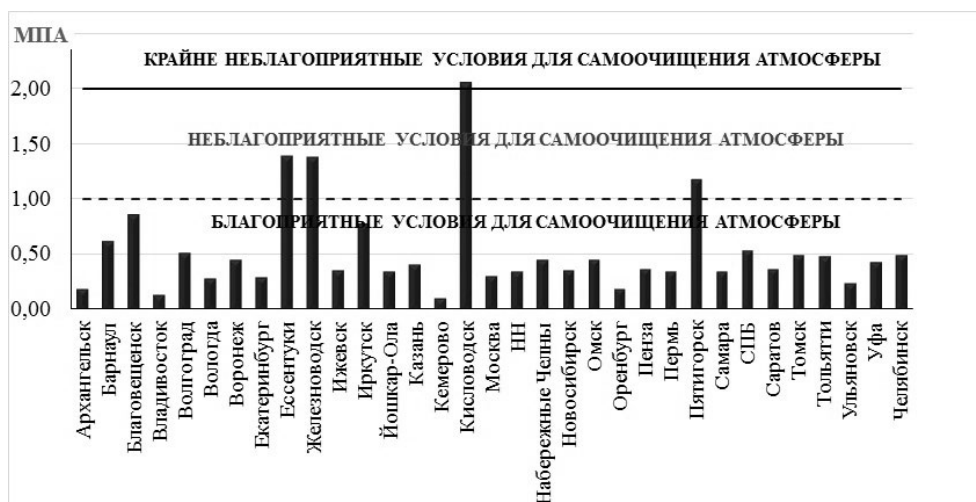
женное, 4-я – напряженное, 5-я – критическое. В основу данной градации был положен ряд признаков: объем вредных выбросов в атмосферу и водоемы, класс опасности загрязняющих веществ (ЗВ), уровень превышения ПДК поллютантов в воздухе и почвах, географические условия города. Города Ессентуки, Железноводск и Кисловодск отнесены к 1-й категории с благополучным ЭС. К данной категории отнесено 7 городов РФ. К 4-й (26% городов РФ) с напряженным и 5-й (9%), с критическим ЭС, категории, отнесены крупные промышленные центры, узлы авиалиний, шоссейных и железнодорожных путей – Волгоград, Воронеж, Иркутск, Москва, Челябинск, Пермь, Казань и др. В качестве примера города с благополучным ЭС приведен Кисловодск, что объясняется следующим: «промышленное и транспортное загрязнения незначительны при хороших условиях самоочищения атмосферы».

Автором, на основе выполненного системного анализа всех природных сред, вывод о благополучном ЭС курортов КМВ, опровергается.

Учитывая, что на долю автотранспорта в городах-курортах приходится от 93 до 97% всех валовых выбросов в атмосферу, автор сопоставила плотность выбросов от автотранспорта на единицу площади (данные за 2012 г.) в 30 городах РФ. Первое место в рейтинге занимает Москва (367,9 т/км<sup>2</sup>), Кисловодск находится на 17 месте (123,9 т/км<sup>2</sup>), опережая такие крупные города с напряженным и критическим ЭС, как Новосибирск, Волгоград, Пермь, Уфа и др. Выбросы от автотранспорта, под влиянием рельефа, метеорологического режима и градопланировочного фактора, формируют поля эколого-геохимического загрязнения. Территория Кисловодска в этом плане особенно неблагоприятна. Закрытая горными хребтами котловина, атмосферная циркуляция антициклонического типа, средняя скорость ветра – 1,3 м/с., число дней с осадками – 119. В данных условиях принявшая огромный размах застройка вдоль рек, а порой и непосредственно в руслах, приводит к локальным геохимическим аномалиям в почвах, реках и донных отложениях.

Территория КМВ характеризуется повышенным потенциалом загрязнения атмосферы (ПЗА) [1]. Поскольку ПЗА рассчитывается для относительно крупных регионов, для более детального уточнения был рассчитан многолетний метеорологический потенциал самоочищения атмосферы (МПА), определяемый как отношение повторяемости условий, способствующих накоплению примесей, к повторяемости условий, способствующих удалению примесей из атмосферы, предложенный Т.С. Селегей [13]. Если МПА < 1, то в рассматриваемый период времени создаются благоприятные условия для рассеивания примесей в атмосфере, если МПА > 1 – преобладают процессы, способствующие накоплению вредных примесей.

Многолетний МПА Кисловодска равен 2,04 (рис. 1), что соответствует крайне неблагоприятным условиям для самоочищения атмосферы, преобладают процессы, способствующие накоплению примесей на территории курорта. Подобные условия характерны также для Ессентуков, Железноводска (МПА – 1,38) и Пятигорска (МПА – 1,17).



**Рис.1. Значения метеорологического потенциала самоочищения атмосферы (МПА) в ряде городов РФ**

Ещё одной из причин столь неблагоприятной ЭС стала отмена закрытой прописки, практиковавшаяся в Кисловодске до середины 80-х годов XX века. Городское население существенно выросло (с 100,9 тыс. чел (1979 г.) до 136,8 тыс. чел. (2014 г)), за счет миграции. Плотность населения в городах-курортах Ессентуки и Кисловодск соответствует таким крупным административно-территориальным центрам, как Екатеринбург, Воронеж, Пермь, Уфа, Волгоград и др. По расчетам аналитиков, выполненным в 1970-е годы [11], в Кисловодске может проживать не более 70 тыс. населения, то есть около 1000 чел/км<sup>2</sup>. Перенаселение территории влечет за собой рост автотранспорта и садово-огородных участков, где применяются пестициды и ядохимикаты, увеличение неканализованного жилого сектора, застройку 1 и 2 зон санитарной охраны, вырубку деревьев.

На *первом этапе исследований* для объективной оценки ЭС городской территории выполнены исследования воздушного бассейна, почв, поверхностных и подземных вод курортов КМВ. Установлены ЗВ, превышающие ПДК и фоновые значения во всех природных средах. Рассчитаны показатели, позволяющие определить ЭС курортов. Результаты пятилетнего мониторинга свидетельствуют о достаточно сильном загрязнении всех природных сред [6, 9].

На *втором этапе* было оценено суммарное влияние факторов среды обитания на состояние здоровья населения, проживающего на курортах. Оценка выполнялась по величине комплексной антропогенной нагрузки на окружающую среду (КН) [15] по формуле:

$$КН=(K_{атм}+K_{воды}+K_{почвы})/N, \quad (2)$$

где  $K_{атм}$  – показатель загрязнения атмосферы;  $K_{воды}$  – показатель загрязнения водопроводной воды;  $K_{почвы}$  – показатель загрязнения почвы;  $N$  – число единиц, соответствующих количеству учтенных пофакторных оценок.

$$K_{атм} = \left( \frac{C_1}{N_1 * ПДК_{C_1}} + \frac{C_2}{N_2 * ПДК_{C_2}} + \frac{C_n}{N_n * ПДК_{C_n}} \right) * P / P_0, \quad (3)$$

где  $C_{1,n}$  – среднесуточные концентрации компонентов загрязнения;  $ПДК_{C_1, C_n}$  – среднесуточная ПДК компонентов загрязнения;  $N$  – коэффициент, величина которого зависит от класса опасности вещества;  $P$  – среднегодовая повторяемость направления ветра по румбу от источника загрязнения на жилую зону (%);  $P_0$  – процент повторяемости направлений ветров одного румба при круговой розе ветров.

При расчете в формулу (3) вводилась поправка, вместо  $ПДК_{C_1, C_n}$  принималось  $0,8 ПДК_{C_1, C_n}$ , поскольку данное требование прописано для зон санитарной охраны курортов в п. 2.4. ГОСТ 17.2.3.02-78 «Охрана природы. Атмосфера». Показатель загрязнения атмосферы  $K_{атм}$  в Кисловодске составляет **3,39**. Из-за отсутствия постов наблюдения за атмосферой в Эссентуках и Железноводске, рассчитать для них  $K_{атм}$  не возможно. Далее рассчитывался показатель загрязнения водопроводной воды городов-курортов

$$K_{вода} = \frac{C_1}{ПДК_1} + \frac{C_2}{ПДК_2} + \frac{C_n}{ПДК_n} \quad (4)$$

$C_{1,n}$  – фактические концентрации нормируемых химических веществ;  $ПДК_{1, n}$  – предельно допустимые концентрации химических веществ.

Приоритетным для гг. Эссентуки и Железноводск является Кубанский водопровод, для Кисловодска – Эшкаконский. Из-за идентичности исходной водопроводной воды для гг. Эссентуки и Железноводск был рассчитан единый показатель ( $K_{вода}$ ). Расчет выполнен по 39 показателям, большинство значений которых оказалось меньше пределов обнаружения. Показатель загрязнения водопроводной воды Железноводска и Эссентуков – 1,77; Кисловодска – 2,30.

С целью учета тех ингредиентов питьевой воды, содержание которых регламентируется с позиции пользы для организма, применялся комплексный показатель физиологической полноценности ( $K_{фн}$ ). Оптимальные величины данных ингредиентов принимались с учетом существующих в РФ нормативов [12] и рекомендаций ВОЗ. Вода Кубанского водопровода не отвечает требованиям по бикарбонатам и фторидам. Концентрации в воде кальция и магния находятся на самых низких пределах требований РФ и не удовлетворяют нормативам ВОЗ. Вода Эшкаконского водопровода более сбалансирована и соответствует требованиям по содержанию кальция, магния, бикарбонатам и величине общей минерализации. Недостатком её является низкое содержание фторид-иона, что характерно для вод региона.

На следующем этапе рассчитывался показатель загрязнения почв.

$$K_{\text{почвы}} = \frac{C_1}{\text{ПДК}_1} + \frac{C_2}{\text{ПДК}_2} + \frac{C_n}{\text{ПДК}_n} \quad (5)$$

где  $C_{1,n}$  – фактические концентрации нормируемых химических веществ;  $\text{ПДК}_n$  – ПДК химических веществ.

Геохимический мониторинг осуществлялся в 2011-2014 гг. во всех регламентируемых функциональных зонах гг. Ессентуки, Железноводск, Кисловодск. Плотность отбора составила 1 проба/5 км<sup>2</sup>. Химический анализ грунтов выполнялся по ряду показателей: вещества 1–2 классов опасности (Pb, Hg, As, Cd, Zn, Ni, Cu) и вещества с повышенным на КМВ фоновым содержанием (Ba, Sr, Mn), определялось их валовое содержание.

По величине комплексной антропогенной нагрузки степень экологического неблагополучия Кисловодска оценивается как критическая (КН=3,42). Наибольший вклад в комплексную антропогенную нагрузку вносит загрязнение почв – 45 %. Долевой вклад загрязнения атмосферного воздуха и питьевой воды составляет соответственно 33 и 22 % (табл. 1).

Таблица 1

Оценка санитарно-гигиенической ситуации в городах-курортах КМВ

| Город        | Коэффициент химического загрязнения (К) |                   |                    | Комплексная антропогенная нагрузка (КН) | Степень экологического неблагополучия |
|--------------|---|-------------------|--------------------|---|---------------------------------------|
|              | $K_{\text{воздух}}$                     | $K_{\text{вода}}$ | $K_{\text{почва}}$ |   |                                       |
| Кисловодск   | 3,39                                    | 2,30              | 4,58               | 3,42                                    | критическая                           |
| Ессентуки    | –                                       | 1,77              | 3,27               | 2,52                                    | напряженная                           |
| Железноводск | –                                       | 1,77              | 1,57               | 1,67                                    | напряженная                           |

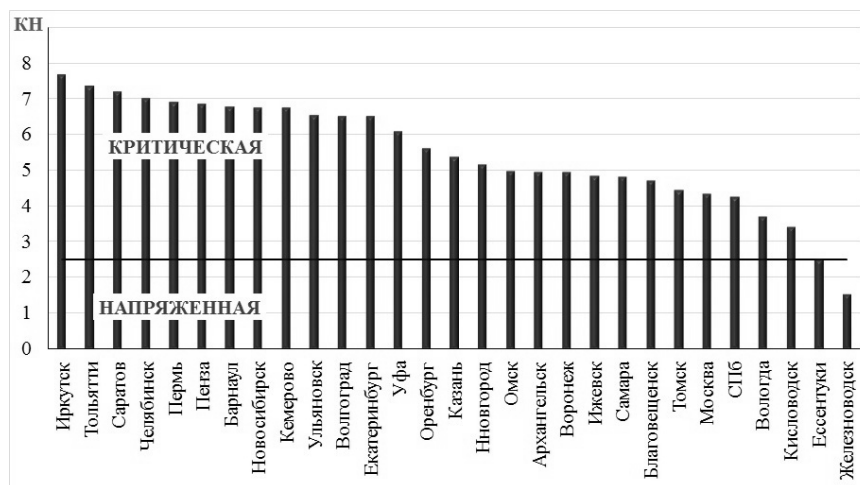


Рис. 2. Ранжирование ряда городов РФ по величине комплексной антропогенной нагрузки

Для сравнения автором были рассчитаны КН для городов с напряженной и критической ЭС [10] (рис. 2).

Расчеты выполнялись по изложенной выше методике, на основе данных из [3,4,5,7,8,14,16]. Результаты химических анализов водопроводной воды взяты с официальных сайтов водоканалов исследуемых городов.

**Вывод:** среди анализируемых городов, по степени экологического неблагополучия только Железноводск и Ессентуки могут быть отнесены к территориям с напряженной ситуацией, все остальные города, включая курорт Кисловодск относятся к территориям с критической ЭС. При данной ситуации наблюдаются отклонения по общим показателям здоровья, увеличивается число часто болеющих детей, число детей с врожденными пороками развития и хроническими заболеваниями, нарушениями функционального состояния сердечно-сосудистой системы.

#### Литература

1. *Безуглая Э.Ю.* Воздух городов и его изменения / Э.Ю. Безуглая, И.В. Смирнова. СПб.: Астерион, 2008. 254 с.
2. Города России: энциклопедия / Гл. ред. Г.М. Лаппо. М.: Большая Российская энциклопедия, 1994. 559 с.
3. *Дабахов М.В.* Экологическая оценка техногенно загрязненных почв урбанизированных территорий и промышленных зон г. Нижнего Новгорода. Автореф. дис. ... д-ра. биол. наук. Н. Новгород, 2011. 46 с.
4. Ежегодник. Загрязнение почв РФ токсикантами промышленного происхождения в 2013 году. Обнинск: ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД», 2014. 114 с.
5. Ежегодник состояние загрязнения атмосферы в городах на территории России за 2012 год / Под ред. д.г.н. Э.Ю. Безуглой. СПб.: ООО «Д Арт», 2013. 224с.
6. Кисловодское месторождение углекислых минеральных вод: Системный анализ, диагностика, прогноз, управление / А.В. Малков, И.М. Першин, И.С. Помеляйко и др. М.: Наука, 2015. 283 с.
7. *Ларионов М.В.* Особенности накопления техногенных тяжелых металлов в почвах городов Среднего и Нижнего Поволжья // Вестник Томского государственного университета. 2013. № 368. С. 189-194.
8. *Мельникова А.Д.* Изучение содержания тяжелых металлов и бенз(а)пирена в почвах Северного административного округа Москвы / А.Д. Мельникова, П.А. Васильев, Д.М. Хомяков // АгроЭкоИнфо (электронный журнал). 2011. № 2.
9. *Помеляйко И.С.* Системный анализ экологического состояния зоны гипергенеза урбанизированных территорий (на примере курорта федерального значения Кисловодска): Автореф. дис. ... канд. техн. наук. Пятигорск, 2012. 21 с.
10. *Помеляйко И.С., Лопатина Т.Н.* Сравнительный анализ экологического состояния крупных промышленных городов РФ и курорта федерального значения // Социология города. 2015. № 2. С. 55-75.
11. Проект округа санитарной охраны курортов Ессентуки, Железноводск, Кисловодск, Пятигорск. Москва-Кисловодск, 1981. Кн. 2. Т. 2. С.98.
12. СанПиН 2.1.4.1116-2002. «Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды, расфасованной в емкости. Контроль качества». М.: Изд-во стандартов, 2002. 20 с.
13. *Селегей Т.С.* Потенциал рассеивающей способности атмосферы // География и природные ресурсы / Т.С. Селегей, И.П. Юрченко. 1990. № 2. С. 184.

14. *Спиридонова И.В.* Оценка накопления тяжелых металлов в почвах урбололандшафтов Волгограда. Автореф. дис. канд. биол. наук. Ростов-на-Дону, 2009. 26 с.

15. Унифицированные методы сбора данных, анализа и оценки заболеваемости населения с учетом комплексного действия факторов окружающей среды: Методические рекомендации. М.: Минздрав России, 1996. 35 с.

16. *Шекоян С.В.* Анализ экотоксикологического состояния территории г. Воронеж / С.В. Шекоян, С.А. Епринцев // Вестник Тамбовского Университета. Серия: Естественные и технические науки. 2014. Т. 19. № 5. С. 1365-1367.

## **ПРОБЛЕМЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ ГОРОДСКОЙ ЗАСТРОЙКИ НА ПОДРАБОТАННЫХ ТЕРРИТОРИЯХ ВОСТОЧНОГО ДОНБАССА**

**А.Ю. Прокопов, В.Н. Жур, Я.С. Рубцова**

ФГБОУ ВПО «Ростовский государственный строительный университет»,  
344022, г. Ростов-на-Дону, ул. Социалистическая, 162. E-mail: prokopov72@rambler.ru

Целью настоящей работы является анализ основных проблем при строительстве и эксплуатации зданий и сооружений в Восточном Донбассе и разработка рекомендаций по проектированию и обеспечению безопасности строений. Рассмотрим наиболее актуальные проблемы, характерные для шахтерских территорий на современном этапе.

### **Проблема первая. Изменение социальной инфраструктуры и перепланировка шахтерских городов и поселков.**

Современное состояние шахтерских городов Восточного Донбасса называют депрессивным, поэтому для поддержания жизнеспособности шахтерских регионов разрабатываются стратегии развития новых отраслей промышленности (металлургических производств, агропромышленных комплексов, предприятий по производству строительных материалов и др.) При этом возникает проблема перепланировки шахтерских городов, поскольку исторически сложились жилые горняцкие поселки вокруг добывающего предприятия, которые имели свою инфраструктуру. После массового закрытия шахт города развиваются в основном в центральной части, вследствие чего в провинциальном шахтерском городе проблема уплотненной застройки является такой же актуальной, как и в крупном мегаполисе.

Развитие инфраструктуры бывших шахтерских городов Восточного Донбасса диктует необходимость возведения современных многоэтажных жилых и общественных зданий и сооружений, а также обеспечение сохранности многих существующих сооружений, являющихся архитектурными памятниками. Строительство новых зданий и сооружений рядом с существующими изменяет характер работы грунта в зоне мульды сдвижения. В геологи-

ческом строении толщи центральной части шахтерских городов можно наблюдать повсеместное наличие техногенного слоя различной мощности, характеризующегося неоднородным составом и сложением, неравномерной плотностью и сжимаемостью, наличием несслежавшихся грунтов, процесс уплотнения от собственного веса которых продолжается. Выросший техногенный слой в городах заставляет увеличивать глубину заложения фундаментов зданий.

**Проблема вторая. Строительство и эксплуатация зданий и сооружений в условиях многократной подработки территорий.**

Территории шахтерских городов Восточного Донбасса являются многократно подработанными горными выработками. Отработка велась практически под всей территорией городов, причем отрабатывались свиты нескольких пластов в разное время с управлением кровли в подавляющем большинстве – полным обрушением.

Практически все здания и сооружения шахтерских городов имеют признаки неравномерных деформаций грунтов, причинами которых являются геомеханические и гидрогеологические процессы. По данным наблюдений установлено, что горные работы оказали отрицательное влияние на техническое состояние зданий: наблюдаются их деформации в виде трещин, вследствие выгиба или прогиба оснований, горизонтальных деформаций сжатия и растяжения. Наблюдения за сдвижением земной поверхности и деформациями зданий, выполняемые на протяжении последних 40 лет показывают, что измеренные сдвигения и деформации не совпадают с расчетными по правилам охраны зданий и сооружений [3].

Процесс сдвижения горных пород характеризуется скоростью оседания земной поверхности и его продолжительностью. В результате обследования современных зданий и сооружений, которые построены после подработки и завершения процесса сдвижения с применением конструктивных защитных мероприятий, выявлены характерные деформации зданий. Установленные степени повреждения зданий и сооружений говорят о необходимости проектирования и применения защитных мероприятий, обеспечивающих снижение влияния деформаций земной поверхности для зданий, возводимых после отработки участков пластов под городской территорией.

Современные исследования [6] свидетельствуют о недостаточной изученности процесса сдвижения при многократной подработке земной поверхности угольными пластами. Такие факторы, как количество подработок, взаимное расположение отработанных участков пластов и порядок их отработки, не учитываются при проектировании зданий и сооружений. Исследования показали, что в условиях Шахтинского угольного района наиболее приемлемыми критериями для определения границы мульды сдвижения является оседание 15 мм, а для установления границ опасных деформаций для сооружений – оседание 40 мм.

### **Проблема третья. Строительство на грунтах с просадочными свойствами.**

На основании проведенного микрорайонирования грунтовой толщи г.Шахты по фактору просадочности [5] выявлено, что верхние слои обладают просадочными свойствами (I, II типа) на 70% территории до глубины 2,6-5,0 м, при средней глубине подземных вод 4,0-4,5 м, с амплитудой сезонных колебаний до 1,5 м.

Основанием фундаментов существующих зданий служат лессовидные суглинки, супеси и глины, местами – мелкозернистые пески. Основными конструкциями фундаментов зданий и сооружений города являются ленточные и отдельные фундаменты неглубокого заложения на естественном основании, с конструктивными мероприятиями, направленными на снижение деформаций зданий от подработки.

В процессе эксплуатации зданий грунты оснований подвергались замачиванию поверхностными (атмосферными), техногенными (от утечек из коммуникаций) водами, а также грунтовыми водами по мере их подъема. Лессовидные суглинки, обладающие просадочными свойствами, при дополнительном замачивании или повышении влажности дают дополнительные неравномерные деформации [4].

подавляющее большинство зданий и сооружений города имеет признаки неравномерных деформаций грунтов, причинами которых являются различные процессы. Многие здания подвержены деформациям из-за просадочных явлений в лессовидных суглинках, являющихся основанием фундаментов. Эти деформации объясняются также и ошибками при проектировании, строительстве и эксплуатации инженерных коммуникаций.

Различные службы и организации города затрачивают огромные средства на ликвидацию аварийных ситуаций, вызванных деформациями зданий, сооружений и инженерных подземных коммуникаций. Эти затраты можно существенно сократить на стадии проектирования объектов строительства при системном подходе к достижениям в области геотехники.

Рассмотрим несколько примеров эксплуатации зданий, расположенных в центральной части г.Шахты Ростовской области. Застройка центра складывалась на протяжении многих десятилетий. Коммуникации зачастую имеют огромный срок службы. Здание Шахтинского института (филиала) ЮР-ГПУ(НПИ), построенное в 1957 г., имеет деформации основных строительных конструкций в результате развития неравномерных деформаций грунтов основания, вызванных развитием просадочных и послепросадочных процессов при подтоплении подземными водами со стороны пр.Победы Революции. Вследствие нарушения естественного движения подземных и поверхностных вод жилые дома по пр.Победа Революции имеют характерные деформации, указывающие на просадку грунтов. Имеют значительные деформации здания драматического театра «Пласт», центральной городской библиотеки, многие другие промышленные и жилые здания и сооружения.



**Проблема четвертая. Поднятие уровня подземных вод в результате ликвидации шахт и изменение свойств грунтов оснований при намокании.**

В результате реструктуризации угольной промышленности (1995-2005 гг.) на территории г.Шахты из 11 шахт общей мощностью 8,3 млн.т угля в год [7], осталась 1 действующая шахта – «Октябрьская-Южная». Всего же в Восточном Донбассе за период 1995-2010 гг. число действующих шахт сократилось с 64 до 13, при этом добычу в 2011 г. осуществляли только 8 [2], а в 2014 г. – 6 шахт.

Деформации поверхности над выработанным пространством продолжают развиваться теперь уже вследствие ликвидации шахт. Оставленные горные выработки, разрушающиеся целики, отсутствие водоотлива систематически изменяют напряженно-деформированное состояние (НДС) пород и грунтов.

Развитие деформаций зданий и сооружений свидетельствует о том, что после выемки полезного ископаемого, процесс деформации не заканчивается, а активизируется.

Интенсивная добыча углей Восточного Донбасса привела сначала к общему снижению уровня подземных вод, что сказалось на мелких открытых дренах данного района. Изменение режима подземных вод не затронуло четвертичные отложения, так как водоносные горизонты угленосных отложений, приуроченные к песчаникам и известнякам карбона, залегали на более глубоких отметках. Ведение горных работ привело к геомеханической нарушенности пород, развитию трещиноватости. Нарушение первичных природных условий в связи с подработкой, привело к смешиванию водоносных горизонтов, а при закрытии шахт и отсутствии дренажа, к быстрому подъему уровня подземных вод на отдельных участках. После ликвидации шахт продолжается изменение состава поверхностных и грунтовых вод. На основании исследований грунтовых вод [1] установлено, что их минерализация резко увеличивается, в основном за счет роста содержания  $\text{SO}_4^{2-}$  и  $\text{Na}^+$ . Обводнение четвертичных отложений, несомненно, будет влиять на их физико-механические свойства [4].

**Выводы и предложения.**

1. Развитие инфраструктуры шахтерских городов диктует необходимость возведения современных зданий в центральной части, которая при наличии горных или конструктивных мер охраны пригодна для застройки многоэтажными жилыми и общественными зданиями и сооружениями. Однако для долговечной и безаварийной эксплуатации вновь возводимых сооружений необходимо выполнить ряд мероприятий:

– на основе построения информационной модели инженерной инфраструктуры города необходимо составить прогноз процесса и последствий подтопления водами различного происхождения;

– провести мониторинг изменения уровня грунтовых вод вследствие консервации подземных горных выработок;

– провести исследования НДС системы «основание – фундаменты – здание» в процессе повышения уровня грунтовых вод в результате подтопления;

– разработать и классифицировать мероприятия по геоэкологической и геотехнической защите оснований и фундаментов зданий и сооружений на стадиях проектирования, строительства и эксплуатации.

2. Учитывая неизбежное влияние подземных вод на физико-механические свойства, требуются тщательные исследования грунтов полевыми и лабораторными испытаниями. Вместе с этим важно провести исследования свойств грунтов в зависимости от состава подземных вод, а конкретно:

– степени агрессивности подземных вод по отношению к материалам подземных конструкций;

– прочностных, деформационных и просадочных характеристик грунтов основания после замачивания опытных образцов;

– сопоставление полученных результатов с данными фондовых материалов изысканий, для отслеживания динамики и прогнозирования изменения свойств грунтов в зависимости от состава подземных вод.

3. Проанализировав возможные изменения свойств просадочных грунтов при намокании, можно заключить следующее:

– при строительстве будет наблюдаться просадка грунтов под подошвой фундаментов зданий, однако, при повторном замачивании, просадочных явлений не будет. Следовательно, наиболее рациональным фундаментом для нового сооружения является фундаментная плита;

– регулярно проводимый мониторинг свойств грунтов под действием влияния загрязненных подземных вод позволит разработать мероприятия по обеспечению устойчивости грунтов оснований и защите заглубленных конструкций зданий от разрушений;

– при проектировании фундаментов зданий необходимо прогнозировать ползучесть глинистых грунтов, с этой целью на стадии проектирования зданий и сооружений на подрабатываемых территориях основание следует рассчитывать только в виде реологической системы;

– оценка возможного изменения свойств грунтов при прогнозируемом изменении состава и уровня грунтовых вод обязательна, поскольку сохранность и безаварийная эксплуатация существующих и новых зданий и сооружений напрямую зависит от несущей способности грунтов, т.е. от их физико-механических свойств;

– при проектировании в условиях плотной застройки необходимо проводить оценку влияния существующих сооружений на НДС грунтов и возможность повышения уровня подземных вод от дополнительной нагрузки.

4. Для безопасной эксплуатации зданий и сооружений необходимо на стадии проектирования пользоваться цифровой моделью массива горных пород с выработками и с объектами на поверхности.

5. Существующие конструктивные мероприятия защиты здания от подработки не обеспечивают должной эксплуатационной безопасности. Необходимо разрабатывать конструкции строящихся зданий с учетом деформации

рядом существующего, на основании анализа процесса сдвижения, результатов обследования существующих зданий и сооружений и предварительных защитных мероприятий и усиления грунтов.

#### Литература

1. *Мохов А.В., Парада С.Г.* Геоэкологическая ситуация в горнопромышленных районах Восточного Донбасса и тенденции ее изменения // Перспективные технологии добычи и использования углей Донбасса. – Новочеркасск: ЮРГТУ(НПИ), 2009. – С. 7-14.
2. Опыт и перспективы реструктуризации и развития угольной промышленности стран Евросоюза и СНГ: монография / А.Е. Воробьев, А.Ю. Прокопов, Г.В. Лоцев и др. – Новочеркасск: Лик, 2011. – 396 с.
3. Правила охраны сооружений и природных объектов от вредного влияния подземных разработок на угольных месторождениях. – СПб: Минтопэнерго, ВНИМИ, 1998. – 291 с.
4. *Проконова М.В., Лукьянова Г.В.* О возможных изменениях свойств грунтов при увеличении уровня подземных вод // «Строительство-2011»: Мат. междунар. науч.-практ. конф. – Ростов н/Д: Рост. гос. строит. ун-т, 2011. – С. 144-145.
5. *Проконова М.В., Романова М.И.* О необходимости инженерно-геологического районирования г. Шахты// Перспективы развития Восточного Донбасса: сб. науч. тр. Ч. 1 / Шахтинский ин-т (филиал) ЮРГТУ(НПИ). – Новочеркасск: ЮРГТУ, 2009. – С. 281-286.
6. *Тетерин А.В.* Параметры сдвижения земной поверхности при многократной подработке: Монография. – Новочеркасск: ЮРГТУ(НПИ), 2007. – 115 с.
7. Угольная промышленность Дона / Под ред. В.М. Феоктистова, И.С. Гарбера, А.А. Малышева. – М.: Изд-во МГГУ, 1995. – 248 с.

### ЭКОЛОГО-ГЕОХИМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА УРБАНИЗИРОВАННОЙ СРЕДЫ НА ОСНОВЕ ИССЛЕДОВАНИЯ СОВРЕМЕННЫХ АНТРОПОГЕННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ

**А.А. Селезнев, И.В. Ярмошенко**

ФГБУН Институт промышленной экологии Уральского отделения  
Российской академии наук (ИПЭ УрО РАН), 620990, г. Екатеринбург, ул. С.Ковалевской, 20.  
E-mail: seleznev@ecko.uran.ru

В пределах города происходит максимальное преобразование компонентов окружающей среды. Геохимическую обстановку на урбанизированных территориях формируют современные долгосрочные процессы миграции и накопления загрязнения. В результате современных природно-антропогенных геологических процессов, эрозии почв и грунтов, инженерно-хозяйственной деятельности, постоянного перераспределения и аккумуляции осадочного материала в локальных депо концентрирования формируются геологические современные антропогенные отложения. В городе отложения играют роль депо концентрирования поверхностных миграционных потоков

поллютантов и геоиндикатора, отражают экологическую и геохимическую обстановку и ее изменение.

Изучению антропогенных отложений, грунтовых образований и культурных слоев на урбанизированных территориях посвящены работы Котлова Ф.В., Здобина Д.Ю., Несмеянова С.А., Каздыма А.А., Шешнева А.С., Пашкина Е.М., Глазовской М.А., Огородниковой Е.Н. и др. Однако отложения являются относительно малоизученным компонентом на урбанизированных территориях.

Современные антропогенные отложения являются перспективным дополнительным компонентом опробования при проведении эколого-геохимических исследований. На городских территориях в качестве объекта исследования используются следующие типы отложений: донные отложения водоемов, пыль с дорог, отложения из водосточной сети, различные грунтовые и почвенные образования.

В настоящее время существует необходимость получения более полной информации о перераспределении поллютантов при комплексной оценке экологической и геохимической обстановки на урбанизированных территориях. Актуальным является поиск новых методов геоэкологической оценки и индикаторов мониторинга загрязнения урбанизированных территорий.

Целью работы была комплексная эколого-геохимическая оценка урбанизированной территории на основе исследования специфической поверхностной грунтовой фации современных антропогенных отложений – отложений в локальных понижениях микрорельефа на селитебных территориях (иначе говоря, осадка или грязи из луж). Исследование проведено на территории г. Екатеринбурга.

Фация формируется в понижениях микрорельефа из-за недостаточного внимания к планировке, техногенных процессов, нарушения стока атмосферных осадков, и является самой верхней частью суммарного «культурного слоя» территорий города. Осадочный материал представлен твердыми частицами почвы, песка, торфа, пыли различного происхождения. Поллютанты вовлекаются в процессы миграции и накопления осадка.

На территории г. Екатеринбурга в жилых районах с многоэтажной жилой застройкой проводилось опробование отложений из локальных понижений микрорельефа. Было обследовано 249 площадок.

Отложения отбирались из верхнего 5-см горизонта. Масса отобранной пробы составляла 1,0-1,5 кг. Методом масс-спектрометрии с ионизацией в индуктивно связанной аргонной плазме на масс-спектрометре ELAN 9000 в образцах определялись концентрации металлов (Al, Fe, Co, Mn, Ni, Cu, Zn и Pb). Удельная активность радионуклида Cs-137 определялась на стационарном гамма-радиометре РКГ–АТ1320 с детектором  $\gamma$ -излучения на основе кристалла NaI(Tl). Определение кислотности образцов проводилось ионометрическим методом.

В г. Екатеринбурге возраст грунтов и городского ландшафта может быть определен по содержанию в исследованных отложениях Cs-137.

Анализ связи между содержанием металлов и Cs-137 в отложениях позволил определить комплекс тяжелых металлов-поллютантов и оценить уровни их поступления в различные периоды времени [1, 2]. В г. Екатеринбурге основными загрязнителями (из исследованных) являются Pb, Zn и Cu. Их поступление в окружающую среду за последние десятилетия привело к увеличению содержания Pb, Cu и Zn в отложениях в 2,5, 1,5 и 3 раза в среднем соответственно. По результатам анализа связи металлов и Cs-137 выявлены различные тенденции в изменении скоростей поступления Zn, Pb и Cu. Наблюдается корреляция скоростей поступления Zn, Pb и Cu с данными о содержании металлов в атмосфере.

В отложениях в г.Екатеринбурга обнаружены две ассоциации металлов: типоморфную составляют Al, Mn, Fe и Co, техногенную – Pb, Zn, Cu и Cs-137 [3, 4]. Причинами пространственной неоднородности загрязнения отложений в районах могут быть: разный возраст грунтов на селитебных территориях, близость к основным стационарным источникам загрязнения, промышленным предприятиям, крупным автодорогам, наложение выбросов стационарных источников, локальные низкорасположенные и нестационарные источники загрязнения, учет которых особенно труден. Районы города характеризуются умеренной степенью загрязнения отложений в локальных понижениях микрорельефа.

Щелочно-кислотные свойства отложений обусловлены литогенным субстратом на территориях города. Перенос металлов в отложения происходит в нерастворимой форме в слабощелочной среде. В нерастворимой форме в отложения попадают: Ni, Co, Mn, Fe и Al. Значимо высокие концентрации Cu, Zn, Pb и Cs-137 в слабокислой среде могут свидетельствовать о существовании переноса этих металлов в растворимой форме, но доля его незначительна.

Предложенный подход на основе исследования современных антропогенных отложений способствует усовершенствованию методов оценки экологической и геохимической обстановки урбанизированных территорий крупных мегаполисов. Предложенный подход является экспрессным, малозатратным и более эффективным по сравнению с литогеохимической и снеговой съемками, исследованием загрязнения атмосферных выпадений.

*Работа выполнена при финансовой поддержке ИПЭ УрО РАН (проект 15-ИПЭ-02) и РФФИ (грант № 16-35-60044).*

#### Литература

1. Селезнев А.А. Оценка возраста загрязнения грунтов на урбанизированных территориях с использованием датирования по содержанию цезия-137 / А.А. Селезнев, И.В. Ярмошенко, А.Н. Медведев // Геоэкология. Инженерная геология. Гидрогеология. Геокиология. – 2014. – № 4. – С. 329–336.
2. Seleznev A.A. Accumulation of <sup>137</sup>Cs in puddle sediments within urban ecosystem / A.A. Seleznev, I.V. Yarmoshenko, A.A. Ekinin // Journal of Environmental Radioactivity. 2010. – 101 (8). – P. 643–646.

3. *Seleznev A.A.* Study of urban puddle sediments for understanding heavy metal pollution in an urban environment / A. A. Seleznev, I. V. Yarmoshenko // *Environmental Technology & Innovation*. 2014. – 1–2. – P. 1–7.

4. *Seleznev A.A.*  $^{137}\text{Cs}$  in puddle sediments as timescale tracer in urban environment / I.V. Yarmoshenko, A.P. Sergeev. // *Journal of Environmental Radioactivity*. 2015. – 142. – P. 9-13.

## ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКИЕ МЕРОПРИЯТИЯ ПО РАЗМЕЩЕНИЮ И УТИЛИЗАЦИИ ОТХОДОВ ГЛИНОЗЕМНОГО ПРОИЗВОДСТВА

**И.И. Шепелев<sup>1</sup>, Н.В. Головных<sup>2</sup>, А.Ю. Сахачев<sup>3</sup>,  
Н.Н. Бочков<sup>1</sup>, И.С. Стыглиц<sup>4</sup>**

<sup>1</sup> НИО «ЭКО-Инжиниринг», 662150, Красноярский край, г. Ачинск, Южная Промзона, квартал XII, стр. 1. E-mail: [ekoing@mail.ru](mailto:ekoing@mail.ru)

<sup>2</sup> Институт геохимии Сибирского отделения РАН, 664033, г. Иркутск ул. Фаворского, 1а. E-mail : [Golovnykh@igc.irk.ru](mailto:Golovnykh@igc.irk.ru)

<sup>3</sup> ОАО «РУСАЛ Ачинск», 662150, Красноярский край, г. Ачинск, Южная Промзона, квартал XII, стр. 1. E-mail : [Sakhachev\\_Aleks@mail.ru](mailto:Sakhachev_Aleks@mail.ru)

<sup>4</sup> ФГУЗ Центр гигиены и эпидемиологии, г. Ачинск

Главным объектом геоэкологических изысканий послужила территория, прилегающая к площадке Ачинского глиноземного комбината – АГК (ОАО «РУСАЛ Ачинск»), где находится шламохранилище в виде действующих карт №1 и №2, а также строящейся карты №3 (бывшего пруда для осветления отработанных вод ТЭЦ). Шламохранилище расположено на правом берегу р.Чулым, крупной водной артерии Ачинского района Красноярского края. Территория находится в пределах речной поймы (отметки 190-193 м), представляя заболоченную равнину, разрезаемую руслом реки, старицами, протоками и озерами. Обследуемый участок поймы достигает 4 км в ширину и ограничивается с юга расположенными на уступе надпойменной террасы цехами комбината (отметки 194-198 м).

Общая площадь шламохранилища составляет 451 га, высота его максимального возвышения над основанием гидротехнических сооружений достигает 70 м. Площадь техногенного воздействия оценивается до 20 км<sup>2</sup>. На территории шламохранилища действует режимная сеть мониторинга из 18 наблюдательных скважин, размещенных с учетом геоморфологического положения карт и скорости потока подземных вод. Глубина скважин 5-12 м.

Согласно гидрогеологическим исследованиям существует определенная связь подземных и поверхностных вод данной пойменной системы, которая обнаруживает локальность в зонах разрыва и выклинивания водоупорных пород, о чем свидетельствует наличие в водоносном горизонте (мощность до 10-12 м) характерных для горных пород региона металлов (Al и Mn).

Картирование показало, что поток подземных вод устремлен в северном и северо-восточном направлениях к области разгрузки – руслу реки Чулым. Подземный горизонт отличается водообильностью, дебит скважин 6-7 л/сек. Коэффициенты фильтрации изменяются от 1,7 м/сутки для мелкозернистых песков до 25-100 м/сутки для гравийно-галечниковых грунтов.

В аллювиальном (поверхностном) горизонте, который в основном состоит из песчано-гравийных грунтов, глубина залегания уровня воды, зависящая от уровня речной сети, составляет от 3 м летом до 1 м в паводковый период.

Установлено, что поток природных вод, притекающих к шламохранилищу с юга, деформируется под влиянием техногенного субстрата, поступающего в природный горизонт из гидротехнического сооружения. Основные фильтрационные утечки техногенных вод в аллювиальный горизонт происходят из карты №1. Гидродинамическое воздействие распространяется в радиусе до 200 м от искусственной границы шламохранилища – дамбы.

Анализ химического состава внутренних грунтов шламохранилища позволили сделать вывод, что по мере фильтрации техногенных вод (табл. 1) вниз через слой отложений щелочная реакция во внутренних слоях снижается с 11,5-10,5 до 8,2 рН, также наблюдается изменение минерализации поровых вод, а ионы  $\text{Ca}^{2+}$  и  $\text{Al}^{3+}$  выпадают в трудно растворимые соли.

Таблица 1

**Химический состав техногенной (шламовой) воды**

| Наименование компонента                           | Единицы измерения | Среднее содержание | Наименование компонента                 | Единицы измерения | Среднее содержание |
|---|-------------------|--------------------|---|-------------------|--------------------|
| Водородный показатель рН                          | рН                | 12.0               | Алюминаты (по $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) | мг/л              | 2120               |
| Сухой остаток при $t=105^\circ\text{C}$           | мг/л              | 23896              | Хлориды                                 | мг/л              | 590                |
| Окисляемость по $\text{O}_2$                      | мг/л              | 1072               | Сульфаты                                | мг/л              | 40                 |
| Жесткость общая                                   | мг-экв/л          | 15                 | Нитриты и нитраты                       | мг/л              | 0                  |
| Каустик (по $\text{Na}_2\text{O}_{\text{KV}}$ )   | мг/л              | 3280               | Азот аммонийный                         | мг/л              | 0,7                |
| Карбонаты (по $\text{Na}_2\text{O}_{\text{KB}}$ ) | мг/л              | 6360               | Железо общее                            | мг/л              | 0,1                |

Химический состав подземных и поверхностных вод с левой стороны шламохранилища (в районе карты №2) фиксируется как гидрокарбонатный кальциево-магниевый с минерализацией 0,6-0,9 г/л (сухой остаток от 581 до 881 мг/л). Значения рН составляют в подземных водах от 6,83 до 7,05, в поверхностных водах – рН=8,1-8,7. В пределах 150-200 м от шламохранилища

природные воды подвержены химическому воздействию, в основном, щелочной, карбонатной и сульфатной среды. В 100-150 м от карты №1 (правая сторона шламохранилища) состав воды меняется на сульфатно-карбонатно-гидрокарбонатный с минерализацией 0,5-0,7 г/л. Вне зоны техногенного воздействия уровень минерализации опускается до 0,2 г/л, остальные показатели уменьшаются до фоновых значений.

Вследствие разбавления инфильтрационных вод естественными грунтовыми водами, концентрации загрязняющих элементов в ареале распространения природно-техногенных вод постепенно снижаются, а при их разгрузке в русло реки незначительно превышают природный фон.

В последние годы наблюдается тенденция к снижению концентрации загрязняющих элементов, вызванная эффектом кольматации, фильтрация в аллювиальный горизонт происходит на минимальном уровне. Стабилизация минимального воздействия частично обеспечивается за счет сдерживающего действия карты №2, оборудованной гидроизоляционным экраном.

Водоупорность грунтов, изученная опытно-фильтрационным методом на площадке карты №2, не достаточна для обеспечения природно-защитных свойств гидротехнического сооружения. Водоупорный горизонт с величиной напора +2,05 м имеет слабую водообильность с коэффициентом фильтрации 0,0011-0,0053 м/сутки (по ГОСТ 25100-95). Вместе с тем, он не достаточно эффективен в радиусе действия, поскольку отличается неоднородностью пород, включая: суглинок твердый – полутвердый, суглинок тугопластичный и мягкопластичный (от водонепроницаемого до слабоводопроницаемого); алевролит выветрелый до суглинка (слабоводопроницаемый); песчаник выветрелый до суглинка (слабоводопроницаемый).

Отсюда следует, что в связи с недостаточностью действующих естественных природно-защитных факторов, должны быть предусмотрены дополнительные инженерно-технические мероприятия.

Комплекс мер по снижению негативного воздействия на подземные и поверхностные воды в районе размещения всех трех карт шламохранилища включает: 1) предварительное экранирование полиэтиленовой пленкой ложа карты, подготавливаемой к промышленной эксплуатации, которое предотвращает фильтрацию шламовых вод в подземный горизонт (экран изготавливается путем последовательной укладки и утрамбовки нижнего и верхнего слоев шлама, разделенных полимерным материалом толщиной 1-2 мм, что позволяет предупреждать повреждение пленки); 2) обустройство экрана на внутреннем откосе ограждающей дамбы, оборудованной защитным слоем из тонкодисперсного шлама, что исключает утечки шламовой воды по границе ложа, а также под пионерной дамбой на высоту до 2 м, позволяющей удерживать защитный слой воды над экраном в период строительства; 3) разработку и совершенствование системы водоотведения осветленной воды из шламовых карт в обратную систему водоснабжения предприятия, что дает возможность рационально использовать водные ресурсы; 4) обустройство сети наблюдательных скважин приборами мониторинга.



Для улучшения состояния контролируемого комбинатом участка поймы могут быть проработаны методы мелиорации, в непосредственной близости к гидротехническим сооружениям и дренажным каналам – методы рекультивации, с применением кольматантов, санацию почв.

Другим важным геоэкологическим направлением инженерно-технических изысканий остается проблема утилизации отработанных материалов, размещенных на картах №1 и №2, включая отходы глиноземного производства и золошлаковые отходы (ЗШО) ТЭЦ. Наибольшими объемами отличается нефелиновый (белитовый) шлам, накапливаемый на шламовом поле вследствие сокращения его переработки в сопутствующем цементном производстве. Минеральная структура шлама на 75-85% представлена двухкальциевым силикатом  $\text{Ca}_2\text{SiO}_4$ , обладающего вяжущими свойствами, поэтому его дальнейшее складирование приводит к образованию песков с различной степени уплотнения и сцепления частиц – цементации.

Известны полезные процессы, идущие при поступлении пульпы ЗШО в карту шламохранилища, при которых гидроксид кальция реагирует с карбонатом натрия с образованием зародышей  $\text{CaCO}_3$ . В ходе осаждения кальцита происходит захват взвешенных частиц, и вода очищается до прозрачности, при этом возрастают концентрации ионов Ca и Na, в результате взаимодействия с углекислотой появляются гидрокарбонаты при снижении общей минерализации водно-минеральных ресурсов, которые следует максимально использовать в производственных системах оборотно-технологического водоснабжения, а также при утилизации шлама.

Таблица 2

**Химический и фазовый состав твердых отходов ОАО «РУСАЛ Ачинск»**

| Компонент                      | Нефелиновый шлам  | Золошлаковые отходы                                 | Гипсоангидритовые отходы   |
|--------------------------------|---|---|--|
|                                | Содержание, % масс.   |   |  |
| SiO <sub>2</sub>               | 29,96   | 34,27   | 0,55   |
| CaO                            | 54,86   | 25,61   | 38,1   |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 3,4   | 8,51  | 0,2  |
| Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 3,83  | 12,62   | 0,25   |
| MgO                            | 1,4   | 5,68  | 0,1  |
| Na <sub>2</sub> O              | 1,4   | 0,42  | 0,1  |
| K <sub>2</sub> O               | 0,4   | 0,41  | 0,13   |
| SO <sub>3</sub>                | 0,18  | 11,13   | 51,3   |
| Прочие                         | 0,78  | 1,04  | 1,0  |
| Фазы и соединения              | Ca <sub>2</sub> SiO <sub>4</sub> , силикаты Na, Al, Ca, Mg, гидроксиды Fe | Оксиды и силикаты Al, Ca, Fe, Mg, CaSO <sub>4</sub> | CaSO <sub>4</sub> × 2H <sub>2</sub> O CaSO <sub>4</sub> CaSO <sub>4</sub> × 0,5H <sub>2</sub> O CaF <sub>2</sub> (Na <sub>2</sub> O × K <sub>2</sub> O) × Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> |
| Объемы                         | 6500-6800 тыс. т/год  | 235-260 тыс. т/год                                  | 120 тыс. т (накоплено)   |

Ценной технологической добавкой при утилизации отработанных материалов комбината могут служить гипсоангидритовые отходы (ГАО), представленные на 93–95% масс. смесью гипса, ангидрита и полуводного сульфата кальция. Примесью служит нетоксичный фторид кальция (<3% масс.). Общие запасы вторичного сырья, хранившиеся на картах шламохранилища ОАО «РУСАЛ Ачинск», в настоящее время превышают 150 млн.т. Химический и фазовый состав рассмотренных отходов представлен в табл. 2.

В качестве одного из эффективных способов вторичного использования сульфатсодержащих отходов нами предложено вовлекать их в процесс шихтоподготовки и направлять в печи спекания [2, 3]. Технологический анализ показал, что ГАО можно вводить в виде добавки в глиноземную шихту, как известняково-содержащий заменитель. Необходимость его ввода в шихту обусловлена также периодическим недостатком оксида серы (VI) в растворах содового производства. Промышленные испытания показали, что оптимальное количество добавки ГАО в шихте должно составлять 0,15-0,41% масс., что обеспечивает увеличение выпуска сульфата калия от 5000 до 13400 т/год и снижение расхода известняка, не менее, чем на 13000 т/год.

Опыт, накопленный Ачинским глиноземным комбинатом, может быть успешно освоен другими предприятиями отрасли, имеющими запасы техногенного гипсосодержащего сырья [1]. Альтернативным направлением вторичного использования отходов АГК может стать дорожное строительство, которое на территории Красноярского края и соседних с ним регионов имеет хорошую перспективу своего дальнейшего развития [4]. Для приготовления дорожного покрытия в качестве его основания использовали щебеночную фракцию 0-40 мм, которую обрабатывали композитным вяжущим – нефелиновым шламом с добавлением ГАО. Как показали проведенные исследования, при использовании в качестве активатора вяжущих компонентов измельченных ГАО в количестве от 5 до 10% масс. прочность образцов на сжатие по сравнению с использованием одного нефелинового шлама возрастает в 1,8-2,2 раза. Было также отмечено, что максимальный предел прочности образцов, изготовленных из данной смеси достаточный для выполнения дорожных работ, набирается уже к 14 суткам срока твердения. Как показали контрольные испытания, дополнительный ввод ГАО в состав композитного вяжущего при строительстве дорожных одежд обеспечивает ускорение твердения дорожной смеси, уменьшение водопроницаемости и повышения срока службы дорожного покрытия.

В связи с тем, что в районах Западной группы Красноярского края присутствуют кислые почвы, актуальным может стать также применение нефелинового шлама в качестве химического мелиоранта для их нейтрализации, при этом продуктивность зерновых культур повышается [4].

Таким образом, геоэкологические проблемы размещения и утилизации отходов глиноземного производства могут эффективно решаться на основе интегрированного регионального проекта, включая проведение защитных гидротехнических мероприятий по защите местных акваторий, а также, обеспечивая использование накопленных отходов в качестве вторичных сырьевых

ресурсов и для направленного изменения химико-технологических процессов.

#### Литература

1. *Гашкова В.И., Воротников А.В., Шафрай В.В., Тимохин В.Е., Савиных М.В.* ОАО «Полевской криолитовый завод»: Комплексная переработка флюоритового концентрата. – Екатеринбург, УрО РАН, 2002. – 256 с.

2. *Головных Н.В.* Термохимический способ комплексной утилизации гипсоангидридных полупродуктов в производстве глинозема и попутной продукции / Н.В. Головных, В.А. Бычинский, И.И. Шепелев // Известия вузов. Химия и химическая технология. – 2011. – Т. 54. – Вып. 10. – С. 88-94.

3. Патент РФ № 2225357. Способ переработки нефелиновых руд / И.У. Ахметов, А.Г. Пихтовников, И.И. Шепелев и др. – зарегистрировано 10.03.2004 г., опубликовано в бюллетени изобретений № 7.

4. *Шепелев И.И.* Пути решения проблем вторичного использования отходов Ачинского глиноземного комбината / И.И. Шепелев, Р.Я. Дашкевич, В.А. Матвиенко, В.А. Кожевников // Сборник научных статей V Международного. Конгресса «Цветные металлы-2013» (под. ред. проф. П.В. Полякова). – Красноярск: Изд-во «Версо», 2013. – С. 395-402.

### **РИСК ПРОЯВЛЕНИЯ ОПАСНЫХ ПРОЦЕССОВ И ОЦЕНКА СОЦИАЛЬНО-ЭКОЛОГИЧЕСКИХ УЩЕРБОВ В ПРЕДЕЛАХ ЗАСТРОЕННЫХ ТЕРРИТОРИЙ (НА ПРИМЕРЕ КАЛУЖСКОЙ ОБЛАСТИ)**

**Н.Л. Шешеня**

АО «Производственный и научно-исследовательский институт по инженерным изысканиям в строительстве», 105187, г. Москва, Окружной пр-д, 18.

E-mail: sheshenya@mail.ru

Геологический риск – это вероятность проявления и активизации природных и природно-техногенных геологических процессов в определенном месте и в определенное время, которые вызывают ущербные изменения хозяйственных объектов и зон их влияния. Критерием его оценки является устойчивость компонентов природно-техногенной среды (рельефа, пород, процессов, геофизических полей, гидросферы) к техногенным нагрузкам. Эта оценка осуществляется на основе анализа геологического строения, гидрогеологических, гидрологических, геоморфологических, метеорологических и структурно-тектонических условий проявления экзогенных геологических процессов с учетом их площадного распространения и типа техногенных нагрузок.

Экономический ущерб – это денежное выражение отрицательных последствий проявления опасных процессов, которые вызвали разрушение и

вывод из эксплуатации промышленных, социально-бытовых, сельскохозяйственных объектов и подземных коммуникаций.

Социально-экологический риск – это вероятность разрушений различных хозяйственных объектов и поражения определенных групп людей, находящихся в зоне влияния этих объектов в момент развития и проявления опасных метеорологических, геологических, гидрогеологических, гидрологических процессов и явлений. Другими словами, это количественная мера опасности формирования и проявления ущербных изменений в природно-техногенной среде и ухудшения здоровья людей.

Социально-экологический риск состоит из двух составляющих рисков – социального и экологического. Социальный риск, при наличии опасных природных и техногенных процессов, обозначает вероятность летальных или иных нежелательных исходов среди населения, то есть, когда возникают социальные ущербы. Социальный ущерб – это гибель людей, психические травмы, нанесение тяжелых увечий людям и другие неудобства, вызванные проявлениями опасных природных и техногенных процессов.

В пределах Калужской области ежегодные прямые материальные потери от проявлений метеорологических явлений и геологических процессов в период 1999-2006 г.г. составили (млн.руб.): 22,234; 87,763; 215,905; 605,09; 90,731; 25,132; 30,289; 29,456. По результатам многолетних инженерных изысканий и данным Госдоклада Главного Управления по делам ГОЧС Калужской области [1] установлены следующие закономерности проявления опасных метеорологических явлений и их пороговых величин.

1. Пороговое значение обильных осадков, выпавших за короткое время и размывающих дороги и откосы выемок, составляет для города и области 20 мм за 12 часов.

2. Для г.Калуги характерны одновременно проявляющиеся аномальные сильные ветры и ливневые водообильные дожди. Типичными примерами могут служить: 27 октября 2003 г. из-за ветра, отдельные порывы которого достигали 20 м/с, и обильных дождей в зоне чрезвычайной ситуации оказалось 1512 человек, из них 375 детей; 2 мая 2003 г. в результате сильного ветра произошел обрыв линий электропередачи на объектах ОАО «Калугаэнерго». Это привело к нарушению электроснабжения в 55 населенных пунктах 12 районов области и в пригороде г.Калуги; за 2004 г. от сильных дождей, снегопадов и града пострадало 36 человек, которые были на больничном 216 человеко-дней.

3. Площадь зоны вероятного проявления этих чрезвычайных ситуаций (ЧС) от рассмотренных метеорологических явлений и процессов составляет 29,9 тыс. км<sup>2</sup>; численность населения, проживающих в зоне проявления ЧС, равна 1058,9 тыс. человек, имея среднемноголетнюю частоту – 0,27 единиц/год.

4. К опасным для состояния здоровья населения и их энергетики метеорологическим явлениям относятся: ветры со скоростью  $\geq 30$  м/с; образование гололеда толщиной  $\geq 20$ мм, мокрого снега и снежного отложения льда  $\geq 35$ мм;

дожди  $\geq 50$  мм за 12 часов и менее (ливневые –  $\geq 30$  мм за 1 час); резкие изменения температуры (на  $\geq 5^\circ\text{C}$ ); продолжительные морозы ( $-30^\circ\text{C}$  и ниже).

Загрязнение поверхностных и подземных вод, используемых для водоснабжения в г.Калуге, явилось причиной увеличения в 2005 г. заболеваемости населения по кишечным инфекциям на 47,8% (401,4 человека на 100 тысяч); в Юхновском районе области зарегистрировано 95 случаев (676,1 человек на 100 тыс. населения).

Радиационная опасность Калужской области и г.Калуги определяется наличием на ее территории таких объектов: а) двух организаций, имеющих в эксплуатации исследовательские реакторы; б) 8 неспециализированных пунктов хранения радиоактивных отходов, а также радиоактивных веществ и изделий на их основе; в) 23 организаций, имеющих 60 производственных объектов, использующих источники ионизирующего излучения.

К потенциально опасным объектам относятся гамма облучающие установки в ОАО «Кондровская бумажная компания» (активность  $3,24\text{E}+16\text{Бк}$ , изотоп  $\text{Co-60}$ ) и в Медицинском радиологическом научном центре Российской академии медицинских наук (активность  $9,02\text{E}+14\text{Бк}$ , изотоп  $\text{Co-60}$ ).

Радиационные риски для населения Калужской области в ходе деятельности указанных организаций, использующих источники ионизирующего излучения, составляют: а) индивидуальные риски для персонала – 0,00006 случаев в год, а для населения – 0,0000015 случаев в год; б) коллективный риск для персонала – 0,3650 случаев в год и для населения – 0,170 случаев в год.

Риск возникновения чрезвычайных ситуаций на взрывопожароопасных объектах (по газонаполнительной станции ОАО «Калугаоблгаз») составляет при взрыве газового облака на открытом участке  $1 \times 10^{-6}$ , в помещении –  $4,6 \times 10^{-5}$ , а при взрыве «огненного шара» –  $1 \times 10^{-6}$  [1].

В период с 70-х годов XX века в нарушение требований строительных норм и правил (СНиП 2.05.06-85 «Магистральные газопроводы» – МГ), регламентирующих минимальные расстояния от МГ до городов, населенных пунктов, коллективных садов и других объектов, величина этих расстояний с 1963 г. остается неизменной. Она зависит только от диаметра МГ и вида объекта. На расстоянии меньше минимально допустимых величин размещены жилые дома, коллективные сады, гаражные кооперативы и другие объекты (с пребыванием людей) в Дзержинском, Людиновском, Бабынинском, Ферзиковском и Думиничском районах, в пригороде г.Калуги. Подобное игнорирование нормативных документов вызывает весьма напряженную социально-экологическую обстановку.

На указанных участках происходит ускоренное повышение влажности грунтов оснований зданий и воздуха в зданиях, подтопление застроенных территорий, их заболачивание. Следствием данных процессов часто являются не только деформации несущих конструкций зданий, но и снижение «качества» жизни населения. Поскольку повышение влажности комнатного воздуха, грибкового загрязнения, плесени служит благоприятной средой для увеличе-

ния популяций кровососущих комаров. Это провоцирует [1] обострение у проживающих в указанных домах людей нефрита, полиневрита, ангины, ревматизма, пневмонии, катара верхних дыхательных путей, гриппа и других заболеваний. Повышается риск аллергенных, желудочно-кишечных, сердечно-сосудистых заболеваний. Популяции комаров являются переносчиками вирусного энцефалита, филяриоза. Согласно данным Государственного доклада Главного управления по делам ГОЧС [1], прямые материальные ущербы от проявлений данных заболеваний по Калужской области в 1999-2003 г.г. соответственно составили (млн.руб.): 9,6; 4,049; 83,6; 0,231. За 9 месяцев 2003 года зарегистрированы следующие инфекционные заболевания:

- вирусный гепатит «В» – 100 случаев или 9,4 на 100 тысяч населения;
- дифтерия – 6 случаев или 0,57 на 100 тысяч населения, из них 2 случая с летальным исходом;
- коклюш – 8 случаев или 0,86 на 100 тысяч населения;
- эпидемический паротит – 28 случаев или 2,6 на 100 тысяч населения;
- краснуха – 662 случая или 62,5 на 100 тысяч населения.

Результатами многолетних инженерно-геологических изысканий в пределах г.Калуги установлено, что грунтовые и подземные воды характеризуются пространственно-временной неоднородностью и изменчивостью содержания в них сульфатных, хлористых и железистых соединений. Эта неоднородность состава вод должна быть учтена при устройстве дренажных сооружений, так как в однослойных дренажах через 5-10 дней после ввода их в эксплуатацию вокруг них образуются зоны кольматации не столько за счет выноса мелких и пылеватых частиц, а за счет формирования геля при выпадении в осадок железистых или сульфатных соединений. Зоны кольматации способствуют образованию в массивах грунтов «водяных мешков» с эпизодическими прорывами грязевых потоков на склонах, бортах оврагов и откосах строительных выемок крутизной  $\geq 2^0$  даже при движении тяжелых автомашин. Геологический риск проявления этих прорывов составляет 1,0.

Загрязняющие вещества промышленных предприятий города поступают в водоносные горизонты в виде таких комплексных соединений: до 96% аммонийного азота, 3-30% натрия, 7-45% кальция, 7-56% магния, 99% трехвалентного железа, 30-40% двухвалентного железа, 10-80% марганца, 45-99% свинца, 40-99% меди, 30-99% цинка, 15-50% сульфатной серы, 2-60% фтора, 50-99% ртути, 50-99% фенолов.

Особую опасность для загрязнения поверхностных и подземных вод представляют фильтраты биохимического разложения не санкционированных свалок твердых бытовых отходов. Вокруг данных свалок формируются зоны чрезвычайной экологической ситуации и экологического бедствия.

Указанная выше особенность состава грунтовых вод представляет угрозу здоровью населения. При строительном освоении названных территорий следует предусмотреть мероприятия по недопущению использования таких вод для целей водоснабжения.

В пределах аллювиальных и эрозионных склонов долины р.Оки и ее притоков прогнозируется техногенная активизация развития суффозионных

и карстово-суффозионных процессов с выносом мелких и пылеватых фракций водно-ледниковых и элювиальных образований в откосы строительных выемок, а также в зоны вероятных карстово-суффозионных полостей. Активизация карстово-суффозионных процессов в ниже-каменноугольных известняках возможна также за счет техногенного изменения химического состава подземных трещинно-карстовых вод и их температуры. Геологический риск опасных проявлений этих процессов составляет 0,15. Их поверхностные формы имеют диаметр до 150 м при глубине около 5,0 м. Встречены также карстово-суффозионные провалы и воронки, диаметром порядка 5,0-22 м при глубине 0,1-1,5 м, иногда заполненных водой. Карстово-суффозионные воронки встречаются также в пределах пойменных террас.

Оползневые смещения грунтов отмечены и прогнозируются с эрозионных склонов долины р.Оки и ее левобережных притоков (реки Яченка, Терепец, Калужка, Киевка), бортов крупных оврагов. Их усредненные и наиболее типичные параметры составляют: глубина захвата грунтов в смещение – 4,5÷7,5 м, ширина по склону – 110÷250 м., площадь – 7700÷5800 м<sup>2</sup>, объем одновременных смещений – 46200÷375000 м<sup>3</sup>. Эрозионные склоны левобережных притоков р.Оки практически повсеместно являются оползнеопасными, имея коэффициент оползневой пораженности около 70%. Геологический риск опасных проявлений оползней из этих частей склонов составляет 0,95.

Для предотвращения или сведения к минимуму ущербов от проявления опасных явлений и процессов в пределах застроенных территорий, квазиоднородных по инженерно-геологическим условиям их хозяйственного освоения, предусмотрены строго индивидуальные мероприятия инженерной защиты, опережающие их освоение. Мера квазиоднородности территорий подтверждается с помощью математических моделей дисперсионного анализа (рандомизированных или со случайным эффектом). При определении видов и эффективности мероприятий инженерной защиты особое значение имеют комплексный учет показателей геологического, социально-экологического и экономического рисков и ущербов от их реализации.

Риски сочетают в себе вероятность неблагоприятных событий и объем этих событий (потери, ущербы, убытки). Они отражает меру опасности ситуаций, в которых имеются потенциальные факторы, способные неблагоприятно воздействовать на природу, человека, общество. Риски вне объектов и вне человека не существуют.

При управлении риском надлежит руководствоваться правилом: «управляющие решения сегодня должны учитывать возможные неблагоприятные ситуации (устраняемые и не устраняемые) завтра с учетом возникновения возможных последующих направлений (векторов) их развития».

#### Литература

1. Госдоклад 2004, 1 раздел. Главное Управление по делам ГОЧС Калужской области. 2005 г., 57 с.

## **ВЛИЯНИЕ ГРУНТОВОГО ПОТОКА НА ФОРМИРОВАНИЕ ФАКТОРОВ ОПАСНОСТИ НА ТЕРРИТОРИИ ПРОМПЛОЩАДКИ**

**А.В. Шилова, Т.Г. Ковалева**

Пермский государственный национальный исследовательский университет,  
Россия, 614990, г. Пермь, ул. Букирева, 15.  
E-mail: shilova-av@yandex.ru, kovalevatg@mail.ru

Территория промышленных предприятий претерпевает значительные техногенные преобразования, что влечет за собой ряд негативных последствий, одним из которых является повышение риска возникновения аварий и катастроф в связи с активизацией геологических процессов. С целью оценки опасности их развития очевидна необходимость комплексного изучения состояния геолого-гидрогеологической среды в пределах локализации производства [3].

В данной работе исследовался район в пределах промплощадки, расположенной в г. Березники (Пермский край), как наиболее показательный с точки зрения преобразования геологической среды и проявления факторов опасности. Под факторами опасности понимаются проявления геологических процессов, выраженные в форме различного рода нарушений и деформаций на поверхности земли и в толще пород, а также участки локализации техногенных аварий, связанных с нарушением нормальной работоспособности существующих объектов [1].

В результате значительных техногенных преобразований территории промплощадки грунтовым основанием для фундаментов зданий и сооружений может являться толща четвертичных покровных отложений, которая представлена практически всеми разновидностями – от крупнообломочных окатанных и неокатанных до тонкодисперсных глинистых и органоминеральных грунтов. Развитие несвязных песчаных отложений в основании фундаментов зданий и сооружений является предпосылкой возможного возникновения суффозионного процесса. В результате активизации суффозии образуются провалы на поверхности и полости – в толще грунтового массива [2]. Одним из оптимальных условий для возникновения и развития суффозионных полостей в слоистой толще является возникновение в некотором объеме пород гидродинамического давления, определяемого фильтрационным потоком, которое должно превысить по значению эффективное напряжение внутри массива, обеспечивающее его относительную стабильность. Относительно высокое гидродинамическое давление в фильтрационном потоке возникает в случае чередования слоев с разной проницаемостью – относительно слабопроницаемые отложения оказывают значительное сопротивление движению в них воды, а как результат в фильтрационном потоке возникают гидродинамические силы – гидродинамическое давление.



Именно наличие фильтрационного потока подземных вод в дисперсных отложениях с высокой и неоднородной поровой проницаемостью обуславливает возникновение сдвигающего силового воздействия.

На первых этапах исследований детально изучались грунтовые условия отложений четвертичной покровной толщи. Для этого, в пределах изучаемой территории были собраны и систематизированы данные инженерно-геологических изысканий и исследований за последние 60 лет. В результате систематизации материалов был составлен каталог, включающий более 1100 горных выработок (скважины, шурфы, точки зондирования), 2087 проб грунтов, 178 проб воды. По этим данным был произведен предварительный анализ инженерно-геологического и гидрогеологического строения площадки.

В данной работе осуществлена попытка моделирования грунтового потока в пределах промплощадки. Моделирование подземного грунтового потока осуществлено посредством ESRI ArcGIS 10 (модуль Spatial Analyst) с использованием встроенной процедуры «Darcy Flow». Данная процедура ориентирована на моделирование плоского потока грунтовых вод, напор которых не зависит от глубины положения зеркала. Рассчитываемая модель подземного потока базируется на законе ламинарной фильтрации Дарси.

Исходными параметрами для построения модели подземного потока служат следующие показатели:

- уровень подземных вод, м;
- мощность обводненной грунтовой толщи, м;
- эффективная пористость грунтов, д.е.;
- коэффициент фильтрации грунтов, м/сут.

Значения коэффициентов фильтрации грунтов в основном получены в результате лабораторных исследований, часть фильтрационных параметров взята из результатов откачек и литературных источников основных встречающихся на исследуемой территории разновидностей грунтов. Значения пористости грунтов получены в результате лабораторных исследований.

Согласно закону фильтрации Дарси удельный расход  $q$ , м<sup>3</sup>/сут, (или скорость фильтрации  $V$ , м/сут, при единичной площади сечения) водного потока определяется исходя из условия:

$$q = -K_{\phi} I \quad (1)$$

где  $K_{\phi}$  – коэффициент фильтрации, м/сут.;  $I$  – напорный градиент потока, д.е. (или %).

Закон Дарси также может быть выражен через расход грунтового потока  $U$  единичной ширины:

$$U = -TI \quad (2)$$

где  $T$  – коэффициент проницаемости, сут<sup>-1</sup>, определяемый по формуле:

$$T = K_{\phi} \cdot b \quad (3)$$

где  $b$  – мощность водонасыщенной толщи грунтов, м.

Последняя запись закона Дарси применима только для субгоризонтальных ламинарных потоков, напор которых не зависит от глубины.

Действительная скорость фильтрации  $V$ , м/сут, грунтовых вод определяется с учетом эффективной пористости среды  $n$ :

$$V = \frac{q}{n} = -\frac{K_{\phi} I}{n} = -\frac{TI}{bn} \quad (4)$$

Расчетная модель, заложенная в модуль Spatial Analyst программного комплекса ESRI ArcGIS 10, позволяет осуществлять автоматизированный расчет расходов по вышеприведенным формулам. Результатом такого расчета являются площадные растровые модели, отражающие разницу расходов между соседними ячейками растра, а также градиенты напора и направления потока в каждой точке модели (рис. 1-3).

Таким образом, при совмещении полученных схем распределения грунтового потока на территории предприятия с факторами опасностями видно, что техногенные аварии, промоины и полости, осадка земной поверхности тяготеют к старому руслу реки Зырянки, где фиксируется явный перепад грунтовых вод.

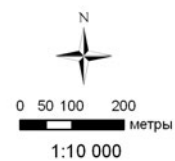
Природные факторы связаны с развитием суффозионного процесса и постепенным ослаблением грунтов в зоне преимущественного гидродинамического влияния Камского водохранилища, а также наложенным второстепенным дренирующим влиянием погребенного русла р. Зырянка.

Процесс фильтрационного разрушения грунтов относится к процессу открытой присклоновой механической суффозии, условия возникновения которой, определяются наличием склонов, любого структурного сложения и наличием разгрузки подземных вод в виде нисходящих источников. Именно наличие фильтрационного потока подземных вод в дисперсных отложениях с высокой и неоднородной поровой проницаемостью обуславливает возникновение сдвигающего силового воздействия. При этом, возникающее полное или частичное фильтрационное разрушение пород является неизбежным следствием действия данного потока.

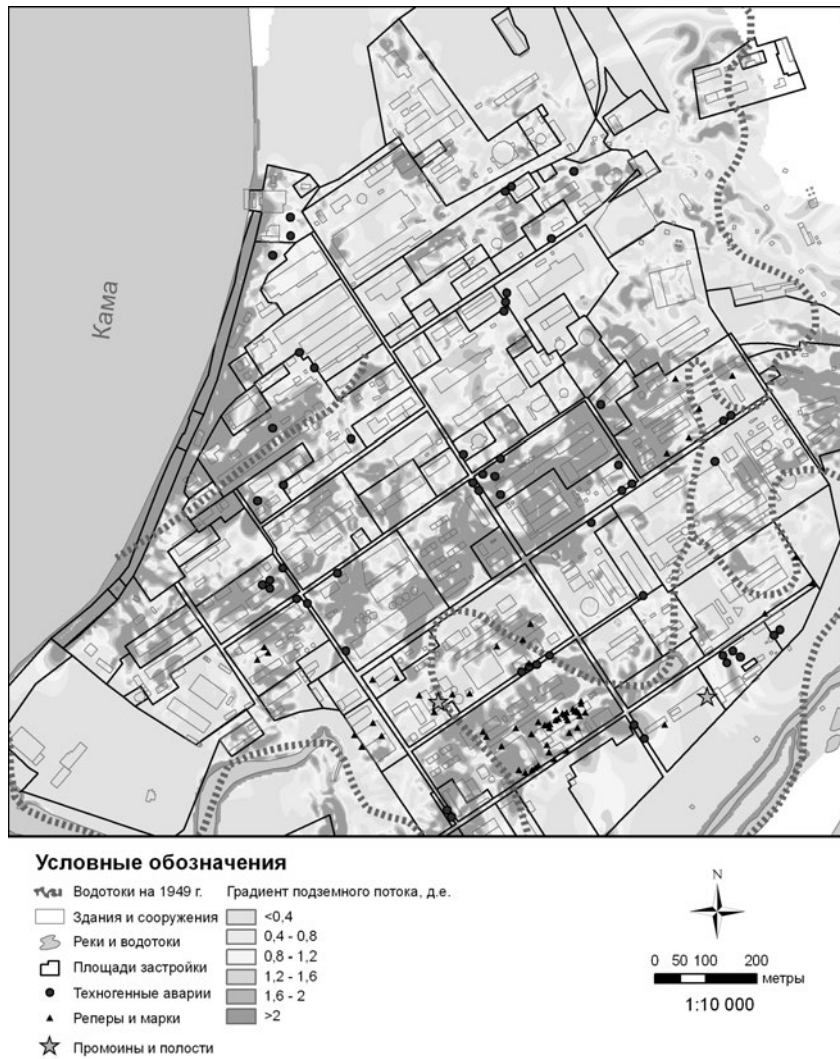


**Условные обозначения**

- |                     |   |
|---------------------|---|
| Водотоки на 1949 г. | Уд. расход грунтового потока (кв. м/сут) подземного потока в дифференциальной форме |
| Здания и сооружения | избыточный расход (менее -20)   |
| Реки и водотоки     | установившийся поток (-20 - 20)   |
| Площади застройки   | аккумуляция массы (более 20)  |
| Техногенные аварии  |   |
| Реперы и марки      |   |
| Промоины и полости  |   |



**Рис. 1. Удельный расход грунтового потока на территории предприятия**



**Рис. 2. Изменчивость градиента подземного потока на территории предприятия**



**Рис. 3. Направление подземного потока на территории предприятия**

## Литература

1. Катаев В.Н., Шилова А.В. Оценка опасности проявления геологических процессов в зависимости от грунтовых условий // Сергеевские чтения Устойчивое развитие: задачи геоэкологии (инженерно-геологические, гидрогеологические и геокриологические аспекты). Молодежная конференция. Выпуск 15. Материалы годичной сессии Научного совета РАН по проблемам геоэкологии, инженерной геологии и гидрогеологии (21-22 марта 2013 г.). – М.: РУДН, 2013. С. 144-148. (495 с.)
2. Щербатов С.В. Прогнозирование устойчивости сооружений в зависимости от суффозионности грунтов // Трофимукские чтения – 2013: матер. Всерос. молод. науч. конф. с участ. иностр. ученых. Новосибирск, 8-14 сентября 2013 г. Новосибирск, 2013. – С. 584-586.
3. Shilova A.V. The assessment of hazard of geological processes depending on the ground conditions at Berezniki (Permsky kray, Russia) // Global View of Engineering Geology and the Environment: proceeding of the International symposium and 9th Asian Regional conference of IAEG, Beijing, China, 23-25 September 2013. CRS Press/Balkema, Taylor & Francis Group, London, UK, 2013. P. 185-188.

## МИНЕРАЛЬНЫЙ И ГЕОХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ ПОВЕРХНОСТОГО ГОРИЗОНТА ПОЧВ г. БЛАГОВЕЩЕНСКА

Д.В. Юсупов<sup>1</sup>, В.А. Степанов<sup>2</sup>, В.И. Радомская<sup>3</sup>,  
Л.М. Павлова<sup>3</sup>, Н.В. Трутнева<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Национальный исследовательский Томский политехнический университет,  
634034, г. Томск, ул. Ленина, д. 30. E-mail: yusupovd@mail.ru

<sup>2</sup> Научно-исследовательский геотехнологический центр ДВО РАН,  
683002, г. Петропавловск-Камчатский, Северо-Восточное шоссе, 30.  
E-mail: vitstepanov@yandex.ru

<sup>3</sup> Институт геологии и природопользования ДВО РАН, 675000, Амурская область,  
г. Благовещенск, пер. Релочный, д. 1. E-mail: radomskaya@ascnet.ru, pav@ascnet.ru

<sup>4</sup> Амурский государственный университет, 675027, Амурская область, г. Благовещенск,  
Игнатъевское шоссе, д. 21. E-mail: trutnevanv@mail.ru

**Введение.** Обеспечение безопасности проживания населения на территории городов, повышение качества жизни, придание городам дополнительных функций, создание новой градостроительной политики развития и управления городами являются директивными задачами государственной Концепции перехода Российской Федерации к модели устойчивого развития.

Город Благовещенск – единственный административный, промышленный и культурный центр России, который расположен на государственной границе. Территория города и области сопряжена с северо-восточной частью КНР – провинцией Хэйлунцзян с численностью населения около 40 млн. человек.

Комплексные эколого-геохимические исследования и геохимическое картирование на территории города Благовещенск проводились последний раз в 1990-1992 гг. За четверть века произошли существенные изменения в

экономической, социальной и политической сферах, изменилась и экологическая ситуация в городе. В настоящее время экологическая обстановка на территории г. Благовещенска оценивается специалистами и профильными ведомствами как напряженная. Остаются нерешенными ряд экологических проблем [1].

Актуальным для г. Благовещенска является изучение современного состояния компонентов окружающей среды, в том числе почвенного покрова, масштабов воздействия на окружающую среду хозяйственной деятельности, антропогенной трансформации приграничных и трансграничных территорий, а также проведение работ по оценке развития на территории города неблагоприятных природных процессов и явлений [2-4].

Цель работы: оценить эколого-геохимическое состояние окружающей среды г. Благовещенска (Амурская область) по результатам изучения минерального и геохимического состава верхнего горизонта почвенного покрова.

**Материалы и методы.** Методологической основой исследования послужили работы в области экогеохимии урбанизированных территорий (Ю.Е. Саг, М.А. Глазовская, Н.С. Касимов и др.), геохимии почв (Ю.Н. Водяницкий, А. Кабата-Пендиас и др.).

*Отбор и подготовка проб почвы.* В 2013 г. первой декаде июля (до начала сезона муссонных дождей) на территории г. Благовещенск отобраны 40 проб городских почв по равномерной площадной сети в масштабе 1:100000 с шагом опробования 1×1 км.

Местный фон характеризуют 30 проб, отобранные из гумусового горизонта в масштабе 1:50000 с участка 2×3 км в 10 км севернее урбанизированной части города с наветренной стороны. Шаг опробования составил 0,5×0,5 км. Отбор проб почвы производился в ясную сухую погоду точечным способом методом конверта из верхнего горизонта 0-10 см.

Подготовка проб почвы последовательно включала следующие операции: просушивание при комнатной температуре, измельчение крупных агрегатов, просеивание через сито с размером ячейки 1 мм, квартование пробы, взятие и механическое истирание навески до 200 меш для различных видов анализов. Для минералогического анализа исходный материал проб почвы делили на классы: (-1+0,5), (-0,5+0,3), (-0,3+0,1), (-0,1) и шлам (-0,01). Классы кроме шлама и магнитной фракции промывали в бромформе, затем разделяли на тяжелую, электромагнитную легкую и немагнитную легкую фракции.

*Аналитические исследования* образцов почвы производили в аккредитованных лабораториях по аттестованным методикам, которые включали: определение рН водной вытяжки, определение общего и неорганического углерода, минералогический анализ с применением микрохимических реакций, кислотное разложение образцов, определение валового состава атомно-эмиссионным и масс-спектральным с индуктивно-связанной плазмой методами с применением стандартных образцов.

*Обработка аналитических данных* заключалась в создании базы данных, расчете стандартных статистических параметров, кларков концентрации

(*KK*) и рассеивания (*KP*) химических элементов относительно верхней континентальной коры, в проверке гипотезы соответствия нормальному либо логнормальному законам распределения, вычислении значений парной корреляции, в проведении кластерного и факторного анализов соответственно «*Ward's method*» и «*Varimax raw*» методами с помощью программного обеспечения STATISTICA 8.0.

Пространственная структура геохимической трансформации верхнего горизонта почв г. Благовещенска отображена на картах распределения суммы магнитной и электромагнитной фракций минералов, показателя рН почвы, суммарного показателя загрязнения почвенного покрова, содержания органического углерода и тяжелых металлов, построенных в программе SURFER 10 методом «*Kriging*» и оформленных с помощью программы Corel Draw 16.

**Результаты.** *Почвенно-геохимический фон.* В качестве геохимического фона определен поверхностный гумусовый горизонт бурых лесных почв элювиального и транселювиального типов элементарных геохимических ландшафтов, расположенных на водоразделе между реками Амур и Зея за пределами урбанизированной территории города. Фоновый участок почвы характеризуется преимущественно нейтральной реакцией (рН 7,0), при варьировании – от слабокислой (5,7) до слабощелочной (7,5). Выделены группы концентрирующихся элементов с  $KK > 1,5$  –  $As_{3,3}Ag_{1,9}Rb_{1,8}$  и рассеивающихся элементов с  $KP > 1,5$  –  $Th_{7,6}Cu_{2,5}U_{2,0}Co_{1,6}$ .

*Минеральный состав почв урбанизированной территории.* Основную часть минерального состава верхнего горизонта почв Благовещенска составляют природные силикаты – кристаллы кварца и полевого шпата (в среднем 72%). Техногенная составляющая представлена шлаком, обломками угля, магнитными и силикатными сферами, на их долю приходится в среднем 27% (табл. 1).

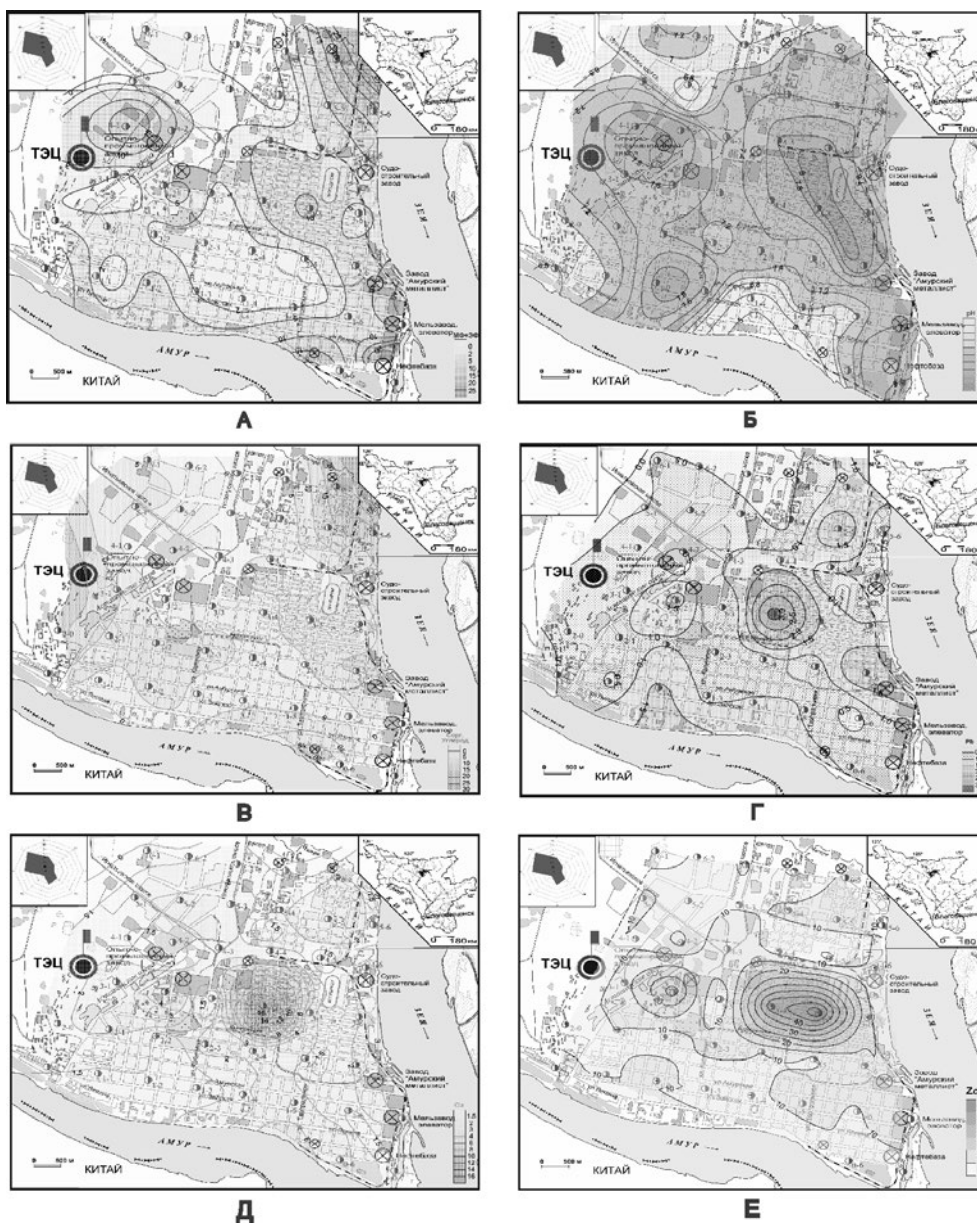
Соотношение между минеральными образованиями в почвах изменяется в пользу техногенной составляющей в зонах непосредственного воздействия выбросов крупных котельных и заводов – 52% и 48% соответственно. Здесь в верхнем горизонте почвы закартированы ореолы с максимальной концентрацией суммы магнитной и электромагнитной фракций (рис. 1, А).

*Общие физико-химические свойства почв.* Отмечена известная закономерность техногенного подщелачивания урбанизированных почв. По сравнению с фоновыми условиями рН поверхностного горизонта урбопочв повышается до слабощелочной (7,3-7,6) в зонах жилой многоэтажной застройки, до среднешелочной (8,04) – в промышленных зонах, а также в селитебной зоне низкой этажности (рис. 1, Б). Содержание  $C_{орг}$  колеблется от 2% до 18%, в среднем составляет 6%. Максимумы установлены в промышленных зонах и связаны с выбросами крупных котельных и ТЭЦ (рис. 1, В).

*Тяжелые металлы в поверхностном горизонте почв.* С помощью кластерного анализа выявлены три ассоциации микроэлементов: Ag-Ba-Zn-Ni-Co, U-Th и Pb-Cu-Cr. Факторный анализ показал, что первый фактор оказывает наибольшее влияние на вклад в общую дисперсию Co, Zn, Ag и Ba



(42%), второй фактор – U и Th (16%) и третий фактор – Pb и Cu (13%). Конформное распределение ореолов Pb и Cu представлено на рис. 1, Г, Д.



**Рис. 1.** Распределение суммы магнитной и электромагнитной фракций минералов (А), pH почвы (Б), содержаний органического углерода (В), химических элементов – свинца (Г), меди (Д), суммарного показателя загрязнения (Е) в верхнем горизонте почвенного покрова г. Благовещенска

Результаты распределения суммарного показателя загрязнения почвенного покрова г. Благовещенск приводится на рис. 1, Е. В целом урбанизированная территория имеет низкий, неопасный уровень загрязнения ( $Z_c=12$ ). Средний, умеренно опасный уровень загрязнения ( $Z_c=34$ ) зафиксирован на территории северо-западной промышленной зоны, включая зону влияния ТЭЦ. Высокий, опасный уровень загрязнения ( $Z_c=55$ ) выявлен в почвах селитебной зоны низкой этажности с печным отоплением в центральной части города (рис. 1, Е).

Таблица 1

**Минеральный состав верхнего горизонта почвы г.Благовещенск**

| Минералы                     | Содержание в пробах, % |      |      |      |     |      |     |     |
|------------------------------|------------------------|------|------|------|-----|------|-----|-----|
|                              | 0/6                    | 1/0  | 1/2  | 1/3  | 1/7 | 2/4  | 3/2 | 6/5 |
| Шлак магнитный               | 4                      | 0,2  | 0,3  | 0,1  | 1   | 0,2  | 2   | 0,2 |
| Шлак                         | 40                     | 35,8 | 11   | 4    | 6,7 | 23   | 7,3 | 36  |
| Обломки углей                | 21,8                   | 1,8  | 1,7  | 3,2  | 12  | 10   | 1   | 15  |
| Магнитные сферулы            | 3                      | 0,1  | ед.  | ед.  | 0,2 | зн.  | 0,2 | 0,4 |
| Силикатные сферулы           | 0,1                    | ед.  | ед.  | ед.  | зн. | -    | ед. | 0,3 |
| Кварц                        | 12                     | 36   | 40   | 49,7 | 37  | 37   | 48  | 30  |
| Полевые шпаты (коа-<br>лин.) | 19                     | 26   | 45,7 | 42   | 43  | 28,5 | 37  | 18  |
| Амфиболы                     | 0,1                    | 0,1  | 0,3  | 0,7  | 0,1 | 0,8  | 4   | 0,1 |
| Биотит, мусковит             | зн.                    | ед.  | 1    | 0,2  | ед. | 0,4  | 0,3 | -   |
| Гранат                       | ед.                    | ед.  | зн.  | ед.  | зн. | зн.  | 0,1 | ед. |
| Пироксен                     | ед.                    | -    | зн.  | -    | -   | -    | ед. | -   |
| Эпидот                       | ед.                    | ед.  | зн.  | 0,1  | зн. | 0,1  | 0,1 | -   |
| Турмалин                     | ед.                    | -    | ед.  | -    | -   | -    | ед. | -   |
| Циркон                       | ед.                    | -    | -    | -    | ?   | -    | ?   | -   |
| Пирит                        | ед.                    | -    | зн.  | -    | ед. | -    | -   | -   |
| Сумма в %                    | 100                    | 100  | 100  | 100  | 100 | 100  | 100 | 100 |

Примечание: ед. – до 10 зерен, зн. – 10-100 зерен.

**Закключение.** На территории г.Благовещенска действуют постоянный, устойчивый и прогрессивный типы загрязнения окружающей среды. Постоянный тип и низкий уровень загрязнения обусловлены петрогенным фактором среды (U, Th). Устойчивый тип и умеренно опасный уровень загрязнения вызваны долговременным воздействием стационарных источников эмиссии техногенного вещества (Ag-Ba-Zn-Ni-Co). Прогрессирующий тип связан с возросшей транспортной нагрузкой (Pb, Cu). Одной из причин загрязнения почвенного покрова в центре города является печное отопление частного сектора.

Авторы выражают благодарность к.г.-м н. Л.И. Рогоулиной и к.х.н. В.К. Карандашеву за помощь в выполнении аналитических работ.

### Литература

1. Администрация города Благовещенска [Официальный сайт]. URL: <http://www.admblag.ru/index.php/pages/genplan/>
2. Куимова Н.Г., Шумилова Л.П., Павлова Л.М. Оценка экологического состояния почв г. Благовещенска // Вестник РУДН, серия Экология и безопасность жизнедеятельности, 2008. №3, с. 38-47.
3. Павлова Л. М., Радомская В.И., Юсупов Д.В. Высокотоксичные элементы в почвенном покрове на территории г. Благовещенска // Экология и промышленность России. 2015. Т. 19, №. 5, с. 50-55
4. Радомская В.И., Радомский С.М., Куимова Н.Г. Оценка загрязнения почвенного покрова г. Благовещенск // Вестник ДВО РАН. 2008. № 3, с. 37-43.

## ЭКОЛОГО-ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ И ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ ПРОМЫШЛЕННО-ГОРОДСКИХ АГЛОМЕРАЦИЙ НА ЛЕССОВЫХ ГРУНТАХ

**Е.А. Яковлев**

Институт телекоммуникаций и глобального информационного пространства  
Национальной АН Украины, Украина, Киев, Чоколовский бульвар, 13.  
E-mail: yakovlev@niss.gov.ua

Геологическая среда (ГС) промышленно-городских агломераций (ПГА) находится под воздействием большого комплекса природных и техногенных процессов, которые активно влияют на динамичность и устойчивость верхней зоны литосферы и техногенно-геологических систем (ТГС) «объекты ПГА – ГС». Фундаментальные исследования лессовых толщ, проведенные в конце XX века (акад. Сергеев Е.М., акад. Осипов В.И., проф. Трофимов В.Т., проф. Королёв В.А. и др.), показали, что любая ТГС на лессово-породной толще включает следующие элементы:

- материальный (структурно-породный) базис;
- энергетический (водо-энергоперенос);
- информационный (изменения механических, физических, химических и др. параметром ГС и ТГС).

Информационный уровень является первичным по отношению к двум другим и выполняет функцию управления системой путем энергетических воздействий на материальную основу. В инженерно-геологическом и эколого-геологическом плане лессовые породы отличаются рядом экстремальных показателей, к которым можно отнести просадочность, повышенную пористость, сложный комплекс фазовых состояний, повышенную чувствительность к техногенным изменениям водо-теплопереноса.

В современных условиях функционирования ПГА Центрального и Южного Приднестровья процессы техногенеза лессовых пород являются од-

ним из основных факторов инженерно-геологических и эколого-геологических рисков. В значительной мере это связано с тем, что жизненный цикл ПГА составляет десятки-сотни лет и сопровождается комплексным воздействием нарастающих поступлений в лессовый породный комплекс воды, тепла, химических соединений, а также снижением дренированности и испарения. Согласно данным мониторинга территорий ПГА на 1 км<sup>2</sup> приходится до 8-15 км суммарной протяженности водопроводно-канализационных и теплоэнергетических сетей (ВКТЭС) при 35-45% потерь, что эквивалентно 1,5-2,5-кратному повышению инфильтрационного питания грунтовых вод.

Вследствие действия вышеуказанных факторов геологическая среда ПГА на лессовых породах характеризуется динамичностью развития и ускоренными необратимыми изменениями механических, физико-химических и инженерно-сейсмогеологических свойств.

Выполненный анализ воздействия техногенного поступления воды и тепла в верхнюю зону ГС урбанизированных комплексов позволил установить ряд закономерных черт техногенного водонасыщения лессовых толщ в зоне аэрации (ненасыщенной фильтрации) и формирования техногенного водоносного горизонта:

- куполовидная структура техногенного водоносного горизонта в лессовых породах, обусловленная анизотропией их проницаемости (превышение вертикальной проницаемости до 5-15 раз над горизонтальной) и повышенными утечками воды в старых (центральных) микрорайонах ПГА;

- повышение концентраций сульфатов и хлоридов натрия, кальция, магния по сравнению с фоновыми значениями грунтовых вод;

- уменьшение или отсутствие циклических сезонных колебаний уровней по сравнению с их естественным ходом в грунтовом водоносном горизонте (ГрВГ);

- повышение температуры ГрВГ и техногенного слоя до 10-20<sup>0</sup>С выше фоновых значений с одновременным увеличением агрессивности к металлическим и бетонным конструкциям.

При потерях из ВКТЭС на лессовых грунтах до 700 млн.м<sup>3</sup>/год при площади ПГА около 12 тыс.км<sup>2</sup> техногенное инфильтрационное питание ГрВГ достигает  $M_T=700 \cdot 10^6 : 12 \cdot 10^9 \text{ м}^2 = 0,058 \text{ м/год} = 1,8 \text{ л/сек} \cdot \text{км}^2$ .

Результаты вышеприведенного расчета свидетельствуют, что техногенное инфильтрационное питание ГрВГ в границах ПГА на лессовых породах Центрального и Южного Приднепровья до 2 раз превышает фоновые (природные) значения.

Выполненные балансовые оценки также показали, что одновременно с водными утечками, в грунтовый (техногенный) водоносный горизонт поступает тепловой поток  $Q=700 \text{ Гкал/км}^2 \cdot \text{год}$ , что эквивалентно расходу на нагрев водной составляющей ГС:

$$T=Q : \mathcal{E}_{\text{т.у.т.}}=700:7=100 \text{ т.у.т./км}^2 \cdot \text{год},$$

где  $\mathcal{E}_{\text{т.у.т.}}$  – тепловой эквивалент 1 т условного топлива,  $\mathcal{E}_{\text{т.у.т.}}=7 \text{ Гкал}$ .

Долговременное поступление техногенного тепла приводит к росту растворяющей способности техногенных вод, их агрессивности и активизации процессов химической суффозии с последующими комплексными изменениями физико-механических, водно-физических и инженерно-сейсмогеологических свойств лессовых толщ в границах ПГА.

В целом полученные данные об изменениях уровней и температур ГрпВГ и его техногенной составляющей формируют ключевую информацию для оценки изменений инженерно-геологических условий лессово-породного массива в границах ПГА.

Спецификой техногенных изменений лессовых пород в границах ПГА является существенное уменьшение мощности зоны аэрации, снижение прочности, ускоренный фазовый переход в пластичное и текучее состояние, что существенно расширяет поле оползне- и просадкообразования.

Выполненные исследования показали, что при переувлажнении и переходе в текучее (пльвунное) состояние на склонах статическое напряжение сдвига лессовой породной массы составляет  $\tau_{снс}=0,15$  г/см<sup>2</sup>.

Таким образом, критическая величина угла откоса для формирования оползней-потоков будет составлять  $\alpha=\arctg(\tau_{снс}/\rho dh)$ , где

$\rho$  – средняя плотность водонасыщенных лессовых пород,  $\rho \approx 1,8$  г/дм<sup>3</sup>;

$dh$  – высота элементарного объема площадью 1 см<sup>2</sup>, при котором гидростатическое давление текучей лессово-породной массы сравнимо с  $\tau_{снс}$ .

Согласно данным наблюдений образование оползней-потоков на лессово-породных склонах отмечается при их крутизне 5-8<sup>0</sup>, что негативно влияет на безопасность эксплуатации жилого и промышленного фонда (рис. 1).

Совместный анализ материалов режимных наблюдений за уровнями грунтовых вод и динамикой оползнеобразования позволяет сделать вывод о нарастающем влиянии глобальных изменений климата (ГИК – потепление, усиление инфильтрационного питания ГрВГ и водонасыщения лессовых пород и др.) на инженерно-геологическую деградацию лессов как оснований инженерных сооружений. Кроме того, рост площади техногенного подтопления ПГА на лессовых грунтах может негативно влиять на инженерно-сейсмогеологическую устойчивость сооружений.

В основном это может быть связано с замедленным снижением порового давления в лессово-породном основании на контакте с фундаментом. Ориентировочно время спада порового давления  $t_{сп}$  при сейсмотолчке можно оценить согласно зависимости:  $t_{сп} \approx (0,5b)^2 / 2,25a_y$ , где

$b_{сп}$  – половина ширины здания, м;

$a_y$  – уровнепроводимость ГрВГ (~1÷5 м<sup>2</sup>/сутки).

По имеющимся данным инженерно-сейсмогеологических наблюдений (проф. Лущик А.В., проф. Трофимчук А.Н. и др.) время снижения порового давления после прохождения фронта сейсмодолны, может составлять 1÷5 суток и более, что способно усилить деформации строений при афтершоках.



**Рис. 1. Оползень на лессовом склоне крутизной  $5^{\circ}$ - $8^{\circ}$   
(периферия г. Купянск, Харьковская обл.)**



**Рис. 2. Оползень на лессовом склоне крутизной  $5^{\circ}$ - $10^{\circ}$   
в жилом массиве г. Днепропетровск**

Нарастающий комплекс природных и техногенных изменений лессовых пород формирует комплекс задач по дальнейшему изучению их инженерно-геологической и эколого-геологических свойств, в т.ч. техногенных минеральных соединений, параметров водо-теплопереноса на разных стадиях техногенного метаморфизма и кинетики физико-химических процессов в лессовых толщах.

## 4. ЗАГРЯЗНЕНИЕ И ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ РЕАБИЛИТАЦИЯ ПРИРОДНОЙ СРЕДЫ

---

### РЕГИОНАЛЬНАЯ ОСОБЕННОСТЬ ЭЛЕМЕНТНОГО СОСТАВА СОЛЕВЫХ ОТЛОЖЕНИЙ ПИТЬЕВЫХ ВОД (БАЙКАЛЬСКИЙ РЕГИОН И ПАВЛОДАРСКАЯ ОБЛАСТЬ)

**Ш.Ж. Арынова, Л.П. Рихванов, Б.Р. Соктоев, Н.В. Барановская**

Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск,  
пр. Ленина 30. E-mail: shinar\_uzh@mail.ru

Вода является необходимой частью окружающей среды, особенно это относится к той ее части, которая представляет собой питьевое водоснабжение. Поскольку употребление недоброкачественной питьевой воды ведет к ухудшению состояния здоровья человека и, как следствие, приводит к снижению естественной сопротивляемости организма, а также к ранним неблагоприятным функциональным изменениям в различных физиологических системах [1-3, 5, 6]. В этом случае в качестве объекта исследования выступили солевые отложения питьевых вод, которые не только могут охарактеризовать качество питьевых вод, но и принять участие в медико-географической оценке влияния загрязнения водных объектов.

Предыдущие научные труды, (Рихванов Л.П., Язиков Е. Г., Монголина Т.А., Соктоев Б.Р.) [4, 7-10] лишь доказали, что солевые отложения питьевых вод являются достаточно информативным субстратом, накапливающимся в течение длительного периода времени, а метод его пробоотбора и пробоподготовки экспрессен и не требует больших материальных затрат.

На территории Байкальского региона были отобраны и проанализированы 189 проб накипи, в Павлодарской области – 169. Накипь была исследована посредством следующих методов: инструментально нейтронно-активационный, рентгеновская дифрактометрия, электронная микроскопия.

Так, солевые отложения питьевых вод по данным рентгеновской дифрактометрии представлены в основном арагонитом и кальцитом. Карбонатные образования в качестве элементов-примесей содержат в себе Mg, Zn, гидроксиды Fe, сульфаты (барит), алюмосиликаты, самородные формы Au и Ag, что также подтверждается данными электронной микроскопии.



Для определения геохимических особенностей накипи данные были пронормированы относительно элементного состава солевых образований оз. Байкал, как эталона чистой питьевой воды.

Каждый регион по-своему геохимически интересен и специализирован на конкретные химические элементы.

Так, например, для Павлодарской области в целом характерно наличие в накипи четырех элементов: цинка, урана, тантала, серебро. Последний элемент образует ассоциацию с золотом, которая выявлена в районе близ золоторудного месторождения. При этом специфической особенностью солевых отложений одного из населенных пунктов Павлодарской области является присутствие в максимальных количествах всех изученных редких и редкоземельных элементов относительно других населенных пунктов. В данном случае возможное влияние оказывает месторождение кирпичного сырья, глины, которые содержат в своем составе редкие земли. Также выделяются районы с аномально встречающимся ураном в накипи питьевых вод, что обусловлено влиянием уровня залегания горных пород, так, например, на окончании Чингизского поднятия, у стыка с Центрально-Казахстанской зоной разломов располагается Улькен-Тузский урановорудный узел, в котором установлена урановая минерализация в грейзенах (рудопроявление Шоммаколь), в альбитах и альбитизированных породах. Помимо прочего область богата месторождениями угля, которые могут представлять потенциальную радиэкологическую опасность в окисленных пластах, выходящих на поверхность или вскрытых горными выработками.

На территории Байкальского региона встречаются несколько типов накипи, каждый из которых специфичен. Так, уран в ассоциации с редкоземельными элементами встречается в карбонатных образованиях Селенгинского потенциально урановорудного района. Там, где в накипи присутствовала золото-серебряная ассоциация, по данным электронной микроскопии обнаруживались собственные минеральные фазы Ag и Au.

При сравнении данных по г. Павлодару и населенным пунктам можно выделить элементы, содержания которых преобладают на городских территориях: Fe, Br, Ba, Cs, Sr, La, U, что может указывать на техногенный источник загрязнения (машиностроение и металлообработка, металлургическое, теплоэлектростанции).

Авторами было исследовано влияние Джидинского вольфрамомолибденового комбината (г. Закаменск) на окружающую среду, потенциальную угрозу которого несут его отходы. Полученные данные показывают аномально высокое концентрирование железа, цинка, европия, тербия, лютеция и урана в накипи питьевых вод.

Стоит обратить внимание на возможное влияние на территории Павлодарской области бывшего Семипалатинского испытательного ядерного полигона, поскольку по данным изучения элементного состава накипи обнаружены высокие концентрации урана, что естественно требует более детального и тщательного исследования.

Таким образом, солевые отложения питьевых вод являются депонирующей средой для оценки эколого-геохимического состояния территории и выступают в качестве геохимического критерия для прогнозирования поисков месторождений.

#### Литература

1. Гусева Т.В., Молчанова Я.П., Заика Е.А. и др. Гидрохимические показатели состояния окружающей среды: справочные материалы. СПб.: Эколайн, 2000. 127 с.
2. Демин А. П. Тенденция использования и охраны водных ресурсов в России // Водные ресурсы. 2000. Т. 27. № 6. С.735-754.
3. Кабалова Л.А., Гореленкова Н.А., Виноградова Л.А. Показатели неспецифической сопротивляемости организма в оценке состояния здоровья детей, проживающих в условиях различной техногенной нагрузки // Гигиена и санитария. 1995. № 1. С. 22-25.
4. Монголина Т.А. Геохимические особенности солевых отложений (накипи) питьевых вод как индикатор природно-техногенного состояния территории: автореф. дис. ... канд. геол.-мин. наук. Томск, 2011. 21 с.
5. Муравьев А.Г. Руководство по определению показателей качества воды полевыми методами. СПб.: Кристмас+, 2000. 229 с.
6. Петин А.Н., Лебедева М.Г., Крымская О.В. Анализ и оценка качества поверхностных вод. Б.: БелГУ, 2006. 252 с.
7. Соктоев Б.Р., Рихванов Л.П., Тайсаев Т.Т. Геохимические особенности солевых отложений питьевых вод Байкальского региона // Современные проблемы геохимии: Матер. Всеросс. совещ. Иркутск: Изд-во ИГ СО РАН, 2012. Т. 1. 241-244.
8. Язиков Е.Г., Рихванов Л.П., Барановская Н.В. Солевые образования – индикатор загрязнения среды при геохимическом мониторинге // Тяжелые металлы, радионуклиды и элементы – биофилы в окружающей среде: Докл. II Междунар. научно – практ. конф. Семипалатинск, 2002. Т.2. С. 426-432.
9. Язиков Е.Г. Экогеохимия урбанизированных территорий Юга Западной Сибири: автореф. дис. ... д-ра геол.-минерал. наук. Томск, 2006. 47 с.
10. Эколого-геохимические особенности природных сред Томского района и заболеваемость населения / Л.П. Рихванов, Е.Г. Язиков, Ю.И. Сухих [и др.], под ред. А.Г. Бакирова. Томск: Курсив, 2006. 216 с.

### ОЦЕНКА ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОД, ОБУСЛОВЛЕННОГО РАЗМЕЩЕНИЕМ ПРОМЫШЛЕННЫХ ОТХОДОВ В ОТРАБОТАННЫХ КАРЬЕРАХ

О.В. Елохина<sup>1</sup>, В.А. Елохин<sup>2</sup>

<sup>1</sup> УГК им. И. И. Ползунова, 620014, г. Екатеринбург, ул. Ленина, 28.  
E-mail: oksana elokhina@mail.ru,

<sup>2</sup> УГТУ, кафедра ГлЗЧС, 620144, г. Екатеринбург, ул. Куйбышева, 30.  
E-mail: elokhin.v.a@mail.ru

Отработанные карьеры на Урале, как правило, заполняются отходами производства. Разные технико-экономические условия, в которых происхо-

дило превращение карьеров в полигоны складирования отходов производства, определяют различную степень их экологической безопасности.

Один из изучаемых объектов расположен на высоком цокольном берегу р. Пышмы, являющейся основной водной артерией района, в 250 м от уреза реки, в городе Сухой Лог. Здесь в отработанном щебеночном карьере глубиной 10-20 м, расположенном на карбонатных породах, с 1974 г. складировались промышленные отходы IV класса опасности, образующиеся в процессе производства вторичных сплавов.

Отвал шлаков расположен на местном водоразделе между р. Пышмой и глубоко врезанным урочищем Лиственный Лог. Гидрохимическое опробование поверхностных вод выполняется в 2 точках: створ 1 (100 м выше устья Лиственного Лога), створ 2 (500 м ниже устья Лиственного Лога).

В мае 2013 г. вода в реке Пышма превышала нормативы по водородному показателю, кроме того, за весь период наблюдения отмечалось постоянное превышение норматива для объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования (ПДКх/п) по показателю окисляемости. При сравнении качества поверхностных вод с нормативами для объектов рыбохозяйственного назначения (ПДКр/х), отмечаются повышенные содержания Си и F, как выше зоны влияния шлакового отвала, так и ниже, в тоже время, концентрации перечисленных компонентов значительно ниже ПДКх/п.

С целью определения степени влияния шлакового отвала на качество воды в р. Пышме рассчитаны коэффициенты накопления элементов в створе 2 по отношению к створу 1. Расчеты показали, что отчетливо проявленных закономерностей в распределении исследованных параметров не выявляется. Вариации коэффициентов накопления могут объясняться несколькими причинами, а именно:

- водностью реки в различные временные отрезки;
- загрязнением воды объектами, расположенными выше по течению;
- поверхностным стоком атмосферных осадков;
- погрешностью анализов.

Водородный показатель в створе 2 с июля по ноябрь превышал фоновое значение (створ 1), достигнув максимальных значений в сентябре. Окисляемость за весь период наблюдения находилась примерно на одном уровне, но в июле в створе 2 резко понизилась. Содержания SiO<sub>2</sub> с мая по июль в створе 2 были значительно ниже по сравнению со створом 1, но в сентябре возросли, превысив фоновые значения в 1,67 раза. Максимальные концентрации NH<sub>4</sub>, Fe, NO<sub>2</sub>, Ni, Sn, Al отмечались в мае и сентябре, а минимальные – в июле и ноябре. Наиболее высокие концентрации Zn были в мае-июле, в то время как в сентябре-ноябре его количества в створе 2 уменьшились. Содержание Pb за весь период наблюдений постепенно уменьшалось. Максимальное содержание Си отмечалось в мае, а минимальное – в ноябре.

Таким образом, исходя из вышеизложенного, значительное влияние на изменение качества поверхностных вод оказывают сезонные изменения, которые могут быть обусловлены целым рядом факторов. Однако в отдельные периоды фиксируются превышения элементов, характерных для геохимиче-

ских спектров подземных вод, что может свидетельствовать о некотором влиянии шлакового отвала на качество воды р. Пышма.

Предприятие свалки твердых промышленных отходов (ТПО) «Прометей» расположено в карьерной выемке на участке организованного выпуска на рельеф сточных вод предприятий на левом берегу реки Исеть в городе Каменск-Уральский и занимает площадь 5,8 га. Река Исеть является главной водной артерией г. Каменска-Уральского и протекает в 300 м от свалки ТПО.

С целью изучения качества поверхностных и сточных вод и выявления степени влияния, сбрасываемых вод, на качество воды в реке Исеть отобраны восемнадцать проб воды, в том числе: 9 проб сточных вод из выпусков 1-3, три пробы взяты из карьера и шесть проб из реки Исеть – выше и ниже сброса.

Сточная вода из выпуска 1 характеризуется превышениями нормативов по нефтепродуктам (47,4 ПДК) и фенолам (2,0 ПДК).

Качество воды из выпуска 2 по своему составу резко отличается от сточной воды из выпуска 1. Здесь фиксируются высокие концентрации, превышающие ПДК для воды водных объектов, имеющих рыбохозяйственное значение (ПДКр/х),  $\text{NO}_2$  (64,38),  $\text{Cu}$  (42),  $\text{NH}_4$  (30,2 ПДКр/х); кроме того, отмечаются повышенные содержания  $\text{SO}_4$  (7,7),  $\text{Na}$  (6,29),  $\text{SiO}_2$  (3,69), нефтепродуктов (3,0), фенолов (2,56). При сравнении с ПДК воды водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования (ПДКх/п) отмечается превышение содержаний  $\text{Cd}$  (6,0),  $\text{Na}$  (3,77),  $\text{SiO}_2$  (3,69), нефтепродуктов (3,0),  $\text{NO}_3$  (2,28); кроме того возрастает окисляемость (4,2).

Вода из выпуска 3 в разные периоды опробования характеризуется значительными вариациями содержаний основных загрязняющих компонентов:  $\text{Cu}$  (от 16 ПДКр/х до 1040 ПДКр/х),  $\text{Zn}$  (от 0,34 ПДКр/х до 33 ПДКр/х),  $\text{Cd}$  (от 4,4 ПДКр/х до 11,6 ПДКр/х), фенолы (от 660 ПДКр/х до 1 ПДКр/х). При сравнении с ПДКх/п отмечаются превышения содержаний  $\text{Cd}$  (58,0), нефтепродуктов (3,0), кроме того возрастает окисляемость (1,24 ПДК).

Воде, отобранной из карьерного озера, при сравнении с нормативами ПДКр/х свойственны высокие концентрации  $\text{Cu}$  (180),  $\text{NO}_2$  (40,63), а также повышенные содержания  $\text{Zn}$  (10),  $\text{Cd}$  (4,8),  $\text{Ni}$  (9,9) при ощутимом снижении содержаний нефтепродуктов, аммиака и фенолов.

При сравнении качества воды с нормативами ПДКх/п фиксируются повышенные концентрации  $\text{Cd}$ , нефтепродуктов, фенолов и аммиака.

Для оценки качества воды в р. Исеть проанализированы пробы, отобранные выше и ниже сброса поверхностных вод. Вода выше по течению от устья стока поверхностных вод характеризуется повышенными содержаниями  $\text{Cu}$  (5,3 ПДКр/х), нефтепродуктов (2,2 ПДКр/х),  $\text{Zn}$  (1,3 ПДКр/х),  $\text{Fe}$  (1,2 ПДКр/х).

Поверхностная вода из точки отбора, расположенной ниже по течению, практически полностью соответствовала нормативам ПДКх/п. Однако нормативы ПДКр/х превышены по  $\text{Cu}$  (10 ПДК),  $\text{Zn}$  (1,5 ПДК) и  $\text{Fe}$  (1,3 ПДК).

С целью определения степени влияния поверхностных стоков на качество воды в р. Исеть были рассчитаны коэффициенты накопления.

Расчеты показали, что вода в р. Исеть ниже сброса сточных вод характеризуется увеличением содержаний Cd в 3,5 раза, Cu – в 1,89 раза, Ni – в 1,46 раз, Zn – в 1,15 раза. Кроме того, фиксируется некоторое накопление Fe, SO<sub>4</sub>, As и сухого остатка.

Следует отметить, что во все три периода опробования в нижнем створе фиксировалось увеличение (накопление) сульфатов, меди, никеля и общей минерализации. Из чего можно сделать вывод, что этот процесс обусловлен стоком поверхностных вод с территории свалки, т. к. химические элементы, по которым фиксируется загрязнение р. Исеть, отвечают геохимическим спектрам подземных и сточных поверхностных вод [1].

Таким образом, проведенные исследования качества поверхностных вод в районах размещения промышленных отходов (шлаковый отвал и свалка твердых промышленных отходов), позволяют сделать следующий вывод: учитывая то, что подземные, сточные и поверхностные воды характеризуются наличием загрязняющих веществ в количествах, превышающих ПДК, необходимо вести экологический мониторинг окружающей среды.

Полученные результаты экологического мониторинга должны стать основой информационного обеспечения подготовки и принятия управленческих решений.

#### Литература

1. *Елохина О.В.* Влияние свалки промышленных отходов на качество подземных вод // Современные проблемы гидрогеологии, инженерной геологии и геоэкологии Урала и сопредельных территорий: материалы «Всероссийской научно-практической конференции (Россия, г. Екатеринбург, 9-12 декабря 2013 г). Екатеринбург: Изд-во УГГУ, 2013, с. 82-85.

### **ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ПОЛИЦИКЛИЧЕСКИХ АРОМАТИЧЕСКИХ УГЛЕВОДОРОДОВ В ВОДОТОКАХ САНКТ-ПЕТЕРБУРГА**

**Е.С. Митрофанова, А.Ю. Опекунов**

Санкт-Петербургский государственный университет, Институт наук о Земле,  
199178, Санкт-Петербург, 10-я линия В.О. 33-35

Многочисленные реки и каналы Санкт-Петербурга, определяющие его уникальный архитектурный облик, являются транспортными и туристическими судоходными путями и конечными резервуарами для сбрасываемых

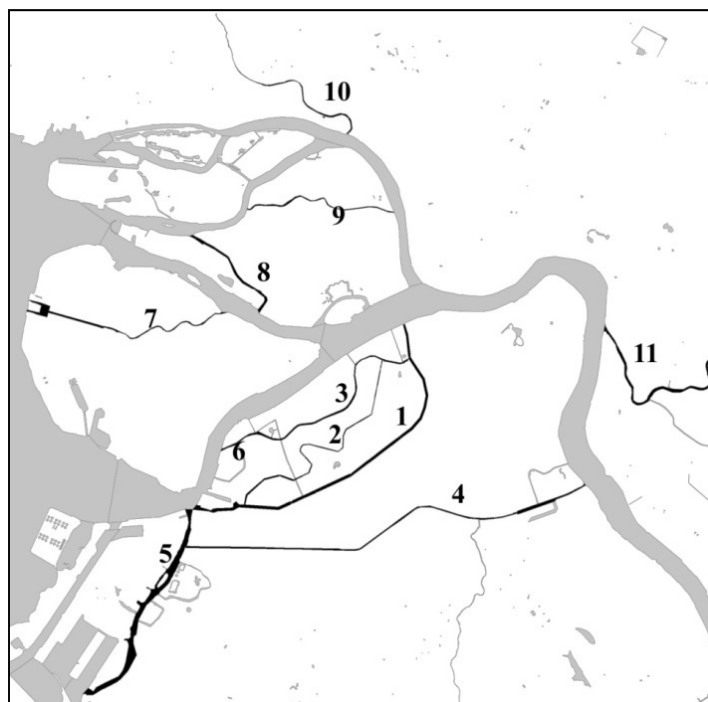
городом загрязняющих веществ, принимая сточные воды промышленных предприятий и жилищно-коммунального хозяйства. Несмотря на происходящее в последнее время значительное совершенствование системы водоотведения города, реки и каналы сохраняют в донных отложениях накопленные десятилетиями значительные объемы поллютантов, в том числе тяжелые металлы, нефтяные углеводороды и полиароматические соединения [2-5]. Это не только создает опасность вторичного загрязнения водотоков при перемещении донных осадков в процессе дноуглубления, строительства и судоходства, но и представляет опасность для экосистемы Невской губы и восточной части Финского залива.

Экологическое состояние рек и каналов Санкт-Петербурга в XX и XXI вв. изучалось многими организациями, а первые исследования водотоков Петербурга появились еще в XIX в. В последние десятилетия результаты исследований опубликованы сотрудниками ВСЕГЕИ, ВНИИОкеангеология, ЛенморНИИпроект, ВНИГРИ и др. [2-5,7]

Среди поллютантов в городской среде особое место занимают полициклические ароматические углеводороды (ПАУ). Приоритетность исследования этих соединений связана не только с их неизбежным поступлением в городскую среду, но и с их канцерогенными свойствами. Среди многочисленных веществ этой группы 15 обладают доказанными канцерогенными свойствами для человека (табл. 1). В окружающую среду города эти соединения поступают преимущественно с выбросами в результате сжигания органического топлива. Затем они осаждаются или вымываются на городскую территорию, откуда попадают в водные объекты, концентрируясь в донных отложениях в течение многих лет [1,6].

Целью данного исследования является изучение пространственных и временных особенностей распределения ПАУ в водотоках центральной части Санкт-Петербурга на основе изучения донных осадков. В 2013 г. сотрудниками кафедры геоэкологии и природопользования СПбГУ проведено изучение современных донных осадков одиннадцати водотоков центральной части Санкт-Петербурга (рис. 1) с различной степенью техногенной нагрузки. Общая протяженность изученных рек и каналов составила более 45 км.

В лабораториях Университета Ставангера (Норвегия) и Учебно-научной лаборатории геоэкологического мониторинга СПбГУ (Санкт-Петербург) был выполнен анализ содержания 15 полиаренов (табл. 1) методами газовой хроматографии с масс-спектрометрическим детектированием (86 поверхностных проб) и высокоэффективной жидкостной хроматографии со спектрофлуориметрическим детектированием (39 проб из 12 колонок донных отложений). Лабораторные исследования выполнены при поддержке гранта «Nor-Russ Environment» кафедры геоэкологии и природопользования СПбГУ и Университета Ставангера (Норвегия).



**Рис. 1. Исследованные водотоки:**

1 – р. Фонтанка; 2 – канал Грибоедова; 3 – р. Мойка; 4 – Обводный канал;  
5 – р. Екатерингофка; 6 – р. Пряжка; 7 – р. Смоленка; 8 – р. Ждановка;  
9 – р. Карповка; 10 – р. Черная Речка; 11 – р. Охта

Результаты анализа показали, что преобладающими соединениями в донных отложениях являются 4-6-циклические канцерогенные ПАУ (табл. 1), поступление которых в окружающую среду обусловлено процессами горения органического топлива. Индивидуальный состав полиаренов указывает на выбросы транспорта как основного источника (доминирование флуорантена, пирена, бензо/б/флуорантена, бензо/ghi/перилена и бенз/а/пирена).

Пространственное распределение ПАУ в водотоках отличается значительной неоднородностью. Высокие концентрации полиаренов в донных отложениях обнаружены вблизи предприятий и промышленных зон, крупных магистралей и мест скопления автотранспорта, а также вблизи стоянок судов.

Таблица 1

## Некоторые свойства исследованных веществ группы ПАУ [1,6]

| Вещества группы ПАУ   | Формула                         | Молек. масса<br>(кол-во колец) | Индекс<br>токсичности<br>(I)* | Доказательства<br>канцерогенности<br>для человека |
|-----------------------|---------------------------------|--------------------------------|-------------------------------|---|
| Нафталин              | C <sub>10</sub> H <sub>8</sub>  | 128 (2)                        | 0,001                         | отсутствуют                                       |
| Аценафтилен           | C <sub>12</sub> H <sub>8</sub>  | 152 (3)                        | 0,005                         | неадекватные                                      |
| Аценафтен             | C <sub>12</sub> H <sub>10</sub> | 154 (3)                        | 0,001                         | - « -   |
| Флуорен               | C <sub>13</sub> H <sub>10</sub> | 166 (3)                        | 0,001                         | - « -   |
| Фенантрен             | C <sub>14</sub> H <sub>10</sub> | 178 (3)                        | 0,001                         | - « -   |
| Антрацен              | C <sub>14</sub> H <sub>10</sub> | 178 (3)                        | 0,01                          | отсутствуют                                       |
| Флуорантен            | C <sub>16</sub> H <sub>10</sub> | 202 (4)                        | 0,034                         | - « -   |
| Пирен                 | C <sub>16</sub> H <sub>10</sub> | 202 (4)                        | 0,08                          | - « -   |
| Хризен                | C <sub>18</sub> H <sub>12</sub> | 228 (4)                        | 0,09                          | ограниченные                                      |
| Бензо/а/антрацен      | C <sub>18</sub> H <sub>12</sub> | 228 (4)                        | 0,05                          | достаточные                                       |
| Бензо/б/флуорантен    | C <sub>20</sub> H <sub>12</sub> | 252 (5)                        | 0,1                           | - « -   |
| 3,4-Бенз/а/пирен      | C <sub>20</sub> H <sub>12</sub> | 252 (5)                        | 1,0                           | - « -   |
| Дибензо/а,h/антрацен  | C <sub>22</sub> H <sub>14</sub> | 278 (5)                        | 1,4                           | - « -   |
| Индено/1,2,3с,d/пирен | C <sub>22</sub> H <sub>12</sub> | 276 (6)                        | 0,1                           | - « -   |
| Бензо/g,h,i/перилен   | C <sub>22</sub> H <sub>12</sub> | 276 (6)                        | 1,0                           | неадекватные                                      |

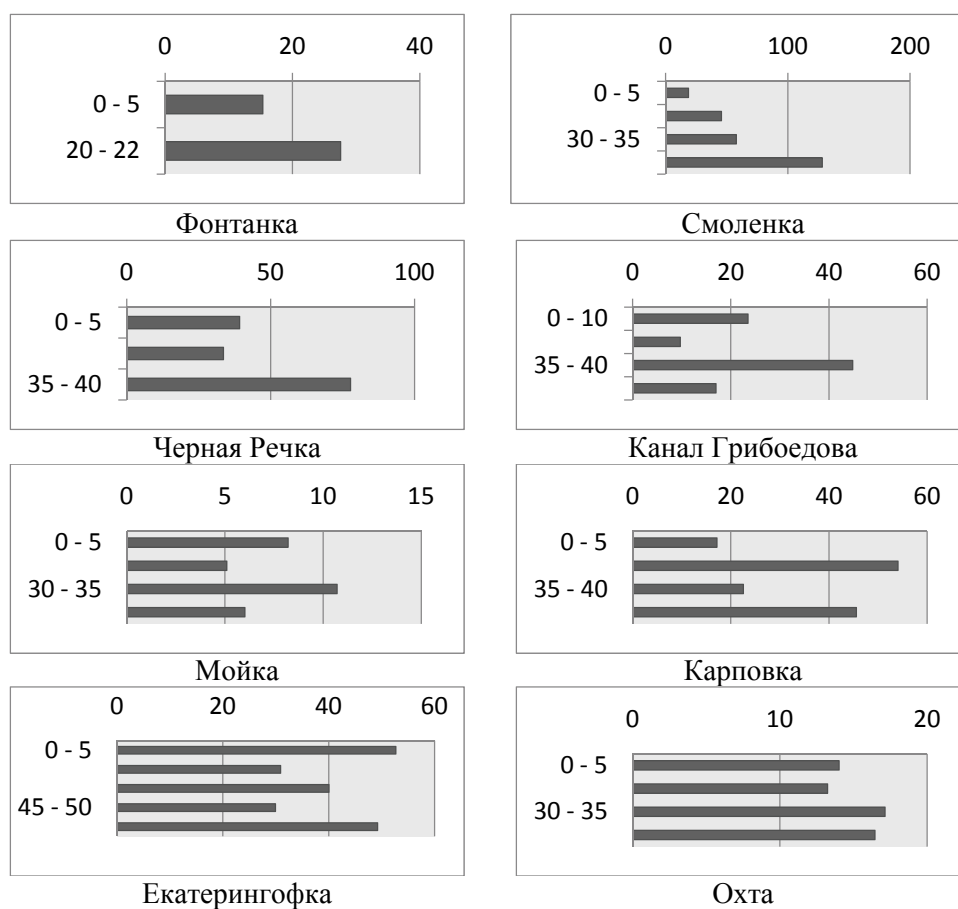
Среди промышленных источников загрязнения наибольший вклад вносят предприятия электроэнергетики, металлообработки, химической промышленности и радиоэлектроники. Необходимо отметить, что наиболее высокие содержания полиаренов наблюдались вблизи территорий, где расположены несколько предприятий различного профиля, а также вблизи и ниже по течению от крупных предприятий (ГП «Адмиралтейские верфи» (87 мг/кг), Завод им. Калинина (97 мг/кг), Пивоваренный завод им. Степана Разина (более 60 мг/кг), ФГУП «Ленинградский северный завод» (100 мг/кг)).

Результаты, полученные по разрезу донных отложений, позволяют оценить временную динамику накопления полиаренов в донных осадках (рис. 2). Снижение концентрации вверх по разрезу обнаружено в трех водотоках: Фонтанка, Смоленка и Черная Речка. Для р. Фонтанка эти изменения невелики, в то время как для двух других водотоков концентрация ПАУ по разрезу отличается в 2-5 раз.

В остальных водотоках выраженного тренда изменения концентрации полиаренов по времени их накопления не обнаружено (рис. 2), несмотря на проводимую в последние 20 лет активную работу по строительству городского коллектора и ликвидации прямых выпусков сточных вод в реки и каналы города. То есть природоохранные мероприятия не позволили снизить уровень загрязнения водотоков полиаренами. Типичным для большинства рек и каналов является высокое содержание ПАУ в поверхностном слое донных осадков. Ниже в горизонтах, сформировавшихся в 90-х годах прошлого века, на-



блюдается уменьшение содержания полиаренов, отвечающее спаду производства. Эти результаты коррелируются с данными по выбросам загрязняющих веществ в атмосферный воздух: в то время они были минимальными [8]. Ниже по разрезу содержание ПАУ снова растет, что отражает период 1960-1980х гг., когда сложились техногенные условия функционирования аквальных систем, обусловленные интенсивным ростом производства, населения города и увеличением количества источников выбросов и сбросов загрязняющих веществ в водотоки. Этот период особенно хорошо выражен в разрезе отложений на р. Мойка (горизонт 30-35 см) и р. Карповка (горизонт 20-25 см).



**Рис. 2. Распределение концентраций ПАУ (суммарное содержание 15 полиаренов) в разрезе донных осадков водотоков центральной части Санкт-Петербурга, мг/кг (вертикальная ось – мощность, см)**

Реки Екатерингофка и Охта имеют свои особенности в распределении концентраций ПАУ по разрезу. В р. Екатерингофка была поднята колонка мощностью 75 см, приблизительно соответствующая периоду с 1970х гг. до настоящего времени. Максимальные концентрации ПАУ были обнаружены в нижнем горизонте и в поверхностном слое донных осадков, где содержание ПАУ в 2 раза выше, чем в горизонтах, относящихся к 1980-2000 гг. В р. Охта, нижнее течение которой находится в промышленной зоне, при сравнительно низких содержаниях ПАУ в осадках (менее 20 мг/кг), обнаружен незначительный разброс концентраций полиаренов по разрезу. Минимальные содержания ПАУ в слое 20-25 см соответствуют периоду 1990х гг., когда наблюдался значительный спад производства. В поверхностном слое концентрации ПАУ несколько выше, что связано как с частичным восстановлением промышленного производства, так и с появлением новых источников поступления ПАУ.

Отмеченная для многих водотоков общая закономерность повышения концентрации полиаренов в поверхностном слое обусловлена активным ростом транспортной нагрузки на водотоки. Это в равной степени относится и к автомобильному, и к водному транспорту.

В целом, исследованные реки и каналы характеризуются значительной пространственной и временной изменчивостью накопления ПАУ, связанной с инфраструктурным развитием района, где находится водоток. Временная динамика осложнена появлением нового мощного источника загрязнения – транспорта, не охваченного природоохранными мероприятиями, проводимыми в городе в последние годы.

#### Литература

1. Вредные химические вещества. Углеводороды. Галогенпроизводные углеводородов. Справ. изд. Бандман А.Л., Войтенко Г.А., Волкова Н.М. и др.; под ред. В.А. Филова и др. Л.: Химия, 1990.
2. *Опекунов А.Ю., Мануйлов С.Ф., Шахвердов В.А., Чураков А.В., Куринный Н.А.* Состав и свойства донных отложений р. Мойки и Обводного канала Санкт-Петербурга // Вестн. С.-Петерб. ун-та. Сер. 7. 2012. Вып. 2. С. 65-80.
3. *Опекунов А.Ю., Митрофанова Е.С., Клоков Ю.И.* Техногенные илы рек и каналов Санкт-Петербурга // Сб. материалов XVI Международного экологического форума «День Балтийского моря» 18-20 марта 2015 г., Санкт-Петербург, изд-во ООО «Свое издательство», СПб., 2015. С. 18-21.
4. *Опекунов А.Ю., Митрофанова Е.С., Шейнерман Н.А.* Особенности техногенного осадконакопления в водотоках центральной части Санкт-Петербурга // Биосфера. 2014. Т. 6. № 3. С. 250-256.
5. *Опекунов А.Ю., Рыбалко А.Е., Спиридонов М.Л., Федорова Н.К.* Оценка геоэкологической ситуации в системе Ладожское озеро – р. Нева – Невская губа – восточная часть Финского залива по результатам изучения донных осадков // Концептуальные задачи геоэкологического изучения шельфа. СПб.: ВНИИОкеангеология, 2000. С. 135-144.
6. *Смола В.И.* ПАУ в окружающей среде: проблемы и решения. Ч. 1. М.: Полиграф сервис, 2013.

7. Шейнерман Н.А., Кудрявцева Т.П., Андреева З.А., Слепян Э.И. Полициклические ароматические углеводороды в донных отложениях рек и каналов г. Санкт-Петербурга // Жизнь и безопасность. 1997. № 2-3. С. 394-403.

8. Экологическая обстановка в Санкт-Петербурге: Аналитический обзор за 25 лет / Ред.: Д.А. Голубев, Н.Д. Сорокин. СПб.: ФормаТ, 2004.

## **ОПЫТ ВЫЯВЛЕНИЯ СЛАБОИНТЕНСИВНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ ДОННЫХ ОСАДКОВ (НА ПРИМЕРЕ ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ СЕВЕРА ЗАПАДНОЙ СИБИРИ)**

**А.Ю. Опекунов, Е.Г. Жувикина**

Санкт-Петербургский государственный университет, Институт наук о Земле,  
199178, Санкт-Петербург, 10-я линия В.О. 33-35. E-mail: a\_opekunov@mail.ru

При выполнении геоэкологических исследований и мониторинге далеко не всегда удается уверенно фиксировать слабо интенсивное химическое загрязнение окружающей среды тяжелыми металлами (ТМ). Это вызвано несколькими причинами:

- погрешностями определения микроэлементного состава, которые часто сопоставимы с приростом содержания, обусловленного техногенезом;
- крайне неравномерным распределением металлов после поступления их в окружающую среду вследствие различий в условиях миграции и аккумуляции;
- высокой дисперсией в содержании металлов в подстилающих породах (литогенной структуре ландшафтов).

Известно, что нефте- и газодобывающая промышленность является источником загрязнения окружающей среды органическими и неорганическими веществами, включая тяжелые металлы. Тундровые ландшафты характеризуются повышенными содержаниями Fe, Mn, Cu, а также высокой подвижностью этих и других металлов в составе органоминеральных комплексов. Ранее было показано, что в настоящее время на территории севера Западной Сибири выраженное техногенное воздействие отмечается только на локальном уровне. В региональном масштабе химический состав компонентов ландшафта близок к фоновым показателям [2].

Цель исследования – разработка методов выявления слабоинтенсивного химического загрязнения донных осадков водных объектов. Известно, что донные осадки являются надежным индикатором геохимической обстановки, обладая депонирующими свойствами к поллютантам [1, 3]. В задачи исследования входили: выявление основных природных факторов и оценка их влияния на формирование микроэлементного состава осадков, свертка геохимических данных и оценка уровня загрязнения рассматриваемой территории месторождений тяжёлыми металлами.

В работе проведено изучение содержания тяжёлых металлов в донных отложениях крупных и малых рек, стариц и озёр в пределах 12 лицензионных участков (ЛУ) нефтегазоконденсатных месторождений Тазовского полуострова, Надым-Пурского и Пур-Тазовского междуречий, а также вблизи Ново-Уренгойского газохимического комплекса (рис. 1). Всего было отобрано 196 проб донных осадков. Все они проанализированы в Центральной лаборатории ВСЕГЕИ методом ICP MS. Учитывая достаточно большой объем выборки, целесообразно применить статистические методы для выявления техногенной составляющей в концентрации ТМ.



**Рис. 1. Схема расположения исследованных лицензионных участков**

К основным природным факторам, определяющим формирование химического состава донных осадков, отнесены литогенный и фациальный. Литогенный фактор включает седиментогенный, отражающий связь содержания ТМ с гранулометрическим составом осадков, и вещественный, показывающий зависимость состава осадков от геохимии подстилающих четвертичных отложений. Фациальный фактор отражает зависимость от обстановок осадконакопления: аллювиальных, старичных, озерных и др.

Для оценки влияния седиментогенного фактора определялось среднее содержание ТМ в отложениях разных гранулометрических типов: мелкозернистые пески, илистые пески и илы. Ряд снижения концентрации ТМ, отражающих сорбционную способность разных гранулометрических типов, известен: илы > илистые пески > пески [1]. В нашем случае эта закономерность хорошо выражена для всех изученных металлов. Так, концентрации в илах Fe в 8 раз, Mn – в 6, Ni – в 6,5, Co в 5,5 раз выше, чем в песках.

Формирование химической структуры современных осадков обусловлено составом подстилающих четвертичных отложений. При проведении исследований были отобраны и проанализированы пробы верхнеоплейстоценовых озерно-аллювиальных 3-ей надпойменной террасы ( $la^3\Pi$ ), аллювиально-морских третьей ( $am^3\Pi$ ) и четвертой ( $am^4\Pi$ ) морских террас, а также голоценовых аллювиальных отложений ( $aIV$ ). Все они представлены глинами и суглинками. Было установлено, что в озерно-аллювиальных и аллювиальных отложениях содержание ТМ находится в пределах современного фона. Глины аллювиально-морских отложений 3-й морской террасы отличаются высокими концентрациями сидерофилов V, Cr, Co, Ni, повышены содержания халькофильных Zn и Cu. Отложения 4-й морской террасы характеризуются повышенными содержаниями халькофилов Cu, Zn, Pb, а также Ni. Таким образом, анализ вещественного фактора позволяет говорить о потенциальном влиянии аллювиально-морских верхнеоплейстоценовых отложений на содержание элементов в современных осадках.

Фациальный фактор отражает связь концентрации ТМ с типом водного объекта, характером ландшафта и широтной поясностью. Для оценки этого фактора использовались данные только по илистым осадкам, чтобы убрать влияние литогенного фактора. Сравнение средних с применением статистических критериев (Фишера и Стьюдента) показало отсутствие значимых различий содержания металлов в донных осадках рек, озер и стариц. Однако в распределении металлов наблюдалась зональность по типам ландшафтов и обводненности территории. Обводненные и заторфованные ландшафты низменных равнин Пур-Тазовского междуречья характеризуются активной миграцией Fe и Mn (например, Хадырьяхинский ЛУ). На окислительном барьере, в первую очередь, в реках, эти металлы в форме гидроксидов осаждаются, обуславливая очень высокие концентрации в донных осадках (Fe до 17%; Mn более 0,2%). Таким образом, фациальный фактор оказывает влияние в основном на концентрацию Fe и Mn. Распределение остальных элементов в большей степени зависит от литогенного фактора.

Следующий этап – оценка влияния вещественного фактора. Для выяснения роли вещественного фактора целесообразно провести зонирование территории месторождений по подстилающим породам:  $la^3\Pi$  и  $aIV$  – Пырейное, Береговое, Яро-Яхинское, Самбургское, Ево-Яхинское, а также территория НГХК;  $la^3\Pi$  в сочетании с  $am^4\Pi$  – Северо-Часельское, Хадырьяхинское, Западно-Песцовое, Юбилейное и Тазовско-Заполярное;  $am^3\Pi$  и  $am^4\Pi$  – Северо-Парусовое и Южно-Парусовое.

Проведенный выше анализ показал, что в районах залегания верхнеоплейстоценовых аллювиально-морских отложений четвертой и особенно третьей морских террас следует ожидать роста содержания в донных осадках V, Ni, Zn Cr, Co, Cu. Однако для проведения этой оценки необходимо снять влияние седиментогенного и фациального факторов. Первая задача решалась посредством расчета и применения переводных коэффициентов содержания металлов в песках ( $K_{pi}$ ) и илистых песках ( $k_{пий}$ ):

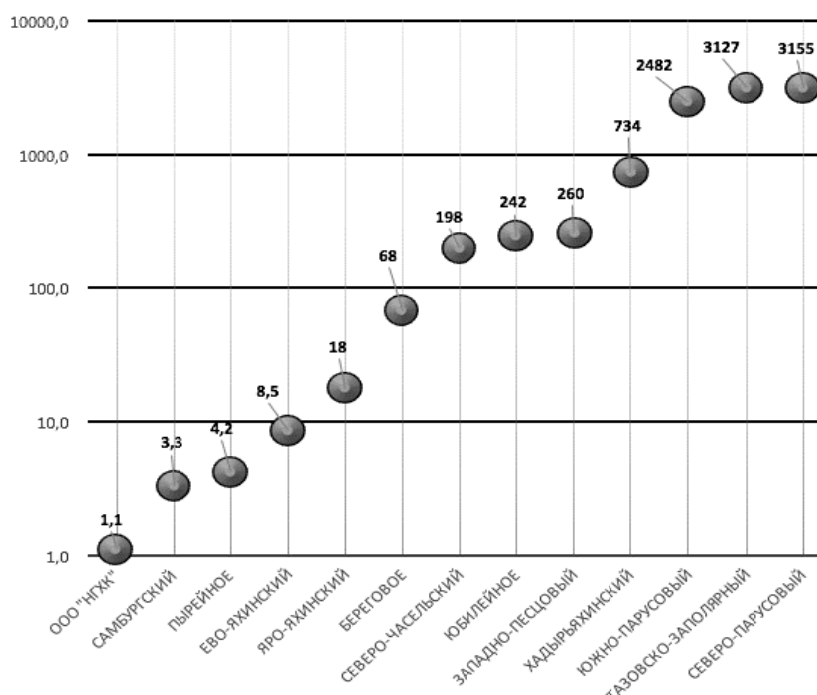
$$k_{ni} = \frac{x_{илиi}}{x_{ni}}, k_{mii} = \frac{x_{илиi}}{x_{mii}},$$

где  $X_{илиi}$  – среднее значение концентрации  $i$ -ого элемента в илистых осадках;  $X_{ni}$  и  $X_{mii}$  – средние значения концентрации  $i$ -ого элемента в песчаных и песчано-илистых осадках.

После расчета  $k$  все содержания металлов в песках и илистых песках перемножались на соответствующий переводной коэффициент, т. е. концентрации были приведены к илистому эквиваленту. После этого для оценки вещественного фактора были применены мультипликативные показатели среднего содержания металлов (произведение содержания металлов, деленное на  $10^9$ ) по каждому ЛУ. Чтобы в максимальной степени снять влияние фациального фактора (в основном его ландшафтную составляющую), из расчета мультипликативного показателя были исключены Mn и Fe, аккумуляция которых в осадках в основном обусловлена физико-химическими условиями тундровых ландшафтов.

С помощью мультипликативного показателя (МП) проведена свертка содержания металлов, позволяющая сравнивать их между собой (рис. 2). По значениям мультипликативного показателя в донных осадках выделилось три группы ЛУ. Каждая из них соответствовала выделенным ранее типам подстилающих четвертичных пород: отложения  $la^3III$  и  $aIV$  – МП составляет 1-10;  $la^3III$  и  $am^4III$  – МП 200-300;  $am^3III$  и  $am^4III$  – МП более 2000, что в целом отражает уровень содержания металлов в эти типах пород. Таким образом, после снятия влияния на химический состав осадков granulometрии и фациальных условий проявилась зависимость состава отложений от вещественного фактора. Повышенные значения МП по отношению к приведенным выше нормам (см. рис. 2), отмечаемые для четырех участков (Яро-Яхинский, Береговое, Хадырьяхинский и Тазовско-Заполярный), вероятнее всего, обусловлены техногенным фактором. Действительно, три из перечисленных месторождений (за исключением Хадырьяхинского) находятся в стадии разработки и подвержены загрязнению. Сложнее объяснить повышенное значение МП на Хадырьяхинском ЛУ (734 при фоновой величине 200-300): вероятно, определенную геохимическую роль здесь играет очень высокая заторфованность территории месторождения.

В целом исследования показали, что загрязнение донных осадков носит локальный характер и типично для водных объектов, используемых в хозяйственных целях или находящихся в непосредственной близости от промышленных площадок. Чаще в зоне влияния техногенеза наблюдаются повышенные концентрации Cu и Zn, реже V, Co, Cd и Pb. Локальный уровень загрязнения мало отражается на осредненном показателе МП для всего лицензионного участка в целом, что предопределяет ведущую роль природных факторов формирования химического состава донных отложений.



**Рис. 2. Значения мультипликативного показателя (МП) в донных осадках водных объектов ЛУ (по оси ординат – значение МП/10<sup>9</sup>)**

Таким образом, в процессе выполненных исследований выделены основные природные факторы и разработан алгоритм оценки их влияния на химический состав донных осадков водных объектов тундровых ландшафтов. Применительно к территории нефтегазоконденсатных месторождений севера Западной Сибири показано, что ведущими факторами формирования микроэлементного состава донных осадков являются природные механизмы дифференциации и аккумуляции осадочного материала. Загрязнение водных объектов в результате хозяйственной деятельности имеет локальную приуроченность.

### Литература

1. *Опекунов А. Ю.* Экологическая седиментология: учеб. пособие. – СПб.: Изд-во С.-Петерб. Ун-та, 2012. – 224 с.
2. *Опекунов А.Ю., Опекунова М.Г., Кукушкин С.Ю., Ганул А.Г.* Оценка экологического состояния природной среды районов добычи нефти и газа в Ямало-Ненецком автономном округе // Вестн. С.-Петерб. ун-та. Сер. 7. 2012. Вып. 4. С. 87-101.
3. *Янин Е.П.* Техногенные илы в реках Московской области (геохимические особенности и экологическая оценка): монография / Е.П. Янин. – М.: ИМГРЭ, 2004. – 95 с.

## **ВЛИЯНИЕ ГОРНОРУДНОГО ПРОИЗВОДСТВА НА СОСТОЯНИЕ ПОЧВ БАШКИРСКОГО ЗАУРАЛЬЯ**

**М.Г. Опекунова, Э.Э. Папян, В.В. Сомов**

Санкт-Петербургский государственный университет,  
199178, г. Санкт-Петербург, ВО, 10-я Линия, 33/35.  
E-mail: m.opekunova@mail.ru; elza.papyan@yandex.ru; vomos\_v\_v@mail.ru

Основные геоэкологические проблемы Башкирского Зауралья связаны с деятельностью предприятий горнорудного производства. Здесь находятся многочисленные медноколчеданные, марганцевые, медно-кобальтовые и полиметаллические рудопроявления, к числу которых относятся Сибайское, Юбилейное, Учалинское, Дергамышское, Подольское и другие месторождения. Горнорудные предприятия оказывают многостороннее воздействие на окружающую среду региона, включая ландшафтно-деструктивные, параметрические и эмиссионные нарушения. Значительная трансформация окружающей среды отмечается в районе г. Сибай, градообразующим предприятием в котором многие годы являлся Башкирский медно-серный комбинат (БМСК). В начале 2000-х гг. комбинат был реорганизован и на его основе были созданы новые предприятия – Сибайский филиал ОАО «Учалинский горно-обогатительный комбинат», ООО «Башмедь», ОАО «Башкирский медно-серный комбинат», далее по тексту называемые в целом БМСК.

Добыча и первичная переработка медноколчеданных руд Сибайского месторождения была начата в 1940-х гг. В состав БМСК вошли Сибайская обогатительная фабрика (СОФ) и Сибайский карьер, расположенные в черте города. Вблизи СОФ размещено хвостохранилище, состоящее из западного (267,5 тыс.м<sup>2</sup>) и восточного (847,5 тыс.м<sup>2</sup>) отсеков [5]. С 1996 г. эксплуатируется хвостохранилище, расположенное в пос. Калининское Баймакского района в 100 м от р. Карагайлы. За год с подотвальными и шахтными водами в р. Карагайлы (бассейн р. Урал) сбрасывается до 10 тыс. т поллютантов, включая сотни тонн тяжелых металлов (ТМ – Zn, Cu, Mn, Fe, Cd и др.) в ионной форме.

По данным Сибайского территориального управления охраны окружающей среды общий объем вскрышных пород на территории Сибайского комплекса достиг 600 млн. тонн [5]. Только в 2014 г. образовано 103,69 тыс. т. вскрышных пород, и в хвостохранилище размещено 1036166,1 т хвостов обогащения, образовавшихся при переработке руды на обогатительной фабрике. Доля отходов горнорудных предприятий в общем количестве отходов на территории городского округа г. Сибай в 2010-2014 гг. составляла от 41,7% до 99,9%, а доля выбросов в атмосферный воздух – от 17,7% до 45,2 %. ТМ и As поступают в почвы, вовлекаются в биологический круговорот, участвуют в латеральной и радиальной миграции, образуя техногенные ореолы рассеяния.



С 1998 г. сотрудниками кафедры геоэкологии и природопользования Санкт-Петербургского государственного университета проводятся комплексные геоэкологические исследования, включающие оценку воздействия горнорудных предприятий (БМСК, Учалинского ГОКа и «Башмедь») на природно-территориальные комплексы Баймакского и Хайбуллинского районов Башкортостана, а также территории городов Сибай и Учалы [1-3 и др.]. В комплекс исследований входит определение экологического состояния почв, основанное на сравнительном анализе валового содержания Cu, Zn, Fe, Mn, Pb, Cd, Ni, Co, Hg, Ti, Sc, Cr и As и подвижных форм Fe, Cu, Zn, Mn, Pb, Cd, Ni и Co, извлекаемых ацетатно-аммонийным буфером (pH=4,8), в почвах фоновых и антропогенно нарушенных природно-территориальных комплексов (ПТК). В качестве модельных площадей выбрано несколько участков, находящихся на разном удалении от объектов горнорудного производства – вблизи пос. Старый Сибай, пос. Калининское, на берегу оз. Култубан, а также территория г. Сибай. За условно-фоновую территорию принята площадь вблизи пос. Мукасово, расположенная в пределах естественной геохимической аномалии Красноуральско-Сибай-Гайской рудоносной зоны, но вне прямого воздействия горнорудных предприятий.

Таблица 1

**Валовое содержание некоторых ТМ в почвах Башкирского Зауралья, мг/кг.  
В числителе – среднее, в знаменателе – минимальное и максимальное значения  
(по [4] с добавлениями и уточнениями)**

| ПТК   | Cu                   | Zn                      | Ni                  | Fe                           | Mn                       |
|---|----------------------|-------------------------|---------------------|------------------------------|--------------------------|
| Фоновая территория, пос. Мукасово-Туркменево, Красноуральско-Сибай-Гайская рудоносная зона (n=43) | <u>61</u><br>30-197  | <u>215</u><br>83-517    | <u>32</u><br>16-74  | <u>33527</u><br>10605-106310 | <u>1333</u><br>324-10957 |
| пос. Калининское, приусадебные участки вблизи хвостохранилища БМСК (n=12)                         | <u>153</u><br>97-205 | <u>460</u><br>328-622   | <u>53</u><br>43-68  | <u>31 694</u><br>30138-33083 | <u>704</u><br>681-736    |
| Берег оз. Култубан, в 10 км к югу от СОФ и карьера БМСК (n=34)                                    | <u>263</u><br>92-520 | <u>229</u><br>50-630    | <u>82</u><br>42-160 | <u>34776</u><br>18865-72031  | <u>3073</u><br>900-15000 |
| г. Сибай, микрорайоны города (n=150)  | <u>248</u><br>83-632 | <u>487,3</u><br>224-762 | <u>49</u><br>38-99  | <u>34667</u><br>22173-44795  | <u>1338</u><br>669-6644  |
| Региональный фон  | 49                   | 223                     | 34                  | 37100                        | 1060                     |
| Фон для черноземов  | 25                   | 68                      | 45                  | -                            | -                        |
| Кларк по Р. Бруксу, 1986  | 70                   | 80                      | 100                 | 25000                        | 1000                     |
| ОДК   | 132                  | 220                     | 80                  | -                            | -                        |

Как показали проведенные исследования, почвы региона характеризуются аномальными валовыми концентрациями Cu, Zn и Fe, обусловленные природными геологическими условиями (табл. 1). Содержание подвижных

форм ТМ в почвах сильно варьируется (табл. 2). Оно определяется комплексом естественных ландшафтно-геохимических факторов, а также удаленностью от источников антропогенного загрязнения. В условиях степных геосистем Башкирского Зауралья наибольшее влияние на подвижность ТМ в горизонтальной структуре оказывает положение ПТК в элементарном геохимическом ландшафте и тип миграционных потоков. Наблюдается резкое изменение концентрации подвижных форм ТМ по профилю в рельефе. Так, максимальная концентрация Fe, Cu и Zn, в основном, приходится на верхние части склонов и вершины увалов. Содержание подвижных форм Pb и Ni в почвах различных ПТК практически не изменяется. Кроме того, большую роль играют метеорологические условия и кислотность почв. В целом, наблюдается тесная связь с количеством выпавших осадков и влажностью почв. В связи с этим, по годам на одних и тех же пробных площадках отмечаются существенные различия в концентрации подвижных форм ТМ (см. рис.). В почвах фоновой территории при нейтральной реакции почвенных растворов доля подвижных форм ТМ составляет в среднем 0,1-3% от их валового содержания.

В засушливые годы она уменьшается до 0,01%, а во влажный период может достигать 3-5%, что объясняется, прежде всего, деятельностью почвенных организмов и феноритмическими изменениями интенсивности поглощения химических элементов растениями.

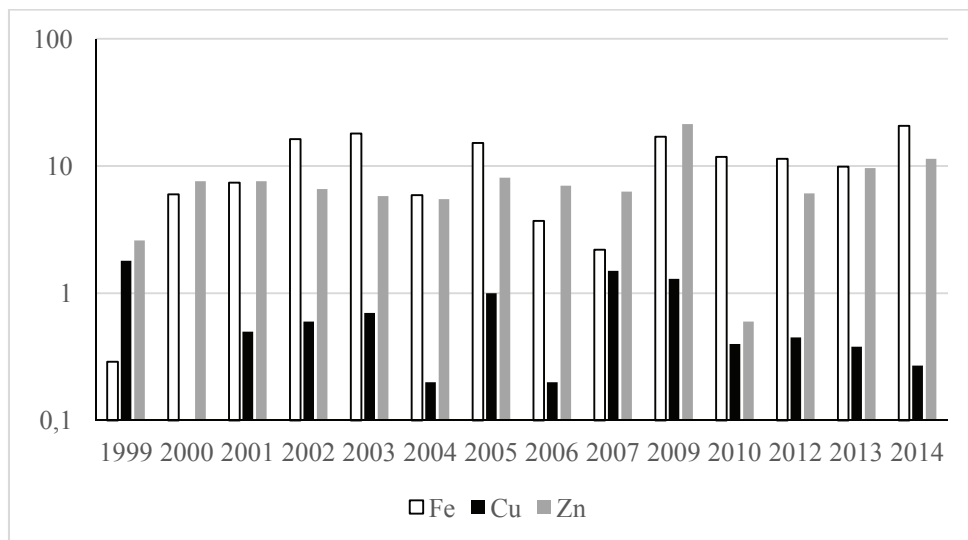
Таблица 2

**Содержание подвижных форм некоторых ТМ в почвах Башкирского Зауралья, мг/кг. В числителе – среднее, в знаменателе – минимальное и максимальное значения. (по [4], с добавлениями)**

| ПТК  | Cu                        | Zn                        | Fe                     | Mn                      | Pb                       |
|--|---------------------------|---------------------------|------------------------|-------------------------|--------------------------|
| Фоновая территория, п. Мукасово, Красно-уральско-Сибай-Гайская рудоносная зона (n=168) | <u>0,74</u><br><0,05-1,8  | <u>7,47</u><br><0,05-44   | <u>10,1</u><br>0,29-36 | <u>43,5</u><br>18,6-96  | <u>1,36</u><br>0,01-4,7  |
| пос. Калининское, приусадебные участки вблизи хвостохранилища БМСК (n=12)              | <u>2,2</u><br>0,4-5,4     | <u>65</u><br>42-108       | <u>0,8</u><br>0,2-1,8  | <u>52</u><br>34,4-84    | <u>2,1</u><br>1,7-3,1    |
| Берег оз. Култубан, в 10 км к югу от СОФ и карьера БМСК (n=63)                         | <u>1,73</u><br><0,05-12,3 | <u>23,8</u><br>0,7-77     | <u>30,1</u><br>0,6-322 | <u>109</u><br>32-297    | <u>1,72</u><br>0,02-3,4  |
| Берег оз. Талкас, 17 км к западу от г. Сибай (n=24)                                    | <u>0,47</u><br><0,05-2,5  | <u>4,53</u><br><0,05-35,8 | <u>17,0</u><br>0,9-75  | <u>80,1</u><br>12,4-352 | <u>1,05</u><br><0,05-2,7 |
| г. Сибай (n=150)   | <u>7,3</u><br>0,1-77      | <u>47,2</u><br>0,2-409    | <u>5,6</u><br>0,1-27   | <u>55</u><br>0,2-168    | <u>2,7</u><br>0,1-11,6   |
| Региональный фон   | 0,2                       | 9,7                       | 3,2                    | 29                      | 0,3                      |
| ПДК  | 3,0                       | 23,0                      | -                      | 140                     | 6,0                      |

По мере приближения к объектам горнорудного производства отмечается увеличение содержания в почвах ТМ, типоморфных для медноколчеданной минерализации. Как показали проведенные исследования, значительная техногенная трансформация почв наблюдается в районе БМСК – в г. Сибай, вблизи пос. Старый Сибай и пос. Калининское. Максимальные содержания

ТМ обнаружены в почвогрунтах на территории города: в микрорайонах вблизи обогатительной фабрики, Сибайского и Камаганского карьеров.



**Рис. Изменение содержания подвижных форм ТМ, извлекаемых ацетатно-аммонийным буфером (рН=4,8), в почвах фоновых ПТК вблизи пос. Мукасово, мг/кг**

Отличительной чертой антропогенного загрязнения в изученном районе является резкое увеличение содержания подвижных форм ТМ в почвах. Вблизи горнорудных предприятий доля их возрастает до 16-24 (иногда до 58) %, что обусловлено техногенными выбросами серы и сульфатов и подкислением почв до рН 4,3–5,9. В загрязненных почвах уровень содержания сульфатов в 26–185 раз превышает фоновое значение и в 1,5–11 раз – ПДК.

Высокие валовые концентрации Cu и Zn, превышающие ОДК в 3-6 раз, наблюдаются в почвах пос. Калининское вблизи хвостохранилища БМСК. Валовое содержание Zn и Cu в почвах приусадебных участков превышает уровень 3 ОДК, концентрация подвижных форм в 2-5 раз превосходит ПДК. Почвы коллективных садов, расположенных в санитарно-защитной зоне обогатительной фабрики БМСК, загрязнены As на уровне 1,1–1,8 ОДК, Cu – 1,2–2,4 ОДК, Zn – 1,6–2,6 ОДК.

В зоне влияния отвалов Сибайского карьера вблизи пос. Старый Сибай выявлено загрязнение почв пастбищных угодий и приусадебных участков Zn, Cu, Pb: концентрация подвижных форм достигает ПДК, валовое содержание – ОДК. В районе оз. Култубан, расположенного в 10 км к югу от отвалов карьера, валовое содержание Cu достигает 7 ОДК, а Zn – 6 ОДК. Концентрация подвижных форм этих металлов в почвах во влажные периоды составляет 3-4 ПДК.

Суммарный показатель загрязнения почв ( $Z_c$ ) на техногенно загрязненной территории соответствует категориям «чрезвычайно-опасная» и «опасная». В нескольких микрорайонах г. Сибай (пос. Южный 1, Южный 2 и в микрорайоне «Третьего магазина») значения  $Z_c$  достигают 122-288 и выходят за рамки оценочной шкалы опасности загрязнения почв ( $Z_{c_{\max}}=128$ ). При этом резко возрастает риск негативного воздействия на здоровье населения. Ситуация обостряется тем, что данные территории представляет собой микрорайоны частной застройки с приусадебными участками. На них выращиваются сельскохозяйственные культуры, которые потребляются в пищу, в основном, жителями этих же микрорайонов.

Таким образом, влияние горнорудного производства приводит к существенной трансформации почвенного покрова степных ПТК. Наряду с механическим нарушением и загрязнением рудными металлами происходит подкисление почвенных растворов, способствующее резкому увеличению подвижности ТМ и интенсивному вовлечению их в биогеохимический круговорот. Поскольку существует высокая вероятность загрязнения ТМ сельскохозяйственной продукции, необходим строгий контроль ее качества.

#### Литература

1. *Опекунов А.Ю., Опекунова М.Г.* Геохимия техногенеза в районе разработки Сибайского медно-колчеданного месторождения. Записки Горного института. 2013; 203:196-204.
2. *Опекунова М.Г., Алексеева-Попова Н.В., Арестова И.Ю., Грибалева С.В., Краснов Д.А., Бобров Д.Г., Осипенко О.А., Соловьева Н.И.* Тяжелые металлы в почвах и растениях Южного Урала. I. Экологическое состояние фоновых территорий // Вестн. С.-Пб. ун-та. Сер. 7. 2001. Вып. 4 (№ 31).
3. *Опекунова М.Г., Алексеева-Попова Н.В., Арестова И.Ю., Грибалева С.В., Краснов Д.А., Бобров Д.Г., Осипенко О.А., Соловьева Н.И.* Тяжелые металлы в почвах и растениях Южного Урала. Ч. II. Экологическое состояние антропогенно нарушенных территорий // Вестн. С.-Пб. ун-та. Сер. 7. 2002. Вып. 1 (№ 7).
4. *Опекунова М.Г., Сомов В.В., Сокульская Ю.С., Кукушкин С.Ю., Цапарина Л.Ю., Палян Э.Э.* Воздействие природных и антропогенных факторов на элементный состав растений Башкирского Зауралья / Биосфера. 2015. Т. 7. № 2. С. 181-198.
5. Отчет Сибайского территориального управления охраны окружающей среды о состоянии окружающей среды на территории городского округа г. Сибай Республики Башкортостан, Сибай, 2015.

## ОЦЕНКА УСТОЙЧИВОСТИ ЛИТИФИЦИРОВАННЫХ ПО ИНТЕГРАЦИОННОЙ МИНЕРАЛЬНО-МАТРИЧНОЙ ТЕХНОЛОГИИ ОБРАЗЦОВ УКРЕПЛЕННОГО ТЕХНОГЕННОГО ГРУНТА

**В.А. Пастухова, И.И. Подлипский, С.Ю. Жабриков**

Санкт-Петербургский государственный университет, Россия, 199034, Санкт-Петербург,  
Университетская набережная, 7/9. E-mail: pastoukhova@mail.ru

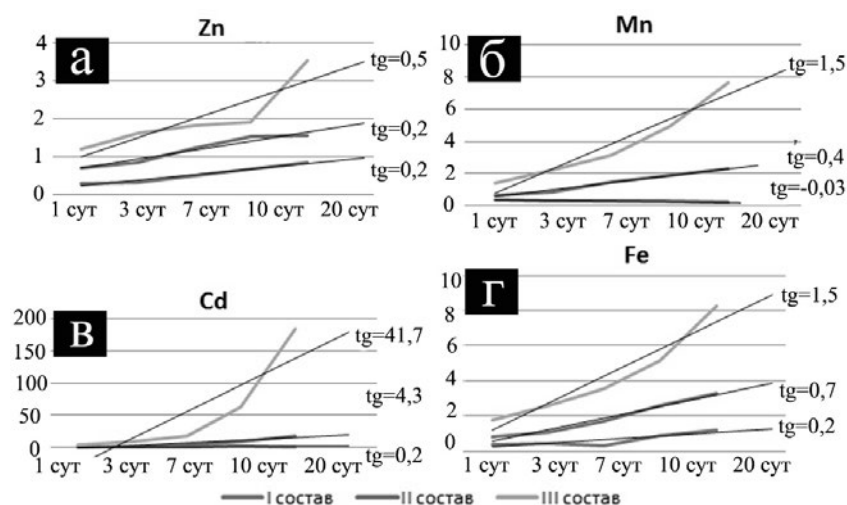
В решении проблемы образования отходов бурения, которые имеют огромные объемы, наиболее рациональным методом является их утилизация в производстве продукции. В процессе работы буровой в шламовом амбаре накапливаются не только непосредственно отходы бурения, но и хозяйственные стоки вахтового поселка. В результате, происходит смешение отходов, имеющих в своей основе различную структуру (буровые отходы (БО) – силикатная матрица, осадки сточных вод (ОСВ) – органическая), ввиду чего возникает проблема эффективности их совместной переработки. Решением этой проблемы является интегральная минерально-матричная технология (ИММ-технология) [1, 2]. Постановка модельного эксперимента по оценке эффективности применения ИММ-технологии заключалась в совместной переработке буровых отходов и осадков сточных вод, при этом, для выявления наилучшего соотношения компонентов смеси было сформировано три состава:

- I состав: 80% БО + 5% ОСВ;
- II состав: 70% БО + 15% ОСВ;
- III состав: 55% БО + 30% ОСВ.

Для определения наиболее стабильного состава образцы исследовались на наличие или отсутствие подвижных форм путем приготовления водных «вытяжек». Для обоснования границ применения технологии состав водных вытяжек образцов сравнивался с ПДК [3].

Регрессионный анализ – один из статистических методов моделирования на основе определенных данных и исследования их свойств. Он чаще всего используется для прогноза, анализа временных рядов, тестирования гипотез и выявления скрытых взаимосвязей в данных. Данный тип анализа оказался необходимым в описании тенденций выхода поллютантов в раствор в ходе модельного эксперимента, целью которого было дать характеристику поведения продукта переработки в окружающей среде.

В регрессионном анализе использовались средние значения содержания элементов по каждому составу, нормированные на ПДК, то есть, коэффициенты концентраций. Выводы о характере миграции элементов в раствор делались на основании графиков линейных трендов (рис. 1). Линия тренда отражает общее направление процесса, а уравнение, которое ее описывает, имеет вид:  $y = ax + b$ , где  $a$  – tg угла наклона линии тренда к оси  $OX$ , величина которого характеризует динамику увеличения концентрации.



**Рис. 1. Динамика изменения коэффициентов концентраций в зависимости от состава образца и времени экспозиции**

На основе полученных результатов было выделено 4 группы элементов, имеющих сходную динамику к увеличению концентрации с 1 по 20 суток:

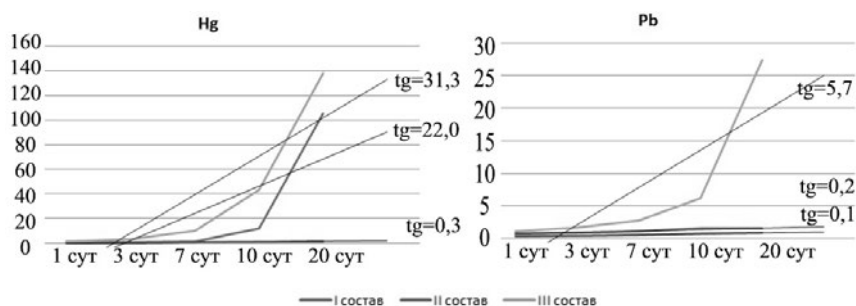
1. Cu, Zn;
2. Mn, Co;
3. Fe, Al, нефтепродукты;
4. Cd, Hg, Ni, Pb.

*Первую группу* элементов составляют медь и цинк, которые имеют практически идентичные линии трендов в пределах каждого из составов (рис. 1а). В образцах I состава на 20 сутки не зафиксировано превышение ПДК, но тенденция к повышению концентрации Cu и Zn, судя по линии тренда ( $tg=0,16$  (Cu);  $tg=0,15$  (Zn)), возможна при более длительном времени экспозиции. Однако, теоретически, после достижения определенной концентрации ионов Cu и Zn в растворе их содержание должно уменьшаться. Это объясняется тем, что в раствор переходят только те элементы, которые находятся на поверхности образца и взаимодействуют с водой, при этом система является открытой и происходит частичный вынос элементов (учет эффекта разбавления). Согласно гипотезе работы, основной объем поллютантов полностью иммобилизован, то есть прочно встроены в структуру образца и не переходят в раствор. Концентрация Cu и Zn в вытяжках образцов II состава постепенно растет до 10-х суток, после чего тенденция к увеличению падает ( $tg=0,25$  (Cu);  $tg=0,24$  (Zn)). Такая же динамика в период с 1 по 10 сутки характеризует образцы III состава, однако с 10 по 20 сутки отмечается резкое увеличение концентраций и превышение ПДК в 3,5 раза ( $tg=0,47$  (Cu);  $tg=0,50$  (Zn)). Интенсивность динамики видна на графике (рис. 1а), где наибольший угол наклона линии тренда отмечается к графику, описывающему III состав.

*Элементы второй группы*, которая была выделена в ходе регрессионного анализа, – это Mn и Co (рис. 1б). Их сходство обусловлено химическими особенностями – кобальт является типичным манганофилом. В вытяжках образцов I состава наблюдается небольшая тенденция к снижению концентрации данных ионов ( $tg=-0,03$  (Mn);  $tg=-0,03$  (Co)). Увеличение содержания Mn и Co в пробах по II составу носит линейный равномерный характер, а динамика перехода их в раствор немного интенсивнее, чем у элементов, которые были выделены в первую группу. К 20-м суткам концентрация Mn и Co в 2 раза превышает ПДК ( $tg=0,43$  (Mn);  $tg=0,42$  (Co)). По III составу отмечается интенсивная динамика перехода данных металлов в раствор и уже на 1-е сутки их концентрация превышает ПДК в 1,5 раз, а на 20-е сутки – почти в 8 раз ( $tg=1,52$  (Mn, Co)).

*В третью группу* было отнесены Fe, Al и нефтепродукты. Причины формирования данной ассоциации носят, вероятнее всего, физико-химический характер – эти вещества образуют коллоидные формы, следовательно, сходство динамики их перехода в раствор объясняется одними и теми же факторами. В целом, данная группа отличается более интенсивной динамикой изменения содержания в водной вытяжке (рис. 1г). Наиболее стабильным является, как и в предыдущих случаях, I состав, который характеризуется наименьшими углами наклона линии тренда ( $tg=0,20$  (Fe);  $tg=0,18$  (Al);  $tg=0,27$  (НП)). Менее устойчив II состав: к 20-м суткам содержание веществ, отнесенных к данной группе, превышает ПДК почти в 4 раза. Самый нестабильный III состав: уже на 3 сутки наблюдается превышение ПДК по Fe, Al и нефтепродуктам в 2 раза, а на 20-е концентрации их составляет более 8 ПДК.

*Четвертая группа* объединяет типичные элементы-органофилы – это Cd, Ni, Hg и Pb (рис. 1в). Вероятно, эта группа тяжелых металлов образует хелатные формы. Как известно, хелаты хорошо растворимы в воде, поэтому они могут участвовать в дополнительной капсуляции тяжелых металлов только в случае их локализации внутри структуры. Вытяжки I состава по Cd, Ni, и Pb вплоть до 20-х суток не превышают ПДК, по Hg на 20-е сутки концентрация составляет 1,5 ПДК. Как и в предыдущих случаях, линии тренда описывают общие тенденции к увеличению концентрации поллютантов на ближайшие сутки, однако динамика их для образцов I состава невелика ( $tg=0,23$  (Cd);  $tg=0,19$  (Ni);  $tg=0,34$  (Hg);  $tg=0,14$  (Pb)). Образцы II состава характеризуются интенсивной динамикой выхода в раствор Cd и Hg ( $tg=4,26$  (Cd);  $tg=22,01$  (Hg)) и относительной эффективностью капсуляции Ni и Pb ( $tg=0,50$  (Ni);  $tg=0,23$  (Pb)). В то время, как Cd и Hg уже на 7 сутки превышают ПДК в 4,5 и 1,5 раза соответственно, содержание Ni на 20-е сутки превышено относительно ПДК в 2,5 раза, а Pb в 1,5 раза. Линия тренда к графику содержания свинца характеризуется небольшим углом наклона, что, говорит о незначительном увеличении его концентрации со временем, следовательно, можно сделать вывод, что капсулирование данного поллютанта возможно и в пределах II состава (рис. 2).



**Рис. 2. Динамика изменения коэффициентов концентраций в зависимости от состава образца и времени экспозиции по элементам-органофилам**

Противоположная ситуация наблюдается по ртути. Ярво выраженные органофильные свойства способствуют активному хелатообразованию, и при дальнейшем растворении в водных вытяжках образцов II и III составов наблюдается превышение ПДК примерно в 1,5 раза уже на первые сутки, и к 20-м достигает 105 ПДК по II составу и 137 ПДК по III составу. Общие тенденции к повышению концентрации ртути по II и III составам обусловлено низкими прочностными свойствами образцов и активным растворением хелатов по трещинам и сколам образца, находящегося в водной среде.

На основе регрессионного анализа по данным водных вытяжек были сделаны выводы о динамике изменения содержания поллютантов в растворе в зависимости от состава образцов. Наименьшей динамикой выхода определяемых элементов в раствор отличаются образцы I состава, характеризующиеся наименьшим процентным содержанием ОСВ (5%). Образцы II состава представляют собой менее стабильную структуру, а результаты по образцам III состава демонстрируют практически полное отсутствие стабильности.

В результате переработки при правильно выбранной рецептуре мы получаем стабильную структуру, а материал, изготовленный с применением отходов, носит название грунт укрепленный техногенный (ГУТ). Это негорючий, безопасный, твердеющий геокомпозит с прогнозируемыми физико-механическими свойствами. ГУТ применяют при устройстве оснований и нижних слоев покрытий автомобильных дорог, промышленных площадок и аэродромов, а также при обустройстве геохимических барьеров (например, при рекультивации шламохранилищ, свалок и оборудовании полигонов для хранения отходов) [1].

#### Литература

1. Кнатько М.В., Кнатько В.М., Подлипский И.И., Камышев В.Ю. Утилизация нефтяных и нефтехимических отходов в производстве продукции путем оптимального сочетания различных видов отходов // Нефть. Газ. Новации. 2013. № 10. С. 75-80.



2. Пастухова В.А., Подлипский И.И. Технология совместной переработки различных типов опасных отходов // Тезисы докладов VI Межвузовской конференции по итогам практик. М., 2014. С. 222-223.

3. Пастухова В.А., Подлипский И.И., Кнатько М.В. Методика проведения эколого-геологической оценки совместной переработки отходов бурения и осадков сточных вод по интегральной минерально-матричной технологии // Школа экологической геологии и рационального недропользования: материалы XV межвузовской молодежной научной конференции. СПб., 2015. С. 217.

## **ЭКОЛОГО-ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ПРИЛЕГАЮЩИХ ТЕРРИТОРИЙ ПОЛИГОНА БЫТОВЫХ ОТХОДОВ (НАЦИОНАЛЬНЫЙ ПАРК «СМОЛЕНСКОЕ ПООЗЕРЬЕ»)**

**И.И. Подлипский**

Санкт-Петербургский государственный университет, Россия, 199034, Санкт-Петербург,  
Университетская набережная, 7-9. E-mail: primass@inbox.ru

В РФ накопилось 80 млрд. т. твердых бытовых отходов (ТБО), а также ежегодно прибавляется около 30 млн. т. бытового и 120 млн. т. промышленного мусора. Общая площадь занятых отбросами земель в целом по стране превышает 2 тыс. км<sup>2</sup> [2].

Бытовой мусор на полигоне представляют собой сложную, практически однородную, многофазную гетерогенную систему (техногенный свалочный грунт), состоящую из твердой (пластик, металлы, бытовые приборы и их части и т.д.), жидкой (продукты гидролиза, атмосферные осадки, отжимная жидкость – «фильтрат») и газовой (продукты биохимического и химического разложения органоминеральной массы) компонент, а также биотической (живой) составляющей.

С целью установления негативного воздействия свалочного тела полигона ТБО на состояние природных комплексов Национального парка «Смоленское Поозерье» было проведено натурное обследование территории, основной целью которого была эколого-геологическая оценка состояния территорий, прилегающих к зоне складирования отходов, по вторичным геохимическим ореолам рассеивания тяжелых металлов (Zn, Cu, Pb, Ni и др.) [3].

Для рациональной реализации описанного подхода полигон ТБО был рассмотрен автором как эколого-геологическая система [2] – «зона складирования (свалочное тело) – окружающая среда (прилегающие территории)», представляющая собой совокупность абиотических элементов литогенной сферы и биоты, включая человека, находящихся в функциональных отношениях и связях между собой, и образующих определенную целостность и единство [4]. В таких системах, центральную часть представляет собой природно-техногенное геологическое тело, сложенное техногенным биогеохи-

мически активным грунтом, процессы трансформации которого приводят к загрязнению окружающей природной среды жидкими, газообразными и твердыми продуктами разложения и компонентами свалочного грунта (отходов).

Изучаемый полигон расположен в нескольких км от центра пос. Пржевальское (Демидовский р-он, Смоленская обл.). Полигон представляет собой частично организованную свалку разнородных отходов (есть забор по периметру хозяйственной зоны и свалочного тела; частично территорию складирования окружает вал из местного суглинка и супеси; организован пункт пропуска), находящуюся на территории леса. По результатам проведенного визуального осмотра, свалочное тело полигона представлено бытовым и муниципальными отходами, местами пересыпанными строительным мусором.

Территория, прилегающая к полигону, представлена смешанным, (преимущественно хвойным) влажным лесом и разреженным естественным подлеском с явным доминированием рудеральных сорных видов растений (крапива двудомная, полынь обыкновенная и др.).

Для оценки состояния почво-грунтов была создана равномерная сеть пробоотбора, состоящая из 3-х профилей по 6 точек с шагом 200×200 м., пробоотбор почво-грунтов проводился с поверхности (0,0-0,2 м) – всего отобрано 18 проб грунта, которые перед анализом доводятся до воздушно-сухого состояния в сушильном шкафу, измельчаются и просеиваются через сито (с размером ячеек 1 мм). Полученные навески анализировались с использованием портативного рентгено-флуоресцентного анализатора X-Спец (модель 50Н, производитель ЗАО «Научные приборы») на содержание Zn, Cu, Pb, Ni, Cr и As (мг/кг).

С целью установления общих закономерностей разброса данных был использован комплекс математических методов обработки для гомогенизации, определения границ аномальности и доверительного интервала содержаний («правилом 3-х  $\delta$ »). Дальнейшая математическая обработка данных проводилась с использованием корреляционного и факторного анализов для установления общих характеристик литогеохимического поля.

Таблица 1

Таблица результатов описательной статистики для всей выборки (мг/кг)

|           | Фон [5] | Медиана | Q <sub>1</sub> * | Q <sub>2</sub> | Станд. отклонение | Коэф. вариации |
|-----------|---------|---------|------------------|----------------|-------------------|----------------|
| <b>Pb</b> | 3,0     | 23,9    | 20,0             | 31,1           | 6,4               | 26%            |
| <b>Zn</b> | 28,0    | 47,4    | 44,0             | 59,3           | 49,7              | 82%            |
| <b>Cu</b> | 13,5    | 24,0    | 11,9             | 27,5           | 9,8               | 50%            |
| <b>As</b> | 10      | 4,88    | 4,2              | 4,88           | 0,1               | 15%            |
| <b>Ni</b> | 10      | 15,6    | 10,5             | 19,7           | 9,2               | 55%            |
| <b>Cr</b> | 2,1     | 32,10   | 28,14            | 37,29          | 11,59             | 34%            |

\* – нижняя и верхняя квартиль.

По результатам проведенной оценки распределения содержаний тяжелых металлов и металлоидов в грунте было установлено (табл. 1): Pb, As и Cr имеют коэффициент вариации менее 50%, что может косвенно свидетельствовать об отсутствии современного привноса в систему этих элементов (загрязнения), либо о быстром и равномерно распределенном по территории их выносе (что маловероятно, в связи с неоднородностью ландшафтных условий). В площадном тренде распределения геохимических данных по Zn, Cu и Ni установлены довольно сильные возмущения, которые наиболее вероятно, связаны с современным техногенным воздействием.

Величина разброса значений (размах вариации) наибольшая для Zn, Ni, Cu и Cr, что может косвенно свидетельствовать о наличии постоянного (хронического) или единовременного (острого) загрязнения территории (табл. 1). По данным сопоставления медианных значений (как наиболее точно отражающих малые выборки) с фоновыми [5] было установлено значительное превышение для Zn, Cu, Cr и Ni (табл. 1). Превышение по содержанию мышьяка связано с разной величиной пределов обнаружения двух проведенных исследований и поэтому считается не обоснованным.

В связи с установленной неоднородностью исходной выборки, с целью установления зависимости распределения значений содержаний поллютантов в грунте разных ландшафтных условий был проведен факторный анализ транспонированной геохимической матрицы (в строках – содержания; в столбцах – точки опробования) (Q-метод факторного анализа) [1], по результатам которого можно сделать вывод о четкой дифференциации полученных аналитических результатов на две группы (рис. 1).

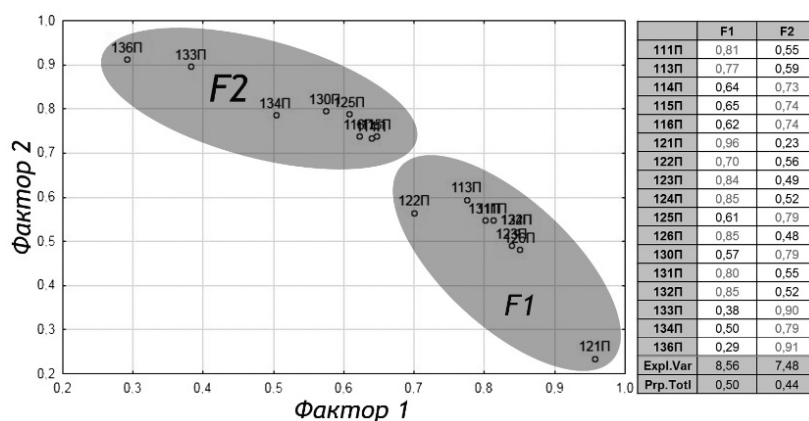


Рис. 1. Результаты проведенного Q-методом факторного анализа

Первый фактор указывает на сходство распределения элементов в точках, расположенных в центральной и южной частях территории исследования, которые орографически связаны с местными участками повышения

рельефа – холмами и грядами, сложенными флювиогляциальными песчаными и супесчаными грунтами. Второй фактор объединяет особенности распределения содержаний в точках, расположенных в северо-восточной и северо-западной частях оцениваемой области и связанные с моренными отложениями в понижения рельефа.

На основании полученных результатов, исходная выборка была разделена на две части, согласно приуроченности к определенному типу рельефа и гранулометрическому составу, особенности распределения содержаний элементов представлены на рис. 2.

Таким образом, установившееся равновесие в системе геохимически сопряженных ландшафтов в условиях аэрогенного (сжигание отходов) и гидрогенного (инфильтрация отжимной жидкости свалочных масс) загрязнения, промывного режима и высоких показателей коэффициентов фильтрации песчаных грунтов приводит к формированию литогеохимических аномалий в области распространения субквальных ландшафтов (подножия склонов, западины, ложбины и т.д.). В области распространения элювиальных ландшафтов, обладающих высоким ассимиляционным потенциалом, связанным с активным промывным режимом и низкой адсорбционной емкостью грунтов, формируются провалы в геохимическом площадном тренде. Ярким свидетельством установленных закономерностей являются особенности распределения элементов в разных типах грунтов на прилегающих территориях полигона бытовых отходов пос. Пржевальское (рис. 2).

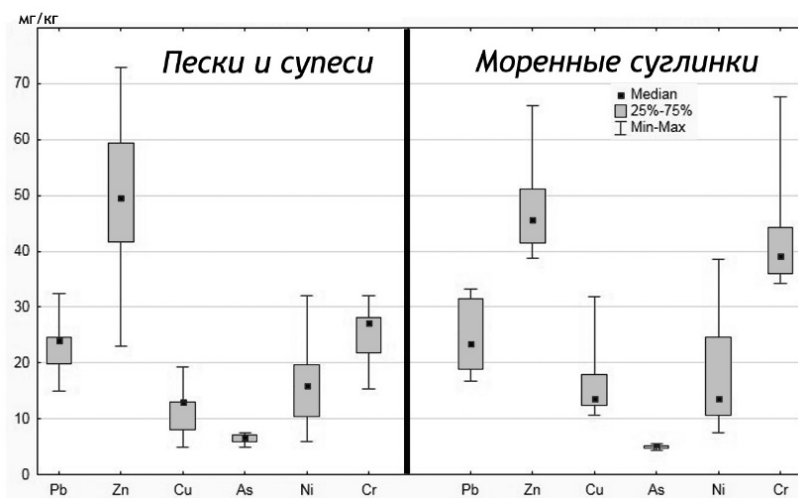
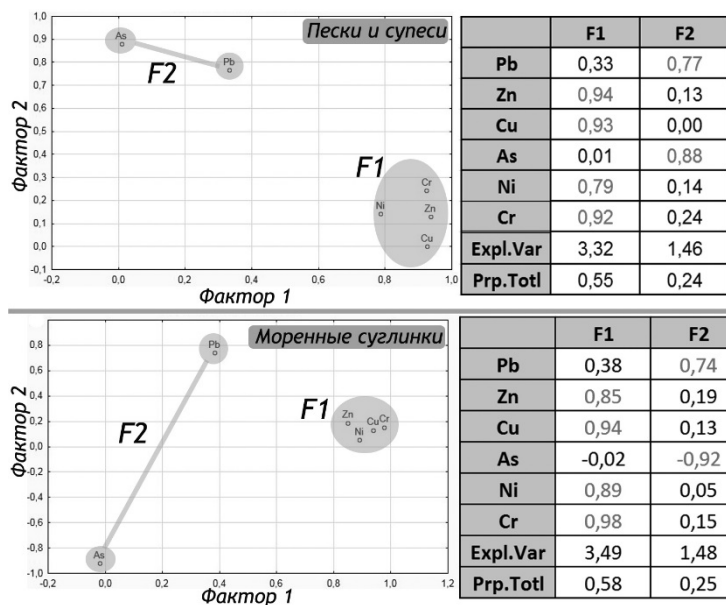


Рис. 2. Диаграммы размаха содержаний элементов в различных грунтах

Установленный факт низкоинтенсивного загрязнения всей площади прилегающих территорий полигона ТБО (кроме точки №121П, расположенный вблизи зоны складирования у перекрестка дорог, по которым привозят отходы) подтверждается данными факторного анализа выборок, составлен-

ных по типам подстилающих пород (рис. 3). Получение сходных результатов (у двух выделенных факторов практически идентичные абсолютные значения и процент дисперсии) свидетельствует, вероятнее всего, о равномерном аэрогенном происхождении загрязнения прилегающей территории полигона, проявившемся вследствие постоянного преднамеренного сжигания отходов в области складирования.



**Рис. 3. Результаты факторного анализа двух выборок (по типам подстилающих грунтов)**

В условиях активной миграции поллютантов в местах распространения песчаных и суглинистых пород высока вероятность возникновения скоплений (повышений концентраций до опасных, для здоровья человека, пределов) в областях геохимических барьеров, например, в краевых зонах болот, являющихся местами естественного накопления дренажных вод. В связи с тем, что территория национального парка «Смоленское Поозерье» традиционно у местных жителей является местом отдыха, а также сбора дикоросов, грибов и ягод – загрязнение грунтов до уровней превышающих ПДК крайне опасно.

В качестве возможного продолжения исследований можно рассмотреть вариант организации системы стационарных пунктов наблюдения за состоянием компонентов окружающей природной среды – систему эколого-геологического мониторинга (почвы, грунтовые и поверхностные воды, растения, органы и ткани живых организмов) в зоне потенциального воздействия свалочного тела полигона ТБО и в местах распространения геохимических барьеров.

## Литература

1. *Ворошилов В.Г.* Методика выявления структуры аномалий геохимических полей рудных месторождений // Известия Томского политех ун-та. 2004. Т. 307. № 2. С. 55-61.
2. *Подлипский И.И.* Эколого-геологическая характеристика полигонов бытовых отходов и разработка рекомендаций по рациональному природопользованию: Автореф. дис. канд. геолого-минералогических наук. СПб.: Изд-во СПбГУ, 2010. 22 с.
3. *Подлипский И.И.* Методика эколого-геологической оценки территории полигона бытовых отходов (пос. Пржевальское, Смоленская область) / Материалы IV международных чтении памяти Н.М. Пржевальского: «Творческое наследие Н.М. Пржевальского и современность». Смоленск: Изд-во «Манжета», 2014. С. 120-123.
4. *Подлипский И.И.* Полигон бытовых отходов как объект геологического исследования // Вестник СПбГУ. 2010. Сер. 7. Вып. 1. С. 15-31.
5. *Подлипский И.И.* Методика эколого-геологической оценки ртутного загрязнения оз. Лошамье (национальный парк «Смоленское Поозерье», Смоленская область) / Материалы IV международных чтении памяти Н.М. Пржевальского: «Творческое наследие Н.М. Пржевальского и современность». Смоленск: Изд-во «Манжета», 2014. С. 116-119.

## АНАЛИЗ СОВМЕСТНОЙ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОЙ МИГРАЦИИ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В ГРУНТАХ

**И.В. Романова, В.А. Королев**

ФГБОУ ВПО «МГУ имени М.В. Ломоносова», 119991, Москва, Ленинские горы, 1, геологический факультет. E-mail: romirv@mail.ru, korolev@geol.msu.ru

В связи с возрастающими объемами загрязнения геологической среды различными токсикантами остро стоит вопрос о разработке эффективных методов очистки грунтов от загрязнений с целью экологического восстановления техногенно-нарушенных территорий [2].

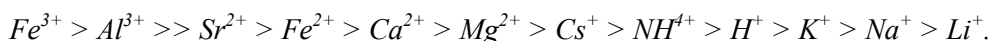
Одним из таких методов является электрокинетическая очистка грунтов от загрязнений. Этот метод основан на электрокинетических явлениях, возникающих в грунтах под действием постоянного электрического поля: электроосмосе, электрофорезе, электромиграции и др. Электроосмос и электромиграция (или ионная миграция) являются основными явлениями, используемыми в очистке [3, 4]. При этом сама идея их использования проста и очевидна: создается электрическое поле и вызываемый им направленный электроосмотический поток поровой влаги увлекает с собой и ионы (ионные комплексы) токсикантов, находящихся в поровом растворе. При этом из грунта выводятся токсичные растворимые элементы-загрязнители.

Среди различных токсикантов в грунтах весьма широко распространены тяжелые металлы, оказывающие на экосистемы негативное воздействие. К настоящему времени факторы, влияющие на их электрохимическую подвижность относительно хорошо изучены [4, 6]. Однако остается слабо исследованным вопрос об их совместной электрохимической миграции. Между

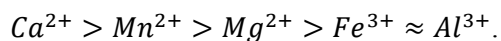
тем, очень часто грунты бывают загрязнены не одним металлом, а целым комплексом тяжелых металлов, поэтому необходимо знать их совместное влияние при электрокинетической очистке. Изучению данного вопроса при совместном загрязнении грунта медью и цинком и посвящена настоящая работа.

Эффективность очистки грунтов электрокинетическими методами напрямую зависит от скорости электроосмоса и ионной миграции. В общем случае, электроосмос наиболее интенсивно будет осуществляться в таких грунтах, где выше значения электрокинетического потенциала, диэлектрической проницаемости порового раствора, и ниже его вязкость. На скорость миграции большое влияние оказывают химико-минеральный состав, влажность грунта, состав обменных катионов и особенности двойного электрического слоя, определяющие количество адсорбированных и, соответственно, малоподвижных ионов.

В целом, чем выше заряд иона и чем меньше степень его гидратированности, тем сильнее он будет адсорбироваться центрами адсорбции грунта [3]. По способности поглощаться и удерживаться в обменном комплексе грунта катионы, как известно, образуют следующий ряд [1]:



Теоретически по степени подвижности в электрическом поле ионы должны образовывать ряд, противоположный приведенному выше, поскольку прежде чем вовлекаться в электроосмотическое течение ион должен десорбироваться. Однако, как указывалось ранее, электрохимическая подвижность ионов сильно изменяется в зависимости от различных факторов и особенностей грунтов. Так, ряд исследователей [5] выделили, например, следующий ряд электрохимической подвижности ионов металлов:



Стоит учитывать также, что, даже в случае проведения экспериментов на одном и том же грунте, результаты могут быть отличными, т.к. они, кроме прочего, зависят еще и от режима проведения электрохимических испытаний (проточный или непроточный вариант). В наших исследованиях применялся проточный вариант, т.е. изучалось электрохимическое выщелачивание ионов тяжелых металлов.

Методика наших исследований состояла в следующем. Изучалось совместная электрохимическая подвижность ионов меди и цинка. Испытания электрохимической подвижности Cu и Zn проводились на образцах моренного суглинка четвертичного возраста нарушенного сложения с влажностью 34,5% в течение 12 часов электрохимического выщелачивания. Эксперимент проводился в электроосмотической ячейке проточного типа в режиме электрохимического выщелачивания при постоянном притоке анолита (воды) со стороны анода и отвод электроосмотического фильтрата (католита) из катодной камеры. При этом положения резервуара с анолитом и капилляра, отво-

дящего католит, подбирались таким образом, чтобы избежать возникновения гидростатического напора; иными словами, любое движение жидкости в образце происходило, главным образом, за счет электрокинетических, а не гидродинамических явлений.

Подготовка образцов представляла собой приготовление грунтовой пасты нарушенного сложения. В наших опытах для ее приготовления использовались различные растворы: дистиллированная вода, раствор сульфата меди, раствор сульфата цинка в концентрациях 0,05н и смесь данных растворов в соотношении 1:1. Приготовленная грунтовая паста, замешанная на соответствующем растворе и содержащая известное количество изучаемых тяжелых металлов, выдерживалась до установления в грунте физико-химического равновесия. Затем она загружалась в испытательную электроосмотическую ячейку, прикладывалось электрическое напряжение и в течении 12 часов проводилось электрохимическое выщелачивание тяжелых металлов. По завершении электрохимических испытаний образец извлекался из ячейки, разрезался по длине (или по направлению миграции ионов) на равные части. После этого проводился химический анализ каждой части образца: с помощью спектрометрического метода определялась концентрация ( $C_i$ ) меди и цинка, а затем строились диаграммы перераспределения того или иного элемента в образце от анода к катоду (рис.1,2). Величина концентрации ионов тяжелых металлов ( $C_i$ ) пересчитывалась в безразмерную относительную концентрацию ( $C$ ), путем ее деления на исходную ( $C_0$ ):  $C = C_i/C_0$ .

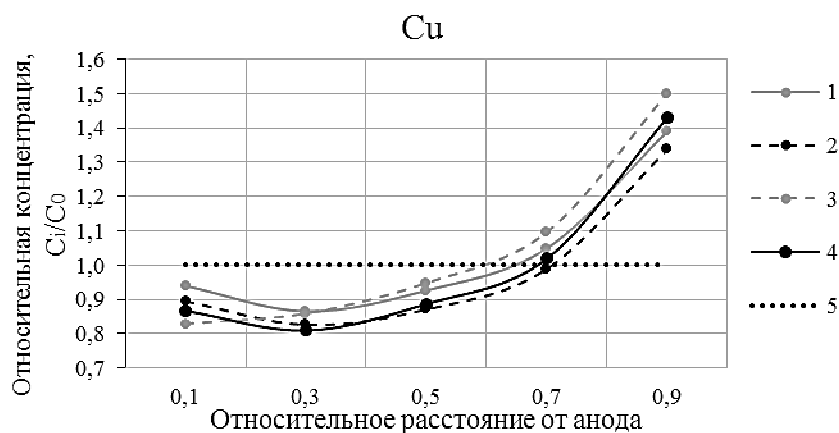
Результаты выполненных исследований представлены на рис.1 и 2. На рис.1 горизонтальная линия (5), соответствующая отношению  $C_i/C_0=1$ , означает, что концентрация ионов в образце соответствует исходной. При этом, если кривая перераспределения ионов (кривые 1-4) опускается ниже этой горизонтальной линии, это означает, что концентрация в этой части образца становится меньше относительно исходной, а если выше – то, соответственно, больше.

Исходя из теоретических представлений известно, что анодная часть образца грунта должна лишаться ионов металлов ( $Cu^{2+}$  и  $Zn^{2+}$ ), а катодная – наоборот, обогащаться ими. Полученные нами данные в целом соответствуют этим теоретическим представлениям: ионы меди, и цинка перераспределяются из анодной области в катодную. Но получаемая зависимость является нелинейной.

Все графики (рис.1) имеют восходящую форму кривых: концентрация металлов в анодной зоне образца уменьшается, а в катодной – увеличивается за счет перераспределения. Если сравнивать электрохимическую миграцию меди в исходном образце (кривая1), с привнесённой медью (2), цинком (3) и полиметаллическим загрязнением (4), следует отметить, что графики имеют разный наклон кривых. График, отвечающий опыту, проведенному с совместным привнесением меди и цинка (кривая 4) круче остальных. В этом случае анодная и прианодная части более эффективно очищаются от меди, средняя и прикатодная – хуже, но относительная концентрация близка к той, что наблюдается в опыте с только медным загрязнением (2). Катодная зона в случае



совместного нахождения в грунте меди и цинка более обогащается медью, чем при загрязнении одной лишь медью.



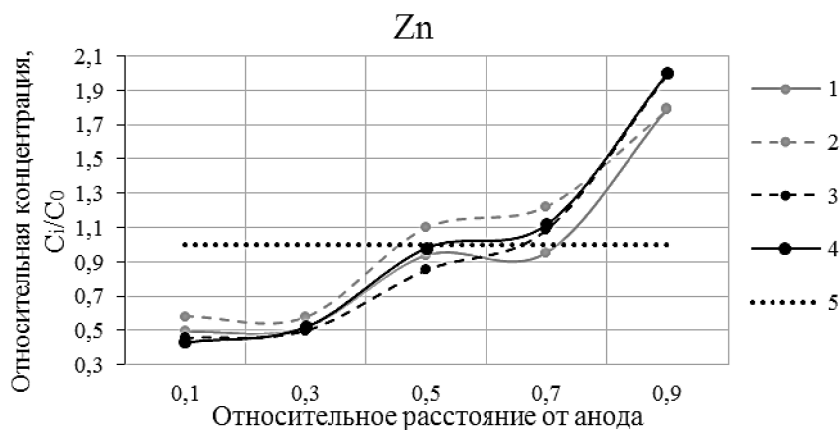
**Рис.1. Электрoхимическое перераспределение меди по длине образца:**  
 1 – грунтовая паста с дистиллированной водой; 2 – с раствором CuSO<sub>4</sub>;  
 3 – с раствором ZnSO<sub>4</sub>; 4 – со смесью растворов CuSO<sub>4</sub> и ZnSO<sub>4</sub>;  
 5 – начальная концентрация

Таким образом, можно сделать вывод о том, что привнесение в грунт цинка интенсифицирует электрoхимическую миграцию меди – концентрации меди в анодной и прианодной зонах становятся ниже, а в катодной зоне – выше по сравнению с опытами, отвечающим исключительно медному загрязнению.

Аналогичная ситуация наблюдается при рассмотрении электрoхимической миграции цинка (чёрные линии на рис. 2): кривые имеют нелинейный восходящий вид, но, по сравнению с графиками перераспределения меди, имеют существенно больший наклон. Это означает, что электрoхимическая миграция цинка идет более интенсивно, чем меди в одних и тех же условиях эксперимента.

Снова сравнивая опыты с монометаллическим цинковым загрязнением образца и полиметаллическим, при внесении в грунт и меди, и цинка, можно говорить о различной интенсивности процесса перераспределения цинка (рис. 2). Так анодная часть лучше очищается в опыте №4, прианодная отвечает приблизительно одинаковым изменениям в концентрации; средняя же часть более эффективно очищается в случае внесения только цинка (кривая 3). В прикатодной и катодной частях образцов графики практически сливаются в один, однако, в последнем опыте (кривая 4) концентрация изменяется относительно исходной несколько сильнее. Таким образом, более интенсивно электрoхимическая миграция цинка проходит в случае его совместного

с медью нахождения в грунте, что означает более интенсивный процесс перераспределения в случае полиметаллического загрязнения грунта.



**Рис. 2. Электрохимическое перераспределение цинка по длине образца:**  
 1 – грунтовая паста с дистиллированной водой; 2 – с раствором CuSO<sub>4</sub>;  
 3 – с раствором ZnSO<sub>4</sub>; 4 – со смесью растворов CuSO<sub>4</sub> и ZnSO<sub>4</sub>;  
 5 – начальная концентрация

Такие закономерности, вероятно, можно объяснить синергетическим эффектом – взаимным влиянием ионов тяжелых металлов, в данном случае Cu и Zn, обладающих разной физико-химической и электрохимической активностью (разными числами переноса ионов).

Следовательно, можно заключить, что на электрохимическую миграцию ионов тяжелых металлов в грунтах влияет множество факторов, один из которых – присутствие ионов других тяжелых металлов в рассматриваемом грунте. По результатам проведенных испытаний можно сделать вывод о том, что при совместном нахождении в грунте цинка и меди процесс их перераспределения идет более интенсивно, чем в случае монометаллического загрязнения грунта. Таким образом, присутствие в грунте цинка положительно сказывается на электрохимической миграции меди, а нахождение меди – на процесс перераспределения цинка.

#### Литература

1. Грунтоведение // Под ред. В.Т. Трофимова. – 6-е изд., перераб. и дополн. (серия «Классический университетский учебник») / В.Т. Трофимов, В.А. Королёв, Е.А. Вознесенский и др. – М.: Изд-во МГУ и «Наука», 2005. 1024 с.
2. Королёв В.А. Очистка грунтов от загрязнений. – М.: МАИК «Наука / Интерпериодика», 2001. 365 с.

3. *Королев В.А.* Электрохимическая очистка загрязненных грунтов // Геоэкология. 2003. №3. С. 226-236.

4. *Королев В.А.* Теория электроповерхностных явлений в грунтах и их применение. – М.: ООО «Сам полиграфист», 2015, 468 с.

5. *Королёв В.А., Самарин Е.Н., Шумкина Ю.А.* К вопросу об электрохимической миграции ионов в глинистых грунтах // Инженерные изыскания. 2012. № 12. С. 72-78.

6. *Romanova I., Korolev V.* Remediation of cuprum from clay soils // Electrokinetic remediation (EREM 2014): 13th International symposium on Electrokinetic remediation (September 7-10, 2014 – Malaga, Spain). – University of Malaga Malaga, Spain, 2014. – P. 119-121.

## **ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ РЕАБИЛИТАЦИЯ ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ ПОСЛЕ ЗАВЕРШЕНИЯ ДОБЫЧИ НА МЕДНОКОЛЧЕДАННЫХ РУДНИКАХ СРЕДНЕГО УРАЛА**

**Л.С. Рыбникова,<sup>1,2</sup> П.А. Рыбников<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> ФГБУН «Институт горного дела Уральского отделения Российской академии наук», 620075, г. Екатеринбург, ул. Мамина-Сибиряка, 58. E-mail: ribnikoff@yandex.ru

<sup>2</sup> ФГУП «Российский научно-исследовательский институт комплексного использования и охраны водных ресурсов», 620049, г. Екатеринбург ул. Мира, 2. E-mail: luserib@mail.ru

Одним из основных факторов, определяющих состояние водосборов на Среднем Урале, является разработка месторождений твердых полезных ископаемых. В наибольшей степени это проявляется в пределах бассейнов малых рек. Территории водосборов, на которых размещаются рудники, характеризуются значительными изменениями ландшафта, водного баланса, качества поверхностных и подземных вод. Состояние водных объектов является важнейшим показателем экологического благополучия территории.

В процессе ведения горных работ появляются новые формы рельефа техногенного происхождения, это карьерные выемки, зоны обрушения, отвалы. В районах сброса кислых дренажных вод на рельеф (чаще всего в болота) наблюдается опустынивание. Добыча полезных ископаемых, как правило, сопровождается водоотливом, при этом часть поверхностного стока переходит в подземный: во-первых, в пределах депрессионной воронки увеличивается инфильтрационное питание при снижении уровня подземных вод; во-вторых, в зонах обрушения и в пределах отвалов происходит практически полное поглощение атмосферных осадков. Кроме того, появляются новые водные объекты: для очистки шахтных вод перед сбросом в поверхностные водотоки создаются пруды-отстойники.

После завершения добычи и остановки водоотлива изменяется направление движения подземных вод, заполняется депрессионная воронка, уровень подземных вод повышается, затапливаются карьеры, на прилегающих территориях начинается подтопление. В пределах пониженных участков (зонах обрушения, карьерах) формируются зоны сосредоточенной разгрузки под-

земных вод. Ранее созданные техногенные объекты обычно сохраняются, изменяется степень их обводнения.

Горнодобычная деятельность в большинстве случаев приводит к различной степени экологической деградации водосборного бассейна, зачастую – к необратимым изменениям водных объектов. Наиболее неблагоприятными в этом плане являются медноколчеданные рудники: поскольку при отработке формируются кислые дренажные воды, часть водных объектов здесь полностью утрачивается и их восстановление невозможно. После завершения отработки экологическая реабилитация должна быть направлена на те водные объекты, для которых деградация не стала необратимой и которым можно обеспечить экологически приемлемые свойства и качества. Мероприятия по инженерно-экологическому обустройству водосборов после завершения добычи на медноколчеданных рудниках основываются на оценке текущего состояния водных объектов (природных и техногенных), выявлении тенденций и степени их изменения по сравнению с периодом отработки, оценке эффективности используемых методов очистки сточных вод.

Проблемы экологической реабилитации водных объектов проанализированы на примере затопленных медноколчеданных Дегтярского и Левихинского рудников (Свердловская область).

Формирование кислых шахтных вод при отработке медноколчеданных месторождений связано с окислением сульфидных минералов, находящихся в зоне оруденения, при понижении уровня подземных вод и поступлении кислорода с подземными водами на большие глубины [8]. На этапе постмайнинга состав шахтных вод по сравнению с периодом отработки изменяется: формируются более минерализованные воды, содержание большинства микрокомпонентов и редкоземельных элементов также возрастает, но при этом уменьшается содержание меди (таблица). Участки сосредоточенной разгрузки шахтных вод приурочены к зонам обрушения, где развивается техногенная трещиноватость, и, как следствие, увеличивается проницаемость и емкость массива, инфильтрационное питание возрастает в несколько раз, вплоть до полного поглощения атмосферных осадков. В зоне окисления основные минералы колчеданных месторождений (пирит, халькопирит, сфалерит, марказит) неустойчивы, это приводит к формированию техногенной сернокислотной коры выветривания в отвалах, открытых горных выработках, зонах обрушения. Здесь накапливаются водорастворимые вторичные сульфаты [1, 7], основными из них являются минералы, содержащие железо (такие как ярозит, кокимбит), а также семиводные сульфаты, аналогичные мелантериту, но с переменным соотношением четырех главных металлов – железа, меди, цинка, магния: это собственно мелантерит, бутит, госларит, эпсомит. Именно растворение сульфатов является причиной формирования кислых шахтных вод с большим количеством железа и невысоким содержанием меди после прекращения рудничного водоотлива и подъема уровня подземных вод.

После затопления отмечается существенно нестационарный гидрохимический режим: в первые годы происходит резкий рост содержания большинства компонентов (для Левихинского рудника это примерно 5-кратное

увеличение), затем начинается постепенное снижение показателей, которое может продолжаться десятки лет [5]. Так, на затопленном в 2003 г. Левихинском руднике содержание большинства показателей химического состава до настоящего времени (через 10 лет после прекращения водоотлива) в 2–3 раза выше, чем в период отработки (таблица).

Таблица

**Характеристика качественного состава шахтных вод медноколчеданных рудников на этапе отработки и после затопления**

| Показатели               | Левихинский рудник |             |              | Дегтярский рудник |            |
|--------------------------|--------------------|-------------|--------------|-------------------|------------|
|                          | отработка          | затопление  |              | отработка         | затопление |
|                          |                    | через 1 год | через 10 лет |                   |            |
| pH                       | 2,79               | 3,18        | 3,47         | 2,50              | 2,70       |
| Сухой остаток, мг/л      | 11 600             | 59 045      | 14 510       | 8 536             | 10 343     |
| SO <sup>4+</sup> , мг/л  | 5 978              | 25 670      | 9 954        | 5 574             | 5 916      |
| Mg <sup>2+</sup> , мг/л  | 340                | 1 876       | 703          | 200               | 409        |
| Al <sup>3+</sup> , мг/л  | 375                | 1093        | 603          | -                 | -          |
| Cu <sup>2+</sup> , мг/л  | 154                | 76          | 20           | 77                | 10         |
| Zn <sup>2+</sup> , мг/л  | 317                | 1 755       | 325          | 260               | 116        |
| Fe <sub>общ</sub> , мг/л | 730                | 4 560       | 1 373        | 551               | 995        |
| Mn <sup>2+</sup> , мг/л  | 47                 | 986         | 94           | 21                | 40         |
| Ni <sup>2+</sup> , мг/л  | 0,23               | 1,27        | 0,47         | 0,09              | 0,40       |
| Co <sup>2+</sup> , мг/л  | 0,17               | 7,80        | 1,49         | 0,07              | 0,30       |
| Cd <sup>2+</sup> , мг/л  | 0,79               | 3,50        | 0,34         | 0,59              | 0,12       |

Перечисленные процессы значительно осложняют прогноз качества шахтных вод после завершения отработки и выбор методов их очистки.

На Среднем Урале до середины 1950-х гг. кислые шахтные воды (pH=2÷3) обрабатываемых медноколчеданных рудников сбрасывались в близлежащие реки, ручьи или болота, выжигая растительность, которая во многих местах не восстановилась до сих пор. На отдельных рудниках (Дегтярский, Карабашский, Левихинский) в период 1939–1985 гг. была организована частичная очистка шахтных вод от содержащейся в них меди путем пропуска воды через железный скрап. По этой технологии на рудниках Уральского региона из шахтных вод было извлечено около 60 тыс. т меди – это порядка 1,5 тыс. т в год [2]. Однако при таком способе очистки не снижается содержание цинка и других токсичных металлов, таких как кадмий, селен, теллур, мышьяк и др.

Позднее для очистки кислых шахтных вод стал использоваться метод нейтрализации, основанный на обработке рудничных и подотвальных вод известковым молоком. В результате осаждаются тяжелые металлы, в первую очередь медь, цинк, кадмий, в виде их нерастворимых гидроксидов и основных карбонатов. Лучшее осаждение происходит при  $\text{pH}=8-9$ , при повышении  $\text{pH}$  может начаться растворение осадка. После отстаивания в специальных прудах нейтрализованная осветленная вода сбрасывается в поверхностные водные объекты. Реализация этого метода обезвреживания стоков требует значительного количества извести, например, на действующем Учалинском ГОКе используется около 30 т в сутки; столько же требуется сегодня для нейтрализации шахтных вод остановленного Левихинского рудника, при том, что при отработке рудника использовалось почти в 10 раз меньше [6]. В результате образуется несколько сот тысяч тонн в год шлама, что обуславливает необходимость устройства шламонакопителей большого объема.

Несмотря на отмеченные недостатки, нейтрализация кислых вод известковым молоком (или известковым раствором) как у нас в стране, так и за рубежом, является наиболее распространенным методом очистки больших объемов сточных вод. В 2001г., когда принципиально решалась проблема нейтрализации сточных шахтных вод Левихинского рудника, проводились консультации со специалистами из Голландии, однако предложенные ими методы либо не подошли по климатическим условиям (например, с использованием бактерий), либо оказались слишком дорогостоящими.

На откачку и нейтрализацию шахтных вод затопленных рудников правительство области ежегодно тратит 100 млн руб. В конце 2014 г. в региональное правительство был представлен проект строительства предприятия по комплексной переработке шламов и шахтных вод, а также проект опытной установки [4]. Ряд российских компаний также разработали аналогичные опытные установки, но промышленные образцы до настоящего времени отсутствуют. Перед реализацией представленного инвестиционного проекта необходимо оценить его экологическую безопасность, определить достоверность выполненных оценок содержания меди и цинка в шламах и целесообразность извлечения меди и цинка из накопленных шламов и шахтных вод, эффективность предложенных методов нейтрализации шахтных вод, отсутствие дополнительного экологического ущерба окружающей среде, особенно водным ресурсам.

В частности, содержание меди и цинка в шахтных водах за период затопления значительно снизилось – до 20 и 325 мг/л соответственно (таблица). При этом рекомендуемые промышленные содержания их составляют не менее 50 мг/л [3], что ставит под сомнение эффективность и возможность извлечения металлов. Кроме того, наличие в шахтных водах большого количества других токсичных элементов предьявляет особые требования к выбору методов очистки сточных вод и селективного извлечения металлов. В настоящее время степень очистки составляет от 85% для марганца до 98% по железу, с учетом нестационарного характера формирования загрязняющих

компонентов в шахтных водах и тенденцию к снижению их содержания (таблица), можно ожидать улучшения состояния поверхностных вод в районе Левихинского рудника.

**Выводы.** Экологическая реабилитация водных объектов в районе затопленных медноколчеданных рудников осложняется нестационарным гидрохимическим режимом. Растворение вторичных сульфатов затрудняет прогноз качества шахтных вод и выбор методов их очистки. После завершения добычи необходимо обеспечить своевременное выявление очагов сосредоточенной разгрузки кислых вод, качество которых после затопления, особенно в первые годы, значительно хуже, чем на этапе отработки.

#### Литература

1. *Емлин Э.Ф.* Техногенез колчеданных месторождений Урала. Свердловск: Изд-во УрГУ, 1991. 256 с.
2. *Зотеев В.Г., Зотеев О.В., Корнилков С.В.* Перспектива извлечения цветных металлов, выносимых на поверхность рудничными водами на отработанных месторождениях // Комбинированная геотехнология: Развитие физико-химических способов добычи: труды по материалам междунар. Конф. Магнитогорск: МГТУ, 2009. С. 76-81.
3. Методические рекомендации по изучению и оценке попутных вод месторождений полезных ископаемых в целях их использования в качестве гидроминерального сырья. М.: ВСЕГИНГЕО, 1985. 97 с.
4. Полезные отходы <http://eburg.mk.ru/articles/2014/12/17/poleznye-otkhody.html>
5. *Рыбникова Л.С., Рыбников П.А., Тютков О.В.* Оценка влияния затопленных медноколчеданных рудников на водные объекты Среднего Урала // Водное хозяйство России. 2014. № 6. С. 77-91.
6. Совершенствование технологии нейтрализации шахтных вод Левихинского рудника / Козин В.З., Колтунов А.В., Морозов Ю.П., Осинцев В.А., Русский В.В., Перестронин И.Н., Тюрина Г.Л. // Изв. ВУЗов. Горный журнал. 1997. № 11-12. С. 211-214.
7. *Nordstrom D.K.* Hydrogeochemical processes governing the origin, transport and fate of major and trace elements from mine wastes and mineralized rock to surface waters // Applied Geochemistry. 2011. № 26. P. 1777-1791.
8. *Wolkersdorfer C.* Water management at abandoned flooded underground mines. Fundamentals. Tracer tests. Modelling. Water treatment. Springer. 2008. 465 p.

## ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ УГЛЕВОДОРОДНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ ДИСПЕРСНЫХ ГРУНТОВ НА ИХ ВЛАЖНОСТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

**Г.А. Саркисов, И.Ю. Григорьева**

Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, геологический факультет,  
Ленинские горы д. 1, Москва, 119991, Россия. E-mail: ikagrig@inbox.ru, footfint@rambler.ru

При решении ряда как геоэкологических, так и инженерно-геологических задач в качестве объекта исследования в ряде случаев выступают дисперсные грунты, загрязнённые жидкими углеводородами (нефтью и продуктами её переработки). Наличие в грунтовой системе жидких углеводородов, изменяя состав их жидкого компонента, влечёт за собой и изменение свойств этих систем. Достаточно дискуссионным на сегодняшний день является вопрос о влиянии углеводородного загрязнения дисперсных грунтов на содержание в них различных категорий влаги. С одной стороны, отмечается исключительная важность знания о содержании воды в загрязнённом грунте, однако точных количественных оценок содержания той или иной категории воды в грунте крайне мало [1, 4, 6-8 и др.]. С другой стороны, совершенно нерешенным остаётся вопрос методики определения влажности загрязнённых грунтов. Центральной проблемой здесь является поиск оптимальных методик экспериментальной оценки энергии удержания жидкофазных компонентов (нефти и воды) и гидравлической проводимости.

В связи с этим авторами была поставлена цель количественной оценки влияния наличия жидких углеводородов на влажностные характеристики дисперсных грунтов. Для экспериментального исследования путем смешивания кварцевого песка и каолиновой глины были подготовлены модельные смеси, применение которых позволяет избежать влияния иных (зачастую трудно учитываемых) факторов, присущих природным грунтам. В качестве загрязняющего вещества было использовано дизельное топливо. Его выбор определялся, во-первых, отсутствием в дизельном топливе легколетучих фракций, что сводит к минимуму возможность изменения концентрации загрязняющего вещества в ходе эксперимента за счет испарения и, во-вторых, относительно низкой вязкостью дизельного топлива и отсутствия в нем высокомолекулярных фракций, что уменьшает вероятность неравновесных распределений воды и углеводородов в поровом пространстве.

Наиболее распространённые на сегодняшний день в лабораторной практике грунтоведения методы оценки различных категорий влаги в грунтах не могут применяться для вязких жидкостей и дисперсных систем типа «минеральный компонент грунта – вода – нефть». Сказанное справедливо как в отношении методов, предполагающих использование пористых мембран для отделения жидкой фазы от твердого компонента грунта под воздействием разряжения или давления (тензиометрия, мембранные прессы), так и для за-



вершающей стадии определения, которая заключается в высушивании образца до постоянной массы в термостате при +105°C (гравиметрический метод).

На наш взгляд, наиболее перспективным методом оценки влажности загрязнённых грунтов, следует признать центрифугирование. Оно использовалось в классическом грунтоведении и почвоведении для получения так называемых жидкофазных эквивалентов или категорий, позже в отечественных и зарубежных работах по оценке водоудерживания [2, 3]. Наибольшее развитие в отечественной физике почв метод получил в работах авторского коллектива под руководством А.В.Смагина. Взятый нами за основу метод центрифугирования был доработан с учетом особенностей загрязнённых жидкими углеводородами грунтов и апробирован на соответствующих моделях грунтовых смесей. Подробно особенности данного метода описаны в [9, 10], мы остановимся лишь на ключевых моментах.

Масса образца на каждой стадии центрифугирования за вычетом постоянной массы абсолютно сухого грунта и центрифужной пробирки дает количество удерживаемой воды. Разделив его на массу абсолютно сухого грунта, получаем значение влажности ( $W\%$ ) – массовой доли влаги, выраженной в процентах от массы абсолютно сухого грунта. Для контроля количества дренированной влаги, на дно пробирки помещали инертный адсорбционный материал для сбора всей дренированной жидкости. Для точного определения воды, содержаемое адсорбционного материала экстрагировали хлороформом, определяя точное количество нефтепродукта, вычитали его из общей потери жидкости, получая, таким образом, точное количество дренированной воды на каждой ступени центрифугирования.

После последней стадии центрифугирования, образец взвешивали и экстрагировали хлороформом в аппарате Сокслета, для точного определения количества нефтепродукта. Проэкстрагированный образец высушивали в термостате при температуре +105°C для достижения грунтом абсолютного сухого состояния. Тогда формула по определению влажности будет выглядеть следующим образом:

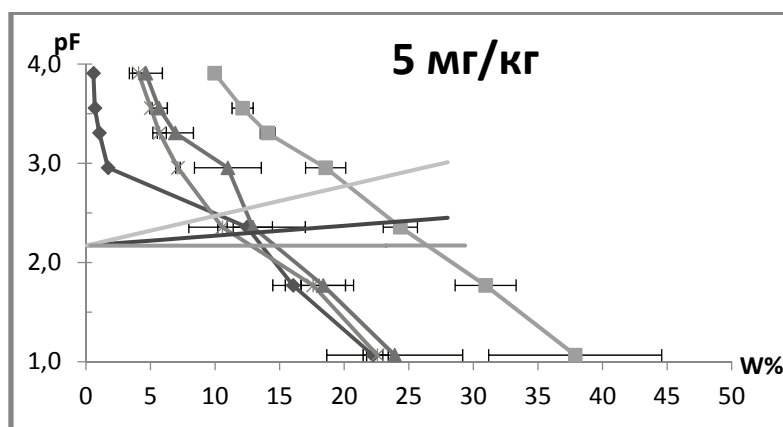
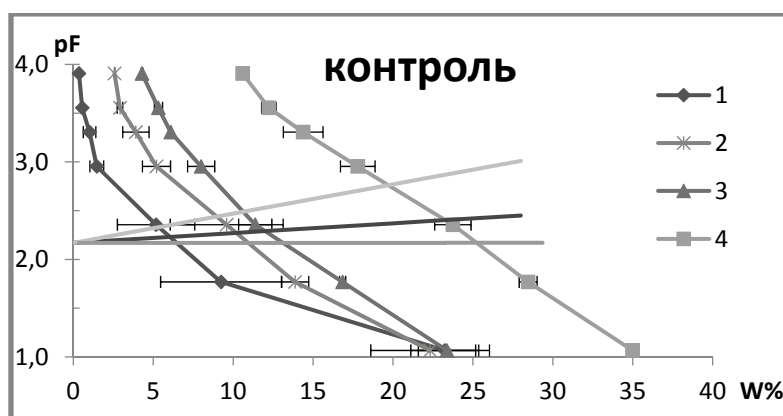
$$W_{zp} = (m_1 - m_2 - m_3) \cdot 100\%$$

$m_1$  – масса грунта с водой и нефтепродуктом,  $m_2$  – масса абсолютного сухого грунта,  $m_3$  – масса нефтепродукта.

По окончании эксперимента строили графики зависимости давления грунтовой влаги выраженного от влажности или так называемые основные гидрофизические характеристики (ОГХ) исследуемых грунтов. По методу «секущих» Воронина [11], можно оценить содержание той или иной категории влаги, получая влажностные характеристики исследуемых грунтов. Обратимся к анализу экспериментальных данных по водоудерживающей способности модельных грунтов и ее изменению под воздействием загрязнения (рис. 1).

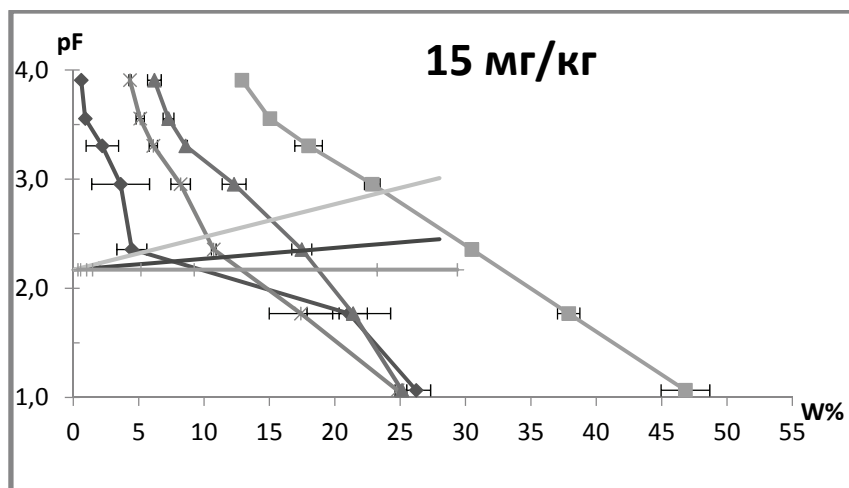
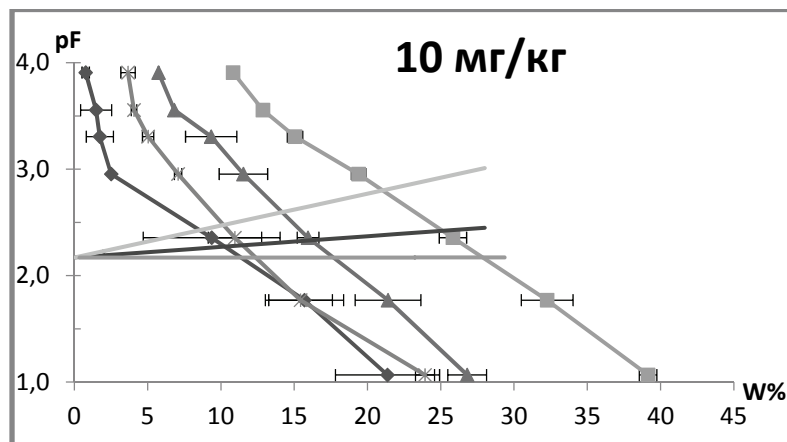
Графики на контроле (незагрязненные образцы) демонстрировали последовательное увеличение водоудерживания в ряду от песка к тяжелому

суглинку, что отражалось закономерным смещением линий ОГХ слева направо. Загрязнение в исследуемом диапазоне концентраций нефтепродукта 10 и 15 г/кг приводило к тенденции увеличения водоудерживающей способности (также смещению ОГХ слева направо), что противоречило представлениям ряда авторов [1, 5-7] о снижении способности грунта удерживать воду из-за гидрофобизации поверхности частиц и блокирования капиллярного эффекта. Однако можно на наш взгляд можно предположить несколько механизмов, проявления наблюдаемого нами экспериментально эффекта.



**Рис. 1. Зависимость давления грунтовой влаги от влажности (ОГХ) модельных грунтов:**

1 – песок, 2 – супесь, 3 – легкий суглинок, 4 – тяжелый суглинок; наклонные линии – «секущие» для МКСВ – максимальная капиллярно-сорбционная влагоемкость (верхняя) КВ – капиллярная влагоемкость (средняя) и ММВ – максимальная молекулярная влагоемкость (верхняя) по Воронину [ 2]; горизонтальные планки – стандартные отклонения



**Рис. 1. Зависимость давления грунтовой влаги от влажности (ОГХ) модельных грунтов (продолжение)**

Во-первых, это может быть связано с относительно небольшим количеством нефтепродукта (5-15 г/кг или 0,5-1,5%), который в данном случае выступает в качестве поверхностно-активного вещества (ПАВ). Так, в опытах [5] небольших количеств ( $C=0,1\%$ ) ПАВ-адсорбента было достаточно, чтобы каолин заметно увеличил водоудерживающую способность и стал сильно набухать в воде. Поэтому, внесение нефтепродуктов в небольших дозах, равно как и природная аккумуляция гидрофобных гумусовых веществ в черноземах не снижают, а увеличивают водоудерживание, расширяя диапазон устойчивого состояния тонкодисперсных частиц, которые реализуют свободную поверхностную энергию на взаимодействие с жидкой фазой. Во-вторых, пленки

нефтепродукта, образующиеся в исследуемой в дисперсной системе «минеральный компонент грунта – вода – нефть», препятствуют движению воды под действием центробежной силы, что способствует увеличению водоудерживающей способности загрязненных грунтов.

Таким образом, исходя из всего вышеизложенного, можно сделать следующие выводы:

1. Адаптированный для исследуемых грунтов метод определения влажности, основанный на модифицированном методе равновесного центрифугирования, может быть предложен для определения количественного содержания различных категорий воды в загрязнённом дисперсном грунте.

2. Проведенные на примере дизельного топлива экспериментальные исследования позволяют заключить, что жидкие углеводороды в концентрациях не выше 1% от массы грунта повышают его водоудерживающую способность.

3. Предположительным механизмом повышения водоудерживания при адсорбции жидких углеводородов является формирование дополнительного ПАВ-барьера, способствующего стабилизации тонкодисперсных частиц от коагуляции с возможностью связывания влаги за счет свободной поверхностной энергии, а также наличие пленок нефтепродукта, затрудняющего движение воды в дисперсной среде

#### Литература

1. Амосова Я. М., Трофимов С.Я., Суханова Н.И. Нефтезагрязнения почвы // Агрохимический вестник. – 1999. – № 5. – С. 37-38.
2. Глобус А.М. Экспериментальная гидрофизика почв. – Л.: Гидрометеорологическое издательство, 1969. – 355 с.
3. Гольдштейн М.Н. Механические свойства грунтов. – Изд. 2-е, переработ. – М.: «Стройиздат», 1971. – 368 с.
4. Григорьева И.Ю. Нефтяное загрязнение грунтов: инженерно-геологический и эколого-геологический аспекты. – Saarbrücken: LAP LAMBERT Academic Publishing GmbH & Co. KG(Германия), 2010. – 198 с.
5. Кин Б.А. Физические свойства почвы. – Л-М.: ГТТИ, 1933. – 264 с.
6. Колесников С.И., Казеев К.Ш., Вальков В.Ф., Азнаурьян Д.К., Жаркова М.Г. Биодиагностика экологического состояния почв, загрязненных нефтью и нефтепродуктами. – Ростов н/Д: Изд-во «Ростиздат», 2007. – 231 с.
7. Кураков А.В., Ильинский В.В., Котелевцев С.В., Садчиков А.П. Биоиндикация и реабилитация экосистем при нефтяных загрязнениях. – М.: Издательство «Графикон», 2006. – 336 с.
8. Лебедев, А.Ф. Почвенные и грунтовые воды/ АН СССР, Почв. ин-т им. В.В. Докучаева. – Изд. 4-е, посмертное. – М.- Л.: Изд-во АН СССР, 1936. – 315, [1] с., 1 л. портр. (фронт.).
9. Смагин А.В., Садовникова Н.Б. Влияние сильнонабухающих полимерных гидрогелей на физическое состояние почв легкого гранулометрического состава. – М.: МАКС Пресс, 2009. – 209 с.
10. Смагин А.В. Теория и методы оценки физического состояния почв // Почвоведение. – 2003. – № 3. – С. 328–341.
11. Шейн Е.В. Курс физики почв: учебник. – М.: Изд-во МГУ, 2005. – 432 с.

## ХАРАКТЕРИСТИКА УГЛЕВОДОРОДНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ И РЕКОМЕНДАЦИИ ПО УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЮ МОНИТОРИНГА ВБЛИЗИ НЕФТЕПЕРЕРАБАТЫВАЮЩЕГО ЗАВОДА

**Я.В. Сорокоумова, А.В. Расторгуев**

МГУ им. М.В.Ломоносова, геологический факультет, кафедра гидрогеологии;  
119992, ГСП-2, Москва, Ленинские горы. E-mail: yana1992@gmail.com

Вблизи объектов добычи и переработки нефти часто происходят разливы углеводородов, попадающих в том числе и в подземные воды. Часть углеводородов способна растворяться в воде и мигрировать на дальние расстояния.

Рассматриваемый пример связан с нефтеперерабатывающим заводом, который был построен еще в конце 30-х годов XX в. По имеющимся данным, загрязнение геологической среды продуктами производственной деятельности предприятия начинает отмечаться здесь еще с 1960-х гг. Сейчас, по данным мониторинга, содержание нефтепродуктов в подземных водах на некоторых участках превышает 50 мг/л, в среднем около 30 мг/л. Линза свободных нефтепродуктов на данном объекте имеет диаметр около 1 км, достигая мощности более 0,5 м в центральной части.

Объект расположен на левом берегу р.Москвы, на III надпойменной террасе. Рельеф изучаемого участка выровнен в процессе застройки. Геологическое строение и гидрогеологические условия рассматриваемой территории являются типичными для центральной части Московского региона. Сверху залегает толща обводненных песчано-глинистых отложений четвертичной и юрской систем (мощность до 10-15 м). Ниже, под толщей юрских глин (мощностью 10-15 м), залегает преимущественно карбонатная толща пород каменноугольной системы.

Для характеристики углеводородного загрязнения территории нефтеперерабатывающего завода был рассчитан удельный объем свободных нефтепродуктов в пласте ( $V_{of}$ ) – вычислен на основе интегрирования углеводородной фазы по вертикальной координате в пределах распространения свободных углеводородов [1].

$$V_{of} = n \int_{z_{ow}}^{z_{ao}} S_o(z) dz, \quad (1)$$

где  $S_o$  – насыщенность порового пространства нефтепродуктами,  $n$  – пористость,  $z_{ow}$  – положение границы раздела вода-нефтепродукты,  $z_{ao}$  – положение границы раздела воздух-нефтепродукты.

По результатам многочисленных исследований известно, что часть углеводородов может находиться в защемленном виде. Расчёт объёма нефтепродуктов в таком виде производился по зависимостям, предложенным Паркером [2], результаты представлены в таблице 1.

$$V_{ot} = nS_{or}F(z_{ow} - z_{ow}^{\min}); V_{og} = nS_{og}(z_{ao}^{\max} - z_{ao}) \quad (2)$$

где  $S_{or}$  – максимальная величина остаточной насыщенности защемленными углеводородами в насыщенной зоне;  $Z_{ow}^{\min}$  – исторический минимум положения границы раздела нефтепродукты/вода;  $S_{og}$  – остаточная насыщенность нефтепродуктов в ненасыщенной зоне;  $Z_{ao}^{\max}$  – исторический максимум положения границы раздела воздух/нефтепродукты с момента достижения нефтепродуктами текущего местоположения;  $F$  – (1 и 0, если мощность линзы мала);  $V_{ot}$  – объём защемлённых нефтепродуктов в насыщенной зоне;  $V_{og}$  – объём защемлённых нефтепродуктов в ненасыщенной зоне;  $n$  – пористость.

В соответствии с расчетами, на основе зависимостей, приведенных выше, с 2004 г. происходит снижение суммарных свободных и защемленных нефтепродуктов в подземной гидросфере, что соответствует программе минимизации утечек введенной на предприятии в последние годы. Продолжительность периода полураспада нефтепродуктов по этим данным может быть оценена на сегодняшний день в 4,8 лет.

Таблица 1

**Результат расчёта суммарного объёма нефтепродуктов**

| Год  | Объём защемленных нефтепродуктов, м <sup>3</sup> |                            | Объём свободных нефтепродуктов, м <sup>3</sup> | Суммарный объём нефтепродуктов, м <sup>3</sup> |
|------|--|----------------------------|--|--|
|      | в зоне полного насыщения                         | в зоне неполного насыщения |  |  |
| 2004 | 88540  | 24657                      | 977  | 114174   |
| 2007 | 40336  | 26518                      | 11575  | 78429  |
| 2011 | 14217  | 19574                      | 7022   | 40813  |

Далее была разработана модель потока подземных вод, которая с достаточной точностью отражает реальную ситуацию на объекте.

Учитывая гидрогеологические условия объекта – повсеместное распространение достаточно мощного водоупора – юрских глин, препятствующих проникновению загрязнения в нижележащие горизонты, модель создавалась однослойной, только на горизонт грунтовых вод.

В результате решения геофильтрационной задачи было получено распределение уровней и скоростей фильтрации грунтовых вод.

На базе геофильтрационной модели была реализована геомиграционная модель, для качественной оценки вклада процессов биоразложения в деградацию углеводородного загрязнения на территории НПЗ.

При анализе данных по химическому составу подземных вод, а также карты содержания растворенных нефтепродуктов была выделена лента тока, вдоль которой было изучено изменение химического состава по нефтепродуктам, нитратам, сульфатам и двухвалентному железу.

Сокращение концентраций нитратов, сульфатов и, собственно, нефтепродуктов в верхней части ленты тока и увеличение концентрации двухвалентного железа в нижней части ленты тока является индикатором наличия процессов биоразложения на данном участке, которые можно описать моделью акцепции электронов.

Далее было проведено моделирование протекания процессов биоразложения на территории предприятия. Для этого применялся пакет RT3D программного комплекса Processing Modflow.

В результате моделирования на период времени равный 10 годам (3650 суток) были получены прогнозные распределения концентраций (рис. 1).



**Рис. 1. Схематические карты распределения компонентов состава подземных вод на момент времени 3650 суток от начала моделирования**

Видно, что в области ореола нефтепродуктов концентрация акцепторов (кислорода и нитратов) минимальна, они являются необходимым реагентом для процесса биоразложения загрязнения. В случае с распределением железа

наблюдается картина противоположная распределению акцепторов, а именно – повышенные концентрации данного элемента именно в ореоле распространения растворенных нефтепродуктов, что подтверждает роль этого элемента, как продукта реакции биоразложения нефтепродуктов.

Также недостатком существующего на предприятии мониторинга является отсутствие информации по содержанию метана, что, вместе с отсутствующими данными по содержанию кислорода, делает невозможным проведение достоверной количественной оценки вклада процессов биоразложения в деградацию углеводородного загрязнения.

Поиск слабых мест существующей сети наблюдений был проведен с использованием критерия WOLF (Well Optimal Location Factor).  $WOLF = C(x,y) * r_{min}^2$ , где  $C(x,y)$  – концентрация загрязняющего компонента в точке с координатами  $(x,y)$ ,  $r_{min}$  – минимальное расстояние от точки до наблюдательной скважины.

Высокие значения критерия показывают территории, где ожидаются значительные концентрации загрязняющего вещества, а покрытие района скважинами – низкое. В результате расчетов была построена схема распределения критерия WOLF, по которой даются рекомендации о расположении дополнительных наблюдательных скважин.

#### **Заключение.**

- Анализ данных мониторинга на территории на основе критерия WOLF позволил выделить зоны, где необходимо расширить наблюдательную сеть.
- При проведении мониторинга следует проводить определение гидродинамических характеристик, таких как уровни подземных вод, уровни нефтепродуктов, отметку водонефтяного контакта; а также состава подземных вод, как минимум по следующим компонентам: растворенные нефтепродукты, растворенный кислород и метан, сульфаты, нитраты, железо (двух- и трехвалентное).

#### **Литература**

1. *Расторгуев А.В., Куранов П.Н.* Гидравлические и гидродинамические модели многофазной фильтрации для обоснования защиты подземных вод от загрязнения. Сборник докладов конференции посвященной 50-летию кафедры гидрогеологии.
2. *Parker, J.C., Lenhard, R.J., and Kuppusamy, T.*, 1987. A parametric model for constitutive properties governing multiphase fluid flow in porous media. *Water Resour. Res.*, 23(4): 618-624.



## ОЦЕНКА ЗАГРЯЗНЕНИЯ ТЯЖЕЛЫМИ МЕТАЛЛАМИ ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ ОЗЕРА БЕЮКШОР В АПШЕРОНСКОМ ПРОМЫШЛЕННОМ РЕГИОНЕ АЗЕРБАЙДЖАНА

Х.Х. Халилова<sup>1</sup>, В.А. Мамедов<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Институт физики Национальной академии наук Азербайджана, Az-1143, Баку, пр. Г. Джавида, 33. E-mail: khalilova@rambler.ru

<sup>2</sup> Институт геологии и геофизики Национальной академии наук Азербайджана, Az-1143, Баку, пр. Г. Джавида, 119. E-mail: vmamed@rambler.ru

В промышленных регионах загрязнения окружающей среды токсичными веществами создают серьезные проблемы из-за их отрицательного влияния на компоненты экосистемы. Неблагоприятные последствия загрязнения экосистемы проявляются еще острее на урбанизированных территориях, характеризующихся высокой концентрацией производства и населения.

Апшеронский полуостров является самой урбанизированной территорией Азербайджанской республики, где расположены два промышленных города – Баку и Сумгаит, и сконцентрировано около 60% общей нефтедобычи на суше. Этот регион насыщен техногенно-загрязненными ареалами. Основным загрязнителем окружающей среды является нефтяная промышленность. Ускоренное развитие нефтедобывающей и нефтеперерабатывающей промышленности, начиная со второй половины XIX века, коренным образом изменило исторически сложившийся геохимический баланс среды за счет выноса из недр Земли на земную поверхность разных химических элементов, в том числе и тяжелых металлов (ТМ) [2]. На территории имеется свыше 200 водоемов естественного и искусственного происхождения. Огромное количество микроэлементов, мигрируя на водосборной площади, аккумулируется в озерных котловинах. Обогащенные тяжелыми металлами, водные массы, донные отложения и водосборные площади озер со временем становятся токсичными, представляя серьезную опасность для всего живого.

Известно, что тяжелые металлы не подвергаются биологическому разложению и аккумулируются в почвах и донных отложениях. Ранние исследования выявили высокие концентрации токсичных тяжелых металлов в донных отложениях некоторых прибрежных озер, которые долгое время подвергались влиянию антропогенных источников [3]. Практика показывает, что геохимический круговорот ТМ при антропогенных воздействиях представляет серьезные, порою непредсказуемые экологические последствия. Чтобы найти правильное решение проблем, необходимо определить уровни загрязненности ТМ в экосистемах, с оценкой вклада природных и антропогенных факторов и определением потенциального экологического риска созданного отдельными элементами.

Целью данной работы являлась изучение степени загрязненности донных отложений в озере Беюкшор Апшеронского полуострова такими токсичными металлами как ртуть (Hg), кадмий (Cd), хром (Cr), свинец (Pb), медь (Cu) и цинк (Zn). Впервые проводилась оценка риска загрязнения ТМ с вычислением индекса загрязнения ( $PI_i$ ), индекса геоаккумуляции ( $I_{geo}$ ) и индекса потенциального экологического риска (RI).

Озеро Беюкшор находится в центре Апшеронского полуострова, расположено на абсолютной высоте 12 м. Оно является самым большим и наиболее загрязненным озером полуострова объемом 45 млн. м<sup>3</sup>, 13 км<sup>2</sup> поверхностной площади и 4,2 м максимальной глубины. Будучи замкнутым водоемом, озеро Беюкшор питается подземными и поверхностными водами водосбора. Начиная с 1930-х гг., огромное количество сточных вод нефтяной промышленности сбрасывалось в это озеро. В соответствии с данными Министерства экологии и природных ресурсов, общий объем среднесуточных сбросов из 49 промышленных и коммунально-бытовых объектов в оз. Беюкшор составлял около 18 000 м<sup>3</sup> [4].

Для анализа ТМ отбирались 15 проб из разных точек озера с поверхности (10-15 см глубины) донных отложений, с помощью специального пробоотборника. Лабораторные анализы выполнены с использованием общепринятых методов анализа твердых отходов [7]. Для определения основных тяжелых металлов (Cd, Cr, Cu, Pb и Zn) был использован метод оптически-эмиссионной хроматографии с индуктивно-связанной плазмой (ICP-OES), а для ртути метод атомной флуоресценции (CVAF).

Для оценки потенциального риска в связи с загрязнением почв ТМ были определены следующие показатели:

1. *Индекс загрязнения ( $PI_i$ )*. Уровень загрязненности индивидуальным металлом определяется индексом загрязнения  $PI_i$ , вычисленного из соотношения между концентрацией металла в образце  $C_i$  и его допустимым уровнем  $S_i$ :

$$PI_i = \frac{C_i}{S_i} \quad (1)$$

В данной работе в качестве  $S_i$  были использованы предельно- допустимые концентрации (ПДК) металлов в почвах, установленные Кабинетом Министров Азербайджана [1].

2. *Индекс геоаккумуляции ( $I_{geo}$ )*. Следующая формула была использована для вычисления индекса геоаккумуляции ТМ [6]:

$$I_{geo} = \text{Log}_2 \left( \frac{C_n}{1.5B_n} \right) \quad (2)$$

где  $C_n$  –концентрация элемента ( $n$ ) в исследуемой образце ( $n$ ),  $B_n$  –фоновая концентрация элемента  $n$ , и 1.5 – постоянная величина, введенная для минимизации эффекта возможных изменений в фоновых концентрациях в связи с вариациями в литологическом составе.

### 3. Индекс потенциального экологического риска (RI)

Для оценки потенциального экологического риска загрязнения ТМ проведены расчеты по определению индекса потенциального риска (RI) с применением формулы [3]:

$$RI = \sum E_i \quad (3)$$

где RI – суммарное число факторов экологического риска, создаваемого ТМ;  $E_i$  – фактор риска индивидуального металла  $i$ , определяемый по формуле:

$$E_i = T_i f_i = T_i \frac{C_i}{B_i} \quad (4)$$

где  $T_i$  – фактор токсичности тяжелого металла  $i$ , выражает степени токсичности металлов для окружающей среды. Для вычисления факторов риска металлов Hg, Cd, As, Cu, Pb, Cr и Zn использованы соответствующие значения  $T_i$ .  $f_i$  – фактор загрязненности почв тяжелым металлом, который вычисляется из соотношения между концентрацией металла в образце  $C_i$  и его фоновой концентрацией (ФК)  $B_i$  в почвах исследуемой территории (табл. 1).

Результаты исследований приведены в таблице 1. Как видно из данных таблицы, в донных отложениях озера концентрации Cd, Cr, Cu и Zn несколько раз превышают их ПДК, установленной законодательством Азербайджана. Средние величины индекса загрязнения ( $PI_i$ ) подтверждают, что озеро находится под воздействием антропогенных источников вышеперечисленных металлов.

Таблица 1

**Концентрации и средние значения индексов загрязнения ТМ в донных отложениях озера Бейюкшор**

| ТМ | Концентрация (мг/кг) |       |        | $PI_i$<br>сред. | $E_i$<br>сред. | $I_{\text{г.о.}}$<br>сред. | ПДК  | ФК  | $T_i$ |
|----|----------------------|-------|--------|-----------------|----------------|----------------------------|------|-----|-------|
|    | мин.                 | макс. | сред.  |                 |                |                            |      |     |       |
| Cd | 1,0                  | 5,0   | 1,7    | 1,7             | 17,0           | -1,4043                    | 1,0  | 3,0 | 30    |
| Cr | 15,6                 | 59,0  | 25,1   | 4,2             | 1,21           | -1,2572                    | 6,0  | 40  | 2     |
| Cu | 10,6                 | 24,4  | 14,7   | 4,9             | 0,74           | -3,3510                    | 3,0  | 100 | 5     |
| Hg | 0,004                | 0,063 | 0,0085 | 0,04            | 0,85           | -6,1413                    | 2,1* | 0,4 | 40    |
| Pb | 16,7                 | 47,2  | 28,5   | 0,9             | 7,12           | -0,0740                    | 32,0 | 20  | 5     |
| Zn | 20,3                 | 510   | 86,8   | 3,8             | 1,24           | -0,2746                    | 23,0 | 70  | 1     |

\* *Примечание:* значение 2,1 является приемлемым только для загрязнения почв ртутью в жилых районах.

На основе классификации авторов [5-6], по значениям индекса геоаккумуляции ( $I_{\text{г.о.}}$ ) и индекса потенциального экологического риска ( $E_i$ ), пять категорий были определены для оценки степени загрязнения металлами (табл. 2).

Результаты расчетов индекса геоаккумуляции ( $I_{\text{г.о.}}$ ) показали, что озеро Бейюкшор может характеризоваться как слабо загрязненное относительно ис-

следованных металлов. Однако некоторые повышенные уровни были отмечены для Pb и Zn.

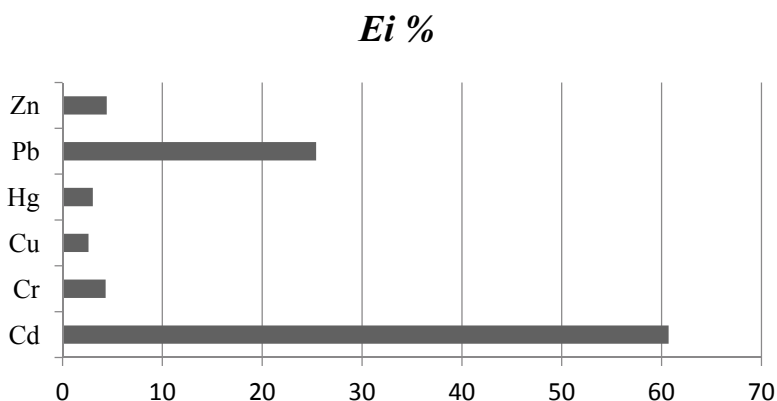
На основе вычисленных индексов потенциального экологического риска ( $E_i$ ) можно сказать, что загрязнения донных отложений озера Беюкшор тяжелыми металлами, как в отдельности, так и в целом соответствует низкому уровню потенциального экологического риска (таблица 2). Среди вычисленных значений, самые высокие уровни  $E_i$  были отмечены для Cd (17,0) и для Pb (7,12).

Таблица 2

**Классификация уровней загрязнения почв и донных отложений на основе индексов геоаккумуляции и потенциального экологического риска**

| Класс | $I_{geo.}$ |                                       | $E_i$                             |  |
|-------|------------|---------------------------------------|-----------------------------------|--|
|       | 1          | <0                                    | незагрязненный/слабо загрязненный | <40  |
| 2     | 0-1        | умеренно загрязненный                 | 40-80                             | средний потенциал экологического риска       |
| 3     | 1-3        | от умеренного до сильно загрязненного | 80-160                            | значительный потенциал экологического риска  |
| 4     | 3-5        | сильно загрязненный                   | 160-320                           | высокий потенциал экологического риска       |
| 5     | >5         | очень сильно загрязненный             | 320                               | очень высокий потенциал экологического риска |

Процентные доли индивидуальных металлов в потенциальном экологическом риске для экосистемы исследуемой территории показаны на рис. 1.



**Рис. 1. Средняя процентная доля ТМ в потенциальном экологическом риске для экосистемы озера Беюкшор**

Как следует из данных табл. 1 и из рис. 1, риск загрязнения тяжелыми металлами определяется не количеством металла в почве, а его токсичностью. При низком загрязнении с Pb в большинстве анализируемых пробах (сред.  $PI_i = 0,9$ ), значение индекса его потенциального экологического риска значительно выше других металлов.

Проведенные исследования позволяют сделать следующие выводы:

1. В результате многолетнего воздействия антропогенных источников в донных отложениях озера Бейюкшор накопились значительные количества ТМ. Во многих местах, количество таких токсичных металлов как Cd, Cr, Cu и Zn превышали их предельно-допустимые и фоновые уровни.

2. Результаты расчета индекса геоаккумуляции и потенциального экологического риска показали, что по степени загрязнения донных отложений исследуемого озера тяжелыми металлами соответствует незагрязненному/слабозагрязненному уровню с низким потенциалом экологического риска. Однако, в связи с всевозрастающим темпом промышленных операций и урбанизации, антропогенная нагрузка на природу будет иметь тенденцию к дальнейшему росту, что в будущем может привести к повышенному экологическому риску.

*Данная работа выполнена при финансовой поддержке Фонда развития науки при Президенте Азербайджанской республики – грант № EIF-2013-9(15)-46/25/2.*

#### Литература

1. Исаев С. А., Бабаев Ф.М., Рагимзаде А. И., Султанов Р.Р. Эколого-геохимическая оценка изменений в биосфере Абшеронского полуострова. Баку: изд-во «МВМ», 2007. 470 с.
2. Мамедов В. А., Алиев Г. И. Микроэлементы в водной среде озер Абшеронского полуострова и их роль в загрязнении окружающей среды // Известия НАНА, серия Наук о Земле. 2005. № 2. С. 119-125.
3. Aliyev F. G., Khalilova H. Kh. The anthropogenic impact on surface water resources in Azerbaijan / JEnergy & Environment. 2014. V.25. № 2. pp. 343-356.
4. Environmental situation and nature protecting activities in 2005-2011 years. Report of the Ministry of Ecology and Natural Sources of the Republic of Azerbaijan, 2011.
5. Hakanson L. An ecological risk index for aquatic pollution control. A sedimentological approach. Water. Res. 1980, 14(8), pp. 975-1001.
6. Muller G. Schwermetallein den sediments des Rheins-VeraderungenSeitt 1971. Umschan. 1979,79, pp. 778-783.
7. USEPA. Test methods for evaluating solid waste. Laboratory Manual of Physical/Chemical methods. 1986. SW-846. Washington, DC.

## СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА СОДЕРЖАНИЯ ХИМИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ В ПЫЛЕВОМ АЭРОЗОЛЕ В ОКРЕСТНОСТЯХ НЕФТЕХИМИЧЕСКИХ ПРОИЗВОДСТВ Г.ПАВЛОДАР (РЕСПУБЛИКА КАЗАХСТАН) И Г. ТОМСК (РОССИЯ)

Т.С. Шахова, А.В. Таловская, Е.А. Филимоненко, Е.Г. Язиков

Национальный исследовательский Томский политехнический университет, 634050, г. Томск, проспект Ленина, дом 30. E-mail: tatyanaags29@yandex.ru

**Введение.** В последнее время отрасль нефтепереработки и нефтехимии наращивает свою мощь во всем мире, являясь одной из основных отраслей, в том числе в России и Республике Казахстан. Деятельность этих предприятий оказывает негативное воздействие на все компоненты природной среды, а главное, на атмосферный воздух.

На территории г. Павлодара особо актуальна проблема загрязнения воздуха выбросами крупных предприятий, среди которых, основными источниками загрязнения являются нефтехимический и алюминиевый заводы, а также теплоэлектростанции [1]. Павлодарский нефтехимический завод – крупнейшее в Республике Казахстан предприятие по переработке нефти и производству нефтепродуктов. Выпускает свыше 10 видов продукции: бензины, топливо для реактивных двигателей, дизельное, котельное топлива, сжиженные газы, битумы, кокс, серу различных марок.

По данным Департамента природных ресурсов и охраны окружающей среды Томской области объекты нефтехимического производства занимают 4-е место по доле выбросов загрязняющих веществ от всех стационарных источников. На территории г. Томска выделяются два района с сильно загрязненной атмосферой: центральная часть города и северный промышленный узел, где функционирует Томский нефтехимический комбинат (ООО «Томскнефтехим») – дочернее предприятие СИБУРа, один из крупнейших российских производителей полимеров – полипропилена и полиэтилена высокого давления.

Опыт различных исследователей показывает, что снеговой покров представляет собой одну из самых идеальных сред эколого-геохимического изучения с целью контроля загрязнений, поступающих на территорию через атмосферу [1,4,14].

В статье приводится сравнительная оценка уровня содержания химических элементов в пылевом аэрозоле, аккумулированного в снежном покрове в окрестностях нефтехимических предприятий гг. Томск и Павлодар.

**Методика исследований.** Снегогеохимические исследования проводили в окрестностях Томского нефтехимического комбината (ТНХК) и Павлодарского нефтехимического завода (ПНХЗ) с учетом главенствующего направления ветра (юго-западное). Отбор проб проводился в север-северо-восточном направлении от границ ПНХЗ на расстоянии 0,3 м, 0,6, 0,8 и 1,5

км, всего отобрано 5 проб. В северо-восточном направлении от наиболее высокой факельной установки ТНХК на расстоянии 0,3; 0,6; 0,9; 1,2 и 1,5 км также проводили отбор проб, всего отобрано 5 проб.

Пробы отбирали по методу шурфа: на всю мощность снежного покрова, за исключением пятисантиметрового слоя над почвой, во избежание загрязнения проб литогенной составляющей. Таяние снега проходило при комнатной температуре. После этого следует процесс фильтрации на предварительно взвешенном беззольном фильтре типа «синяя лента» для получения твердого осадка снега, который состоит из пылевого аэрозоля, аккумулярованного в снежном покрове.

Все работы по отбору и подготовке проб снега выполнялись с учетом методических рекомендаций [3], методических рекомендациях ИМГРЭ [10] и руководства по контролю загрязнения атмосферы [12], а также многолетнего опыта сотрудников кафедры геоэкологии и геохимии ТПУ [14].

Химический состав твердого осадка снега определяли инструментальным нейтронно-активационным анализом (ИНАА) в аттестованной ядерно-геохимической лаборатории Международного инновационного научно-образовательного центра «Урановая геология» при кафедре геоэкологии и геохимии ТПУ.

Обработка данных включала расчёт следующих эколого-геохимических показателей:

1. Общая нагрузка, создаваемая поступлением каждого из химических элементов в окружающую среду (среднесуточный поток химического элемента из атмосферы на снежный покров) по формуле 1 [10]:

$$P_{\text{общ}} = C \times P_n, \text{ мг}/(\text{км}^2 \cdot \text{сут}) \quad (1)$$

где  $P_n$  – пылевая нагрузка (кг/(км<sup>2</sup>\*сут));  $C$  – содержание элемента в твердом осадке снега (мг/кг);

2. Фактор обогащения согласно работе [2] по формуле 2:

$$\Phi_{\text{обогащения}} = \left( \frac{X}{Fe} \right)_{\text{твердый осадок снега}} / \left( \frac{X}{Fe} \right)_{\text{земн. коры}} \quad (2)$$

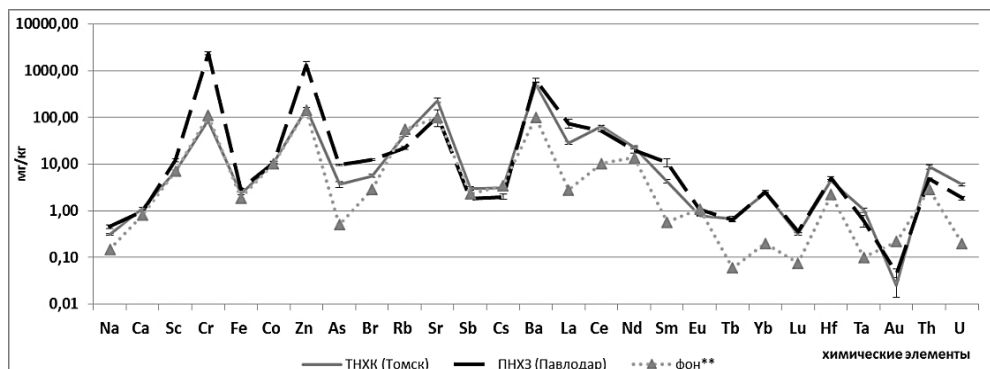
где  $X$  – элемент, для которого рассчитывается фактор обогащения. Кларк земной коры по Григорьеву, 2003 [5]. Согласно этой формуле, фактор обогащения атмосферной примеси, имеющей природное (почвенное) или общее региональное происхождение, должен быть близок к единице, а выше 1 – антропогенное происхождение.

Статистическая обработка данных проводилась в программе Statistica 8.0 и заключалась в определении среднего значения содержания химических элементов и сравнении средних значений выборок с помощью непараметрического критерия Манна-Уитни [11].

**Результаты.** В твердом осадке снега из окрестностей Томского нефтехимического комбината и Павлодарского нефтехимического завода показатели содержания группы элементов имеют различия согласно проведенному

непараметрическому тесту Манна-Уитни (Statistica 8.0). Рис.1 отражает степень различия концентраций элементов.

Содержание Ca, Co, Ag, Au, Nd, Tb, Yb, Lu и Hf в твердом осадке снега из окрестностей ТНХК и ПНХЗ имеют незначимые различия; слабо значимые отличия имеют Sr, Ce; статистически значимые – Fe, Cs, Ba, La, Sm. Содержание Sc, Cr, Zn, As, Br, Rb, Sb различаются сильно значимо.



Примечание: \*\* – фон для Томской области (пос. Киреевск, 70 км от Томска).

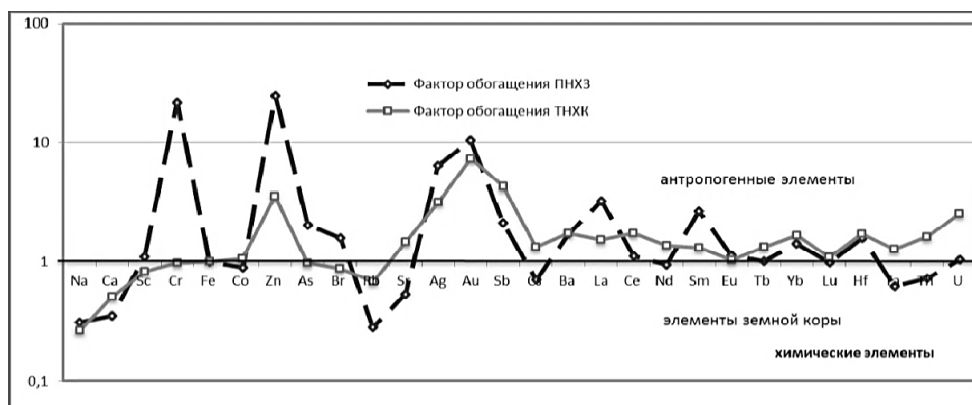
**Рис. 1. Среднее содержание химических элементов в твердом осадке снега в окрестностях нефтехимических предприятий г. Томск и г. Павлодар (Na, Ca, Fe – в %)**

В твердом осадке снега из окрестностей ПНХЗ содержания Sc выше в 1,6 раз, Cr – в 27 раз, Zn – в 8 раз, As – в 2,7 раза, Br – в 2,2 раза, Ba – в 1,2 раза, La – в 2,6 раза, Sm – в 2,5 раза, чем в пробах из окрестностей ТНХК. Однако, в твердом осадке снега из окрестностей Томского комбината концентрация следующих элементов выше, чем в твердом осадке снега из окрестности Павлодарского завода: Rb – в 2 раза, Sb – в 1,2 раза Cs – в 1,5 раза. Содержание остальных химических элементов существенно не отличаются.

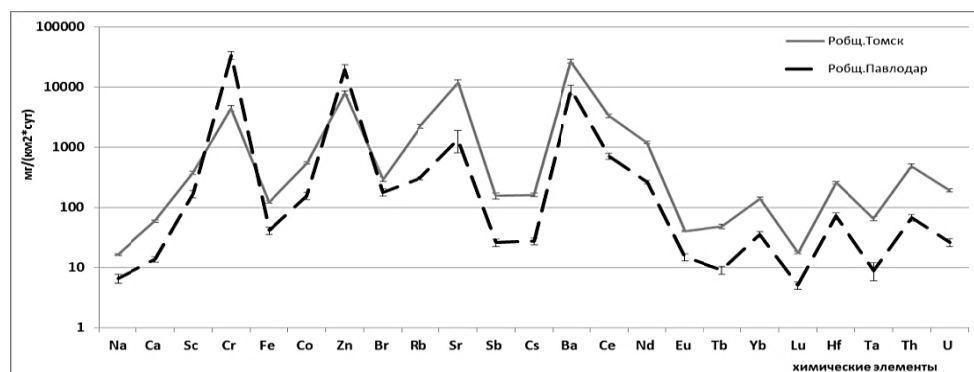
Расчет фактора обогащения показал, что твердый осадок снега из окрестности нефтехимического завода г. Павлодар заметно обогащен Cr, Zn, As, Br, Au, Ba, La, Sm, что свидетельствует об антропогенных источниках их поступления. Твердый осадок снега из окрестностей нефтехимического комбината г. Томск обогащен Zn, Au, Sb, Th и U, что также показывает их антропогенное происхождение (рис. 2). Кроме того, содержание данных элементов также превышает фоновые значения.

Среднесуточный поток элементов из атмосферы на снеговой покров из окрестностей ТНХК и ПНХЗ имеют незначимые различия Zn и Au; слабо значимые имеют As, La, Sm; статистически значимые – Br. Содержания Ca, Na, Sc, Fe, Cr, Co, Rb, Sr, Sb, Cs, Ba, Ce, Nd, Tb, Eu, Yb, Lu, Hf и Ta различаются сильно значимо (рис. 3).





**Рис. 2. Факторы обогащения химических элементов в пылевом аэрозоле снега из окрестностей Павлодарского нефтехимического завода и Томского нефтехимического комбината относительно среднего состава земной коры (репер Fe, содержание элементов в верхней части континентальной коры по данным Григорьева, 2003)**



**Рис. 3. Среднесуточный поток химических элементов из атмосферы на снеговой покров (Робц) в окрестностях Томского нефтехимического комбината (ТНХК) и Павлодарского нефтехимического завода (ПНХЗ), ( $Na, Ca, Fe$  – в  $г/(км^{2*сут})$ )**

Можно предположить, что поступление Cr в окружающую среду связано с использованием алюмохромовых катализаторов в нефтехимической промышленности, эти катализаторы содержат хром в форме Cr (VI) [9]. Также на территории Павлодарской области функционирует крупное металлургическое предприятие по производству хромистых, кремнистых и марганцевых сплавов, которое также может вносить вклад в высокое содержание хрома за счет дальнего переноса вещества.

Высокие концентрации La и Ce можно предположительно объяснить тем, что на этом перерабатывающем заводе при каталитическом крекинге возможно могут использовать цеолитовые катализаторы, в состав которых входят редкоземельные элементы [15].

Бром-сурьмяная специфика в районе нефтехимической промышленности была выявлена и по данным изучения твердого осадка снега [13]. Повышенные концентрации As вероятнее всего связаны с факельным сжиганием нефтепродуктов [7].

Также мышьяково-содовый способ могут использовать для очистки горячих газов от сероводорода с каталитической регенерацией поглотительного раствора [8]. С другой стороны, рядом с изучаемыми районами расположены ТЭЦ. В районе расположения ПНХЗ действует ТЭЦ, использующая Экибастузские угли, обогащённые Zn, Au, Cr, Ba и редкоземельными элементами [6], и нефтяные сдвиги от нефтехимических производств, в районе ТНХК – газовая ТЭЦ. Кроме того, ТНХК расположен в санитарно-защитной зоне Сибирского химического комбината (СХК) с его мощной угольной ТЭЦ, согласно работе [13] специфичными элементами в твердом осадке снега в зоне влияния промузла, где расположен СХК и ТНХК являются Sr, Ba, U, La, Ce, Br и Sb.

**Заключение.** Таким образом, сравнение содержания элементов в пылевом аэрозоле, аккумулированного в снеговом покрове, и среднесуточного потока элементов из атмосферы на снеговой покров в окрестностях нефтехимических производств г.Павлодар и г.Томск показало специфику загрязнения в исследуемых районах. Повышенные концентрации Cr, Zn, Au, Ba, La, Sm, As, Sb характерны для проб в окрестностях Павлодарского завода зафиксированы, тогда как Br, As, Sb, La, Ce, Tb, Sm – в окрестностях Томского комбината. Данные различия по составу рассматриваемых элементов и их особенностей концентрирования, вероятнее всего связаны с отличающейся спецификой производств, а также вкладом выбросов от близко расположенных предприятий, в том числе и теплоэлектростанций.

#### Литература

1. *Ажаев Г.С.* Оценка экологического состояния г. Павлодара по данным геохимического изучения жидких и пылевых атмосферных выпадений: автореф. дис. ... канд. геол.-минер. наук. – Томск, 2007.
2. *Аэрозоли Сибири / Андреева И.С.* [и др.]; отв. ред. К.П. Куценогий; Рос. акад. наук, Сиб. отд-ние, Ин-т химической кинетики и горения [и др.]. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2006. – 548 с.
3. *Василенко В.Н.* Мониторинг загрязнения снежного покрова / В.Н. Василенко, И.М. Назаров, Ш.Д. Фридман. – Л.: Гидрометеиздат, 1985. – 185 с.
4. *Гарманова Т.В., Ларина Н.С.* Мониторинг загрязнения снежного покрова пылеаэрозолями в городе Тюмень // Вестник Тюменского государственного университета. – 2012. – Вып. 7. – С. 55-62.
5. *Григорьев Ю.* Среднее содержание химических элементов в горных породах, слагающих верхнюю часть континентальной земной коры // Геохимия. – 2003. – № 7. – С. 785-792.

6. *Кажумуханова М.З.* Элементы-примеси в угольных месторождениях Казахстана // Проблемы геологии и освоения недр: труды XIX Международного симпозиума имени академика М.А. Усова студентов и молодых ученых, Томск, 6-10 Апреля 2015. – Томск: Изд-во ТПУ, 2015 – Т. 1. – С.105-106.
7. *Кирюшин П.А., Книжников А.Ю., Кочи К.В., Пузанова Т.А., Уваров С.А.* Попутный нефтяной газ в России: «Сжигать нельзя, перерабатывать!» Аналитический доклад об экономических и экологических издержках сжигания попутного нефтяного газа в России. – М.: Всемирный фонд дикой природы (WWF), 2013.– 88 с.
8. *Лагутин В.В.* Защита атмосферы на объектах добычи и переработки природного газа, содержащего сероводород // Современные наукоемкие технологии. – 2005. – № 3 – С. 61-62
9. *Липович В.Г., Полубенцева М.Ф.* Алкилирование ароматических углеводородов. – М.: Химия, 1985. – 272 с.
10. Методические рекомендации по геохимической оценки источников загрязнения окружающей среды. – М.: ИМГРЭ, 1982. – 66 с.
11. *Михальчук А.А., Язиков Е.Г.* Многомерный статистический анализ эколого-геохимической информации [Электронный ресурс]: учебное пособие: в 2 ч. – Томск: Изд-во ТПУ, 2014.
12. РД 52.04.186-89 Руководство по контролю загрязнения атмосферы. Дата введения 01.07.1991, 603 с.
13. *Шатилов А.Ю.* Вещественный состав и геохимическая характеристика пылевых атмосферных выпадений на территории Обского бассейна / Автореф. ... канд. геол.-мин. наук. – Томск: ТПУ, 2001. – 23 с.
14. *Язиков Е.Г., Таловская А.В., Жорняк Л.В.* Оценка эколого-геохимического состояния территории г. Томска по данным изучения пылеаэрозолей и почв: монография. – Томск: Изд-во ИПУ, 2010. – 264 с.
15. *Pranav Kulkarni, Shankararaman Chellama, Matthew P. Fraser.* Lanthanum and lanthanides in atmospheric fine particles and their apportionment to refinery and petrochemical operations in Houston, TX. Atmospheric Environment 2006. V. 40. P. 508-520.

## 5. ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ ПОДЗЕМНОЙ ГИДРОСФЕРЫ

---

---

### ТРАНСФОРМАЦИЯ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА ДРЕНАЖНОГО СТОКА НА МЕДНОКОЛЧЕДАННОМ РУДНИКЕ (СРЕДНИЙ УРАЛ)

**В.А. Арзамасцев**

ООО «Научно-производственная геолого-экологическая фирма «ГеоС»,  
620014, Екатеринбург, ул. Хохрякова, 72. E-mail: ava-geos@mail.ru

Приоритетное место по интенсивности геохимического воздействия на лито- и гидросферу Урала занимают медноколчеданные месторождения, имеющие богатую сульфидную минерализацию. Как известно [2, 5], при их вскрытии и отработке с изменением окислительно-восстановительной обстановки происходит активная мобилизация рудного материала поверхностными и подземными гидрохимическими потоками. В результате появляются агрессивные кислые сульфатные воды, как на поверхности, так и в подземных горизонтах [6].

Большая часть рудных месторождений Урала имеет длительную историю эксплуатации с весьма смутными данными о первоначальных природных гидрогеологических условиях. Приятное исключение составляет Сафьяновское медноколчеданное месторождение, отработка которого началась в 1994 г. и сопровождается полным циклом геологоразведочных работ, включая гидрогеологические изыскания и мониторинг подземных вод на всем его протяжении. Указанное позволяет впервые на Урале проследить весь цикл трансформации химического состава дренажных вод.

На протяжении 20 лет месторождение обрабатывалось только открытым способом. По состоянию на 01.01.2015 глубина карьера на Сафьяновском руднике составила 168 м, площадь по поверхности – 57,4 га. В 2010 г. начата проходка ствола шахты «Вентиляционная», расположенного южнее карьерной выемки, с декабря 2014 г. ведется добыча руды из подземной выработки. Таким образом, в настоящее время отработка Сафьяновского месторождения ведется комбинированным – открытым и подземным способами. Рудник отгружает потребителям медную рядовую, медно-вкрапленную, медную богатую и медно-цинковую руду.

Сафьяновское месторождение расположено на водоразделе рр. Реж (правый приток р. Ницы) и Бобровки (левый приток р. Ирбит) в пределах

Уральской сложной гидрогеологической складчатой области, в которой трещинных и трещинно-жильные воды приурочены к зоне экзогенной трещиноватости. Фоновая водоносность пород прослеживается на глубину от 30 до 100 метров и более при преобладающем значении 40-50 м. В естественных природных условиях трещинные воды имеют сезонное питание за счет инфильтрации атмосферных осадков, а разгрузка происходит в местную речную сеть. Зеркало подземных вод в сглаженном виде повторяет рельеф местности. Площади питания подземных вод совпадают с площадями поверхностных водосборов.

Непосредственно Сафьяновское месторождение расположено в пределах водоносной зоны рифейско-нижнекаменноугольных вулканогенных образований, а его приводораздельное положение обуславливает в целом низкую водообильность водовмещающих палеозойских образований. С поверхности водоносные зоны палеозойских пород повсеместно перекрыты слабопроницаемым локально-слабоводоносным мезозойско-кайнозойским полигенетическим (покровным) комплексом (pg MZ-KZ). В естественных ненарушенных природных условиях поровые воды в рыхлых образованиях и трещинные воды в породах палеозоя гидравлически взаимосвязаны, имеют общий уровень и представляют единый преимущественно безнапорный поток подземных вод. Преимущественное направление потока подземных вод при естественном режиме западное, северо-западное к долине р. Реж, что выражается через элементы современной речной сети (рис. 1). Амплитуда сезонного колебания уровня подземных вод в естественных условиях составляет 1,5-2,0 м. Максимальная амплитуда сезонного колебания уровня подземных вод отмечается в пределах водоносных зон карбонатных пород.

Осушение карьерной выемки производится с помощью зумпфового водоотлива. Из зумпфа дренажные воды подаются на станцию нейтрализации, где проходят очистку в трех реакторах с помощью известкового «молочка» в щелочной водной среде при значениях pH 11-12. После обработки на станции нейтрализации очищенные дренажные воды сбрасываются в р. Реж.

Формирование депрессионной воронки в результате карьерного водоотлива практически завершилось по площади уже осенью 2002 г. при глубине карьера 80 м в связи со вскрытием на полную мощность зоны экзогенной трещиноватости палеозойских пород.

Современная среднемесячная величина карьерного водоотлива изменялась от 64,4 м<sup>3</sup>/ч в период зимней межени до 111,3 м<sup>3</sup>/ч в весенний паводок. Относительная стабильность водопритоков, как и в предшествующие годы наблюдений, во внутригодовом и в межгодовом разрезе объясняется также высокой регулирующей ролью в питании водоносных зон палеозоя грунтовых вод мезозойских кор выветривания. Значительными по площади и объему отвалы горных пород и некондиционных руд в границах депрессионной воронки аккумулируют выпадающие атмосферные осадки, способствуя уменьшению величины их испарения, создавая техногенные водоносные горизонты, также стабилизирующие атмосферное питание в годовом разрезе.

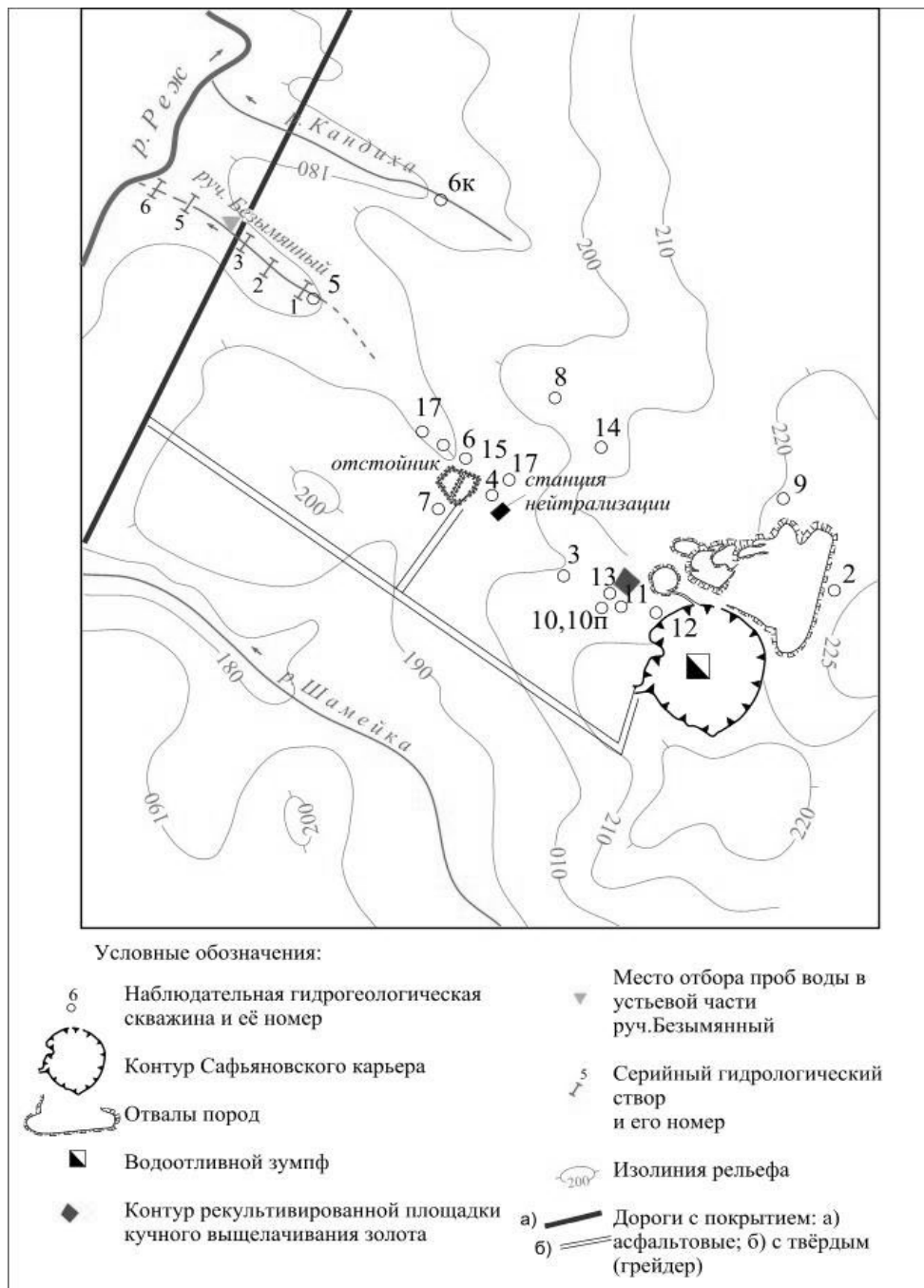


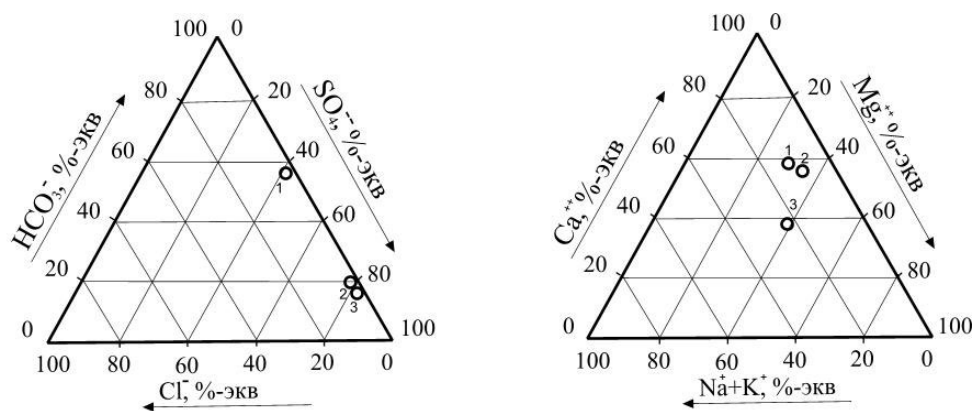
Рис. 1. Схема расположения наблюдательных пунктов объектного мониторинга в районе Сафьяновского медноколчеданного месторождения

При площади области захвата потока подземных вод депрессионной воронкой карьерного водоотлива оцениваемой в  $3,5 \text{ км}^2$  и среднегодовой величине водоотлива  $21,8 \text{ л/с}$  (2014 г.), модуль водоотлива оценивается величиной  $5 - 6 \text{ л/с}\cdot\text{км}^2$ , что, в целом, соответствует региональным значениям на объектах-аналогах (Дегтярский и Богомоловский рудники и др.).

Воздействие деятельности рудника на подземную гидросферу за период 1996-2014 г. локализовано преимущественно в границах площадей горного и земельного отвода (рис. 1).

С началом проведения горно-эксплуатационных и дренажных работ отмечена трансформация химического состава карьерных вод и обогащение их микроэлементами, вызванная процессами сернокислотного выщелачивания. Основным показателем характеризующим степень воздействия рудника является сульфат-ион, содержание которого в “фоновых” условиях (скважина бк) изменялось незначительно: от  $10,7$  до  $30,9 \text{ мг/л}$ .

С развитием горных работ и расширением депрессионной воронки в дренажных водах карьерного водоотлива отмечалось постепенное снижение рН, сопровождающееся ростом сульфатов, сухого остатка, снижением доли гидрокарбонат-ионов в водах. Химический состав дренажных карьерных вод изменялся ожидаемо от сульфатно-гидрокарбонатного магниево-кальциевого (на начало эксплуатации месторождения) до гидрокарбонатно-сульфатного магниево-кальциевого на сбросе в накопитель станции нейтрализации (рис. 2).



**Рис. 2. Диаграммы макрокомпонентного состава дренажных вод Сафьяновского рудника:**

1 – 1996 г. (начало отработки); 2 – 2005 г.; 3 – 2014 г.

За период 1996-1998 гг. содержание сульфатов в дренажных водах постепенно увеличивалось до 192-254 мг/л с одновременным снижением рН и накоплением тяжелых металлов (меди, цинка, свинца, кадмия). Появление в дренажных водах таких микроэлементов как мышьяк, сурьма, таллий, теллур, висмут в концентрациях, выше кларковых отражают геохимические особенности медноколчеданных руд Сафьяновского месторождения.

Дальнейшее смещение состава вод в сторону сульфатов, вплоть до их полного преобладания над остальными макрокомпонентами-анионами и увеличение концентраций типоморфных элементов медноколчеданных руд в дренажных водах, подтвердилось данными 2002-2014 г., когда содержание сульфатов в дренажных водах варьировало в пределах 224,3 мг/л до 1491 мг/л. Метаморфизация химического состава подземных вод, в основном, происходит в границах депрессионной воронки под влиянием отстойника-накопителя карьерных и подотвальных вод.

Появление в дренажных водах азотистых соединений (аммонийный ион, нитриты) в концентрациях, превышающих фоновые значения, связано с аммонийными взрывчатыми веществами, применяемыми при проведении буровзрывных работ, а эпизодическое присутствие нефтепродуктов (растворимые фракции) в концентрациях, не превышающих 0,1 мг/л, обусловлено техническими условиями проведения горных работ, в частности эксплуатацией автотранспорта.

В целом, следует отметить, что за весь период наблюдений для большинства компонентов химического состава характерна высокая изменчивость содержаний в дренажных водах, отражающая не только природно-техногенные процессы сернокислотного выветривания, но и условия накопления дренажных вод в зумпфе, неравномерность водоотлива из него.

Концентрации большинства микроэлементов в дренажных водах варьировали в широких пределах. Так содержания кадмия в воде изменялись от 0,021 до 0,87 мг/л, меди – от 0,16 до 7,4 мг/л, цинка – от 5,7 до 40,3 мг/л, свинца – от 0,001 до 0,5 мг/д<sup>3</sup>, мышьяка – от 0,005 до 0,53 мг/л, таллия – от 0,005 до 0,0021 мг/дм<sup>3</sup>, теллура – от 0,001 до 0,018 мг/л, сурьмы – от 0,005 до 0,13 мг/л.

Таким образом, в процессе дальнейшего расширения горно-эксплуатационных работ, увеличения площади и объемов отвалов и соответственно возрастания объема подотвальных вод прогнозируется дальнейший рост сульфатов, общей жёсткости, некоторое снижение рН, сопровождаемые накоплением в водах вышеуказанных микрокомпонентов. На фоне постепенного роста концентраций компонентов химического состава дренажных вод, возможно, их резкое увеличение в отдельные периоды, связанное с обработкой руд более богатых сульфидами.

Следует обратить внимание на процессы накопления сульфатных форм металлов, отмечаемое на других рудниках Урала [1, 3, 4]



## Литература

1. Белогуб Е.В., Щербакова Е.П., Никандрова Н.К. Сульфаты Урала: распространенность, кристаллохимия, генезис. – М.: Наука, 2007. 160 с.
2. Вострокнутов Г.А. Формирование и геохимические особенности рудных и ореольных вод сульфидных месторождений Урала / Формирование химического состава и запасов подземных вод Урала. – Свердловск: Изд. УФ АН СССР, 1968. С. 87-102.
3. Елохина С.Н. Геоэкологические проблемы затопленных рудников Урала / Под ред. О.Н. Грязнова. – Екатеринбург: ООО «УИПЦ», 2013. 187 с.
4. Елохина С.Н., Рыженко Б.Н. Вторичное минералообразование в природно-техногенных гидрогеологических системах колчеданных месторождений, моделирование образования фазы  $(\text{Fe}, \text{Mg})\text{SO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  при окислении сульфидов Дегтярского медно-колчеданного месторождения // Геохимия. – 2014. № 2. С. 1-15.
5. Емлин Э.Ф. Техногенез колчеданных месторождений Урала. – Свердловск: Изд. Уральского университета, 1991. 255 с.
6. Табаксблат Л.С. Состав техногенных дренажных вод рудных месторождений // Изв. ВУЗов: «Геология и разведка». – 2004. № 4. С. 43- 48.

## КРИТИЧЕСКИЕ ЗАМЕЧАНИЯ К ЧИСЛЕННЫМ ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИМ ПРОГНОЗАМ ДЛЯ ГОРОДСКИХ ТЕРРИТОРИЙ

Г.И. Батрак

Институт геоэкологии им. Е.М. Сергеева РАН, г. Москва. E-mail: gib74@mail.ru

В настоящее время накоплен значительный фактический материал по состоянию подземных вод урбанизированных территорий. Это позволяет выполнять гидрогеологические прогнозы высокоточными методами математического моделирования, которые учитывают множественные выявленные особенности геологической среды и влияющих на нее техногенных объектов.

Данные замечания носят обобщенный характер по отношению к гидрогеологическим прогнозам, выполняемым при обосновании строительства объектов на городских территориях. Прогнозы выполняются преимущественно в рамках инженерно-геологических изысканий. Безусловно, качество прогнозов зависит от профессионального уровня прогнозиста, объема исходной информации и времени, выделяемого на выполнение прогноза. Однако следует признать, что к настоящему времени сложились некие «стандарты» выполнения прогнозов при строительстве. Часть этих правил следует признать удачными, в том числе разного рода упрощения, если они не приводят к критической потере в качестве прогноза. Часть явно неудачные, и практика их применения должна быть упразднена, а часть просто требует обоснования применительно к конкретным условиям, которое далеко не всегда дается.

Основные недостатки численных моделей и их обоснования, на которые обратил внимание автор этой статьи, приведены ниже:

✓ Точный характер прогнозов. Любой прогноз по определению вероятностей. Тем не менее, гидрогеологические прогнозы в большинстве случаев выдаются в точной, точечной форме. В итоге непонятно, в какой степени такому прогнозу можно доверять. При гидрометеорологических изысканиях такие характеристики поверхностных вод, как расходы и уровни даются в вероятностной форме. Однако подземные воды более детерминированы. Поэтому определить точность и достоверность прогноза с использованием, например, категорий обеспеченности часто невозможно. Тем не менее, хотя бы эмпирическая экспертная оценка в виде доверительного интервала (точность) и условий попадания прогнозного уровня в этот интервал (достоверность) должна присутствовать. Она должна учитывать сезонные и многолетние колебания уровня, возможные изменения техногенной нагрузки, включая преобразования земной поверхности и т.д.

✓ Большинство прогнозов делается в стационарной постановке, в том числе, и на период строительства. При этом прогнозист не приводит достаточного обоснования исключения времени из расчетов. Например, с точки зрения водопритоков в котлован, такая постановка приводит к уменьшению водопритоков. А радиус депрессионной воронки, наоборот, может достигать размеров, которых в условиях непродолжительной откачки он не достигнет.

✓ Отсутствие карты гидроизогипс естественного потока. Некоторые гидрогеологи не строят карту гидроизогипс на момент изысканий, как и ни на какую другую дату. Карта же получается только в результате калибровки численной модели на основании совпадения модельных уровней и замеров в скважинах. Соответственно, непонятно, какую картину потока авторы прогноза восстанавливают при этом на модели. Такой подход нельзя признать удовлетворительным. Первоначально необходимо составить представление о потоке, выраженное в карте гидроизогипс, к воспроизведению которого и стремиться в процессе калибровки.

✓ Должна предоставляться карта фактического материала с указанием дат замера уровней. Так как карта гидроизогипс должна составляться либо на конкретную дату, либо на некую норму (среднегодовую, паводковую, межвенную), данные о времени замера уровня в скважинах помогает оценить достоверность карты гидроизогипс или помочь в пересчете или отбраковке исходных значений.

✓ Часто отсутствует фильтрационная схема, представленная в виде схематического разреза, проходящего через участок проектируемого строительства. На схеме должна быть четко показана вся гидродинамическая структура территории: характер потока, источники воды, направления ее движения, места разгрузки, показаны учитываемые горизонты и напоры в них, разделяющие слои и коллектора подземных вод и их сравнительная мощность. Также должны быть обозначены те особенности геологического строения и техногенных условий, которые прогнозист считает важными.

✓ Отсутствие в обосновании прогнозной модели анализа многолетнего и сезонного режима уровня подземных вод. Недоучет этого фактора может быть критическим для точности полученных прогнозов. В сезонном и много-

летнем разрезе уровни могут меняться на несколько метров. Исходным источником информации для выводов о характере режима должна являться опорная государственная или муниципальная наблюдательная сеть. Проводящийся предстроительный мониторинг продолжительностью редко более одного года не может дать достаточной информации об амплитудах колебания уровня. В случае серьезного влияния режима на результат прогноза целесообразно построить карты экстремальных уровней подземных вод (максимальных и минимальных) и составить два прогноза, охватив диапазон возможных изменений гидрогеологической обстановки под влиянием строительства.

✓ Сжатые сроки выполнения работы, недостаток финансирования и отсутствие доступа к архивам часто приводит к пренебрежению сбором архивных материалов по району работ. Иногда авторы ограничиваются только данными изысканий на участке строительства. Такой подход не выдерживает критики, так как после изучения фондовых материалов становится видно, что даже направление потока часто принимается ошибочно, не говоря о других параметрах и особенностях геологического строения.

✓ В последние годы наметилась тенденция на улучшение параметрического обеспечения моделей за счет результатов опытно-фильтрационных работ. Тем не менее, все еще нередко встречаются прогнозы, не имеющие в своей основе параметров, полученных непосредственно на исследуемой территории.

✓ Распределение фильтрационных параметров по площади и в разрезе должно быть не случайным, обеспечивающим совпадение модельных и натурных уровней, а базироваться на геологическом строении территории, в первую очередь, литологических разностях в разрезе. Для учета литологии целесообразно составлять карты-схемы литологических условий, совмещенные с фильтрационными параметрами, полученными в результате калибровки.

✓ Нередко наблюдается такое явление, как пренебрежение тонкими прослоями глин и суглинков, которые мало сказываются на латеральном потоке. Однако, на вертикальные характеристики фильтрационных свойств эти прослои оказывают весьма существенное влияние, и, в случае техногенного воздействия, результаты прогноза могут радикально отличаться. Удобным критерием здесь является площадь развития тонких линз слабопроницаемых грунтов. Если она несущественна по сравнению с размерами зоны возмущения, то ими в большинстве случаев можно пренебречь. Если же, несмотря на малую мощность, слабопроницаемые отложения выдержаны по простиранию, они обязательно должны быть учтены в модели.

✓ Наблюдается большая путаница с заданием фильтрационных характеристик заглубленных конструкций. Железобетонные конструкции можно в большинстве случаев принимать практически непроницаемыми. И, хотя автор этой статьи, во множестве видел монолитные конструкции очень низкого качества, которые серьезно протекали, предугадать это заранее не представляется возможным. Фильтрационные же свойства стены в грунте из буросекущих или буронабивных свай, а также из различных типов шпунта должны

рассчитываться в зависимости от характеристики стены и исходных фильтрационных свойств грунтов, в которых она устанавливается.

✓ Завышенные значения инфильтрационного питания также нередко встречаются в гидрогеодинамических прогнозах. Обосновывая утечками из водонесущих коммуникаций, авторы прогноза завышают инфильтрацию в два-три раза. Современные технологии позволяют делать трубы, которые «текут» гораздо меньше, чем 20-30 лет назад. На городских территориях в непрерывном режиме последние 15 лет идет замена устаревших и прокладка новых коммуникаций. В итоге такая значительная разница между природной и техногенной инфильтрацией в модели в общем случае является неоправданной. Для более точной дифференциации территории по условиям питания можно сделать анализ цифровой модели рельефа земной поверхности. На территории городов это лучше делать с учетом разбивки на кварталы. Места концентрации поверхностного стока в сочетании с низкими уклонами поверхности земли создают наиболее благоприятные условия для просачивания атмосферных осадков по сравнению с прочими территориями (при идентичном строении зоны аэрации). В таких местах на территории Москвы инфильтрация может достигать 100 мм/год. Для задания больших величин требуется обоснование с привлечением улик по техногенным источникам, которые имеют локальное влияние.

✓ Очевидно, что русловые отложения рек создают сопротивление. Поэтому нет никаких оснований для принятия в реках граничного условия первого рода. Известно, что в Москве-реке мощность и проницаемость русловых отложений меняется значительно вдоль по течению реки. Этот вывод делается в результате организации строительных котлованов вблизи речных берегов. На различных участках вдоль русла приток из реки в такие котлованы совершенно различен. Местами он практически не ощущается. Однако, сопротивление русловых отложений реки не закартировано. Это создает объективные трудности при задании реки в модели. То же касается и малых рек на территории города.

✓ Часто встречается и пренебрежение ролью переуглубленных врезов, приуроченных к руслам древних рек, которые играют роль очень активных дрен. Такие врезы необходимо картировать, а на территории Москвы, где подобная работа уже проведена, использовать эти карты. Опыт автора показывает, что такие долины оказывают сильное влияние на конфигурацию потока подземных вод и важны при калибровке.

✓ Частое использование граничного условия первого рода при ограничении потока. Граничное условие 1 рода при соответствующих условиях обеспечивает очень большой приток воды, которого с часто расположенного неподалеку городского водораздела просто не может быть. Особенно это проявляется при высоких градиентах потока. Выявить такую «несуразицу» можно по балансовым статьям модели. Обычно они сильно завышены.

✓ Часто, ограничиваясь в модели теми водоносными горизонтами, на которые оказывается непосредственное влияние, прогнозист не задает перетекание на нижней границе модели, вероятно полагая, что мощная толща

слабопроницаемых отложений не оказывает влияния на баланс и уровни воды в выше лежащих водоносных горизонтах. Это неверно. Упущение перетекания значительно сказывается на результатах калибровки, приводя к завышенным коэффициентам фильтрации в исследуемых пластах.

✓ Часто в прогнозах, выполненных методами численного моделирования не приводится анализ баланса модели, а порой и сам баланс. В то же время это один из основных индикаторов удовлетворительного подбора параметров и границ.

✓ Не проводится оценка чувствительности модели к параметрам и границам. По результатам такой оценки гидрогеолог, выполняющий прогноз, может сориентироваться, какие части его модели требуют наиболее точного обоснования, а какими можно в значительной степени пренебречь.

✓ Не приводится график соответствия замеренных в скважинах и модельных уровней, так называемая, функция качества. Не приводится карта разности между значениями естественного и восстановленного на модели потоков.

✓ Результаты прогнозов целесообразно оснащать картой глубин до уровня подземных вод, что нередко опускается в отчетных материалах. При этом в качестве исходной цифровой модели рельефа особенно при неглубоком залегании уровней лучше принимать не только абсолютные отметки устьев изыскательских скважин, но и данные топографической съемки.

✓ В случае выдачи рекомендаций по инженерной защите территории часто является вполне реальным воспроизвести эти мероприятия на модели и продемонстрировать их эффективность.

✓ Еще одним крупным недостатком является само использование дорогого и сложного метода численного моделирования в тех случаях, когда оно в принципе не является необходимым, и можно обойтись аналитическими решениями или даже экспертными оценками.

## **ИЗУЧЕНИЕ ФАКТОРОВ ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКОГО РИСКА В ГОРНОДОБЫВАЮЩИХ РАЙОНАХ РОССИИ И БЕЛАРУСИ**

**Г.И. Батрак\*, И.В. Галицкая\*, А.Л. Дорожко\*, Б.И. Коробейников\*\***

\* Институт геоэкологии им. Е.М. Сергеева РАН, Уланский пер., д. 13, стр. 2,  
Москва, 101000 Россия. E-mail: galgeoenv@mail.ru

\*\* Государственное научное учреждение «Институт природопользования  
Национальной академии наук Беларуси», ул. Ф. Скорины, 10, 220114, г. Минск,  
тел.(017) 267-26-32, факс (017) 267-24-13. E-mail: nature@ecology.basnet.by

В 2014 г. в рамках совместного гранта РФФИ-БРФФИ коллективами Института геоэкологии Российской академии наук им. Е.М. Сергеева и Института природопользования Национальной академии наук Беларуси были

начаты исследования, направленные на оценку рисков, обусловленных изменением гидрогеодинамических и гидрогеохимических условий на территориях размещения экологоопасных промышленных объектов России и Беларуси. Результаты первого этапа, в ходе которого был проведен анализ материалов по геологическому строению и гидрогеологическим условиям Кимканского железорудного месторождения (Россия) и Микашевичского месторождения гранита (Беларусь) и выполнена оценка гидроэкологических условий в зонах влияния действующих и проектируемых карьеров, приведены в [1]. На втором этапе были определены факторы, влияющие на точность и достоверность прогнозных оценок риска, а также оценены риски, возникающие при эксплуатации карьера. Основные результаты исследований приведены в настоящей статье.

Как было показано в [1,3], при освоении Кимканского месторождения одна из основных геэкологических проблем – изменение гидрологических и гидрогеологических условий при карьерном водопонижении. Предшествующими исследователями был выполнен региональный прогноз влияния разработки железорудного месторождения на гидрогеологические условия междуречья Кимкан – Сутара. Результаты предварительного численного моделирования геофильтрационных процессов при откачке воды из карьера показали возможность понижения напоров подземных вод в окрестности карьера и на междуречье в целом. В результате карьерного водопонижения возможен перехват речного стока малых рек, изменение условий подтопления пойм, подтягивания загрязнения подземных вод удаленных областей, перехвата подземных вод, используемых в прилегающих районах для водоснабжения [3].

К сожалению, данные о фильтрационных свойствах пород практически отсутствовали или были недостоверны. Для прогноза использовались сведения о геологическом строении территории, рельефе земной поверхности, проектной геометрии карьеров. При параметрическом наполнении создаваемой модели использованы осредненные показатели подземного стока как характеристики питания зоны активного водообмена.

Недостаточное обоснование фильтрационных параметров в значительной степени влияет на достоверность прогнозных оценок риска и увеличивает вероятность принятия неверных управленческих решений. Прогноз изменения гидрогеологических условий в результате водопритоков в крупные карьеры, расположенные в горном районе с крайне неоднородной геологией, особенно в отношении трещиноватых коллекторов подземных вод, является достаточно сложной задачей. Во-первых, геологические изыскания, включая опытно-фильтрационные работы, в таких условиях редко бывают достаточными для построения достоверных моделей даже при большом объеме изысканий. Во-вторых, преимущественная разгрузка подземных вод в таких районах часто происходит по системам крупных трещин тектонического генезиса. Как следствие, опытно-фильтрационные работы без подробного тектонического анализа дают слабое представление о закономерностях распространения фильтрационных свойств в массиве горных пород. Таким образом, ограниченность и недостоверность информации о параметрическом обеспече-

нии геофильтрационных моделей может рассматриваться как один из основных факторов риска в данном районе. В связи с этим в рамках данного проекта разрабатывался подход к оценке фильтрационных параметров с учетом трещиноватости различных по составу и возрасту блоков древних пород Кимканского месторождения в зависимости от тектонических условий.

При крупномасштабном линеаментном анализе территории Центрального и Западного участков Кимканского железнорудного месторождения были выделены линеаменты различных ориентировок и размеров. В этом масштабе преобладают линеаменты субмеридиональной ориентировки, присутствуют отдельные северо-восточные, северо-западные и субширотные линеаменты. Неотектонические разломы и региональные линеаменты, маркирующие значительные по размерам зоны трещиноватости на исследуемой территории отсутствуют. Большинство древних разломов, как надвигового типа субмеридионального простиранья, так и сбросо-сдвигового типа субширотного простиранья в линеаментном поле и в рельефе земной поверхности никак не проявлены. Эти разломы, являются давно отмершими и не оказывающими особого влияния на характер современной трещиноватости. Исключением является разлом, по которому сформировалось рудное тело Западного участка, здесь прослеживается довольно значительный линеамент северо-восточного простиранья.

Древние (доновейшие) тектонические блоки с отложениями разного состава и возраста: I – кимканская толща, нижняя подтолща (по одним данным верхнепротерозойского, по другим нижнекембрийского возраста). II – кимканская толща, верхняя подтолща, нижний кембрий. III – Центральный участок Кимканского месторождения. Кимканская толща, нижняя подтолща IV – Западный участок Кимканского месторождения. Кимканская толща, нижняя подтолща. V, VI, VII – лондоковская свита, нижний кембрий. VIII – Тырмобуреинский комплекс габбро-гранодиорит-гранитов, вторая фаза, средний-поздний карбон, IX – аллювиальные отложения, поздний неоплейстоценоголоцен.

Блоки, за исключением гранитов, внедрившихся позднее, и аллювиального комплекса, разделяются разломами надвигового типа субмеридионального или северо-восточного простиранья. Эти разломы параллельны осям складок и, вероятно, одновозрастны складчатости. Предполагалось, что эти разломы не оказывают существенного влияния на общую проницаемость блока, т.к. не подтверждается их современная активность или хотя бы работанность потоками поверхностных вод, что говорит об общности прочностных свойств этих разломов и массивов. Кроме того, в условиях сжатия, в которых образуются надвиги, преобладающая трещиноватость, параллельная разломам, должна быть закрытой. Исключение составляет зона разлома в блоке IV (Западный участок), который четко маркируется линеаментом. Здесь выделена наиболее проницаемая зона третьего типа.

Древние разломы, предположительно сбросового или сбросо-сдвигового типа, секущие блоки в субширотном и северо-восточном направлениях, также никак не проявлены в современном рельефе. Тем не менее, по

ним выделены зоны повышенной проницаемости первого типа (1). Предполагалось, что эти разломы могут характеризоваться незначительно повышенной трещиноватостью и проницаемостью, т.к. основная, и, возможно, оперяющая трещиноватость, параллельная разлому формировалась в условиях растяжения, характерных для сбросов, и может быть открытой. Зоны повышенной проницаемости второго типа (2), средние по относительной проницаемости, выделены по новообразованным линеаментам, которые являются современными зонами повышенной трещиноватости различного, в том числе тектонического, генезиса. В процессе дальнейших исследований предполагается определение направлений главных осей напряжений, в результате чего, возможно, появится возможность охарактеризовать степень раскрытости трещиноватости различных ориентировок. Зоны третьего типа (3) с предполагаемой наибольшей относительной проницаемостью на исследуемой территории три – это зоны наложения (западный участок) или пересечения линеаментов и древних разломов.

Следует отметить, что если длина выделенных зон повышенной проницаемости довольно определенная и соответствует длине линейных геологических образований, то ширина этих зон достаточно условна и может колебаться в довольно широких пределах.

Таким образом, исследуемая территория разделена на блоки в зависимости от состава и возраста слагающих их отложений (I-IX). Кроме того, по тектоническим признакам выделены зоны предполагаемой повышенной проницаемости трех типов (в зависимости от степени проницаемости от меньшей к большей) (1-3). Поскольку блоки сами по себе характеризуются различными гидрогеологическими условиями и проницаемостью, то в разных блоках проницаемость и характер трещиноватости в зонах одного типа может быть различной. Одинаковы только относительные показатели, т.е. в пределах одного блока предполагается, что проницаемость в зоне 1 будет наименее повышена, в зоне 2 средняя, а в зоне 3 наиболее повышена.

Районирование территории по фильтрационным условиям на основе тектонического анализа дало результаты, отличные от [3], когда толща принималась большей частью изотропной. Это объясняется тем, что различие фильтрационных параметров между разными зонами массива, полученное в результате тектонического анализа существенно выше, чем различие в параметрах внутри одновозрастной толщи со схожей структурой трещиноватости. Однако, масштаб ущерба, определяемый как сокращение подземного питания рек, по всем вариантам составил сотые доли процента.

Отличие между разными вариантами распределения параметров заключается в существенно различающихся удельных водопритоках в карьеры. При учете анизотропии за счет тектонических нарушений водопритоки становятся неравномерными.

*На территории карьера РУП «Гранит», расположенного вблизи г. Микашевичи в Беларуси была проведена оценка рисков от эксплуатации карьера РУП «Гранит», в результате которого происходит постоянное изменение гидродинамических гидрогеохимических условий в подземной гидро-*



сфере. В данном случае под гидроэкологическим риском понималось отношение величины возможного ущерба, выраженного в числе критических исходов от воздействия на этапах эксплуатации объекта. Таким образом, главное внимание при определении экологического риска должно быть направлено на анализ соотношения вредных экологических последствий, заканчивающихся критическими исходами, и количественной оценки как вредного суммарного экологического воздействия, так и его компонентов.

Как показали результаты оценки возникших рисков от эксплуатации карьера РУП «Гранит», существенный водоотлив из карьера (74,2 тыс. м<sup>3</sup>/сут.) будет негативно влиять на:

1) сработку емкостных запасов грунтовых вод (на расстоянии 6 км от карьера находится городской хозпитьевой водозабор «Случь-2», в структуре эксплуатационных запасов подземных вод которого решающая роль принадлежит перетеканию из грунтового горизонта, поэтому не исключена возможность истощения эксплуатируемого пинского водоносного комплекса);

2) дальнейшее снижение и прекращение стока каналов и рек;

3) снижение уровней грунтовых вод, которое окажет негативное воздействие на хвойную растительность и существенно уменьшит прирост древостоев, также окажет негативное воздействие на почвы, болотные воды, растительные сообщества и на сельскохозяйственную продукцию;

4) увеличение величины сброса минерализованных вод в речную сеть, что приведет к увеличению в поверхностных водах ПДК отдельных компонентов, установленных для водоемов рыбохозяйственного назначения;

5) уничтожение уникального месторождения железистых вод, перспективного для использования в бальнеологии;

6) возможное возникновение очага интенсивной разгрузки рассолов при дальнейшем углублении карьера и вскрытии новых зон повышенной трещиноватости в фундаменте.

Для минимизации геоэкологических последствий эксплуатации РУП «Гранит» предлагается использовать дренажные траншеи [4] или гидравлические и противодиффузионные завесы [2], однако, все предложенные методы недостаточно обоснованы. В настоящее время нет детальной информации о гидродинамических и гидрогеохимических условиях объекта из-за отсутствия режимной сети, нет экономической оценки эффективности предложенных мероприятий и не определено допустимое воздействие эксплуатации карьера на окружающую среду.

С учетом перечисленных рисков от эксплуатации карьера РУП «Гранит», возникла необходимость методически совершенствовать систему мониторинга подземных вод. Организация мониторинга подземных вод должна основываться на решении возможных оценок воздействия эксплуатации карьера на грунтовые воды, поверхностные водотоки и водоемы и также на выявление и изучение источника, обеспечивающего приток минерализованных вод в карьер. Ориентировочно минимальная режимная сеть должна состоять из семи кустов, в каждом из которых необходимо предусмотреть две скважины: одна – на грунтовый горизонт, вторая – на протерозой или архей.

Полученные результаты мониторинга позволят оценить гидродинамические и гидрогеохимические условия, разработать новую математическую модель объекта для прогнозных расчетов и обосновать предложения по минимизации геоэкологических последствий эксплуатации РУП «Гранит».

*Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (грант Бел-а 14-05-90010) и Белорусского республиканского фонда фундаментальных исследований.*

#### Литература

1. Галицкая И.В., Коробейников Б.И., Батрак Г.И. Гидрогеоэкологические проблемы в горнодобывающих районах России и Беларуси. Сергеевские чтения. Инженерно-геологические и геоэкологические проблемы городских агломераций. Материалы годичной сессии Научного совета РАН по проблемам геоэкологии, инженерной геологии и гидрогеологии. Москва, 2015. С. 328-333.

2. Гречко А.М., Панасенко В.А., Волков В.Е. Механизм формирования минерализации карьерных вод при освоении месторождения строительного камня «Микашевичи» и природоохранные мероприятия по ее снижению // Горный журнал. 2014. № 2. С. 30-38.

3. Лехов М.В., Арбузов А.И., Батрак Г.И., Костикова И.А. Региональный прогноз влияния разработки железорудного месторождения на гидрогеологические условия междуречья Кимкан – Сутара // Сергеевские чтения. Выпуск 11. М.: ГЕОС, 2009. с. 374-380.

4. Ясоев М.Г., Глебо Ю.А. Геоэкологические проблемы разработки Микашевичского месторождения строительного камня // Вестник БГУ серия 2. Химия, Биология, География. 2001. № 2. С. 71-76.

### СЛОЖНОСТИ И ПЕРСПЕКТИВЫ ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКОГО ОБОСНОВАНИЯ ДРЕНАЖА В ТОННЕЛЯХ ГЛУБОКОГО ЗАЛОЖЕНИЯ (НА ПРИМЕРЕ АЛАБЯНО-БАЛТИЙСКОГО ТОННЕЛЯ В МОСКВЕ)

**Г.И. Батрак, И.А. Костикова, И.А. Позднякова,  
Е.А. Карфидова, Л.С. Томс**

Институт геоэкологии им. Е.М. Сергеева РАН, 101000, Москва, Уланский пер. д. 13, стр. 2.

#### **Введение**

В настоящее время проектируется и вводится в эксплуатацию большое число автомобильных тоннелей на территории города Москвы. Это сопряжено с естественной потребностью города разгрузить автомагистрали при отсутствии достаточных свободных площадей для строительства наземных трасс и развязок. Новый этап в освоении подземного пространства города начался в 2003 г. с запуском Лефортовского тоннеля, в работах по которому

Институт геоэкологии также принимал участие. Глубина его заложения составила 30 м, а длина 3,2 км. Опыт последующей эксплуатации показал возможность строительства таких объектов на территории города. После чего в городе было введено в эксплуатацию несколько глубоких тоннелей, включая Северо-Западный тоннель глубиной 27 м и длиной 3,1 км.

Алабяно-Балтийский тоннель (АБТ) строится с 2006 г. в рамках проекта «Большая Ленинградка». После многочисленного перенесения сроков его полного открытия (в настоящее время тоннель открыт только в одну сторону) он, по всей видимости, будет полностью открыт в первой половине 2016 г. Однако большую сложность при его эксплуатации создают подземные воды, просачивающиеся в тоннель. В зимнее время эти протечки приводят к наледям на дороге, которые могут спровоцировать аварии. К сожалению, полностью герметизировать тоннель до настоящего времени не удалось. Все это определяет необходимость рассмотреть возможность водопонижения. Однако близко расположенные дома, многие из которых уже пострадали от строительства, а также проходящие выше тоннель метро и Волоколамский тоннель, требуют тщательного обоснования подобных решений.

#### ***I. Анализ влияния р. Таракановки на гидродинамическую ситуацию***

Долина и русло р. Таракановки по-прежнему четко выделяются в рельефе земной поверхности городского ландшафта. В бассейне выделены 9 притоков второго порядка по левому и 10 по правому бортам долины.

В ходе работы была проанализирована морфология современной земной поверхности, оценена унаследованность речной долины современным городским рельефом, выявлены направления и кратчайшие пути стоков (линии тока) и места концентрации поверхностных сточных вод, дана оценка длины путей и объемов концентрации поверхностного стока водосбора в границах кадастрового деления, исходя из предположения, что основной сбор дождевой канализации осуществляется по улично-дорожной сети.

Долина реки продолжает играть важную роль в аккумуляции поверхностных вод на территории. АБТ заложен по долине реки, и поверхностный сток со всех сопредельных территорий стремится к нему. Часть перехватывается сетью дождевой канализации, а часть достигает понижения в рельефе вокруг тоннеля и просачивается в грунт. Индекс топографической влажности показывает, насколько условия территории благоприятны для инфильтрации атмосферных осадков вниз в водоносные горизонты. В выявленной долине р. Таракановка и особенно в районе АБТ эти условия наиболее благоприятны. Несмотря на то, что сама река Таракановка в настоящее время канализована, ее заполненное рыхлыми песчаными отложениями русло служит коллектором воды, которая с учетом гораздо более глубокого заложения тоннеля по сравнению с руслом, интенсивно в него разгружается, собирая воду по погребенным под техногенными отложениями руслам притоков.

#### ***II. Анализ гидрогеологических условий на участке тоннеля***

В гидрогеологическом разрезе в интервале от поверхности земли до кровли келловей-оксфордских глин выделяются три водоносных горизонта: надморенный, распространенный фрагментарно; надьюрский, распростра-

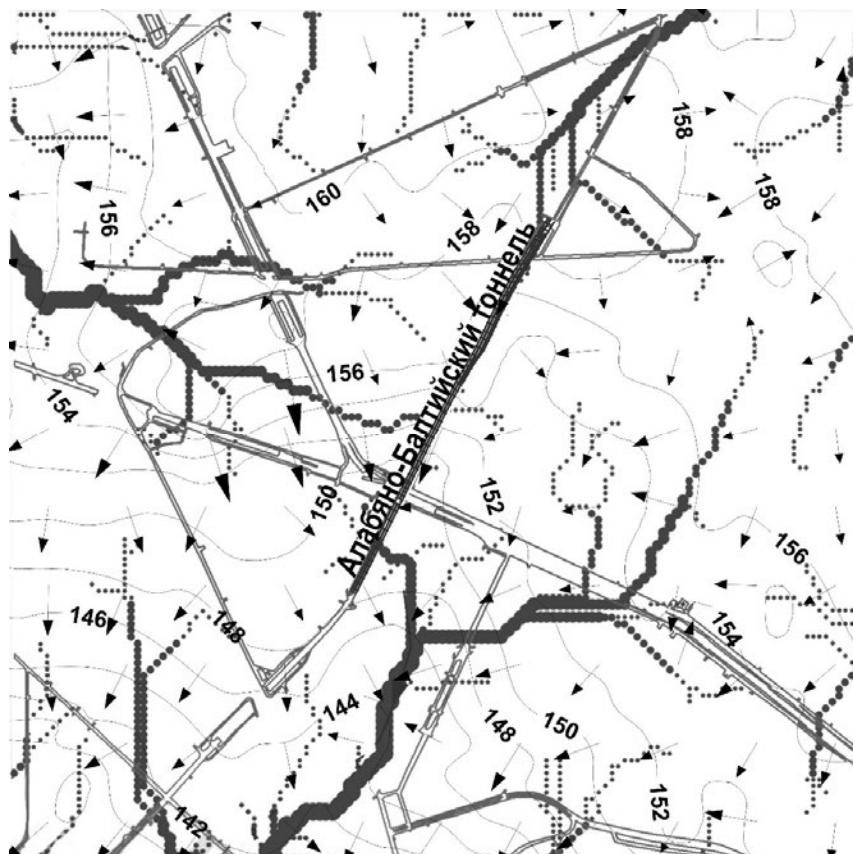
ненный повсеместно и юрский в фосфоритовых песках, распространенный фрагментарно. Водоносные горизонты верхней части разреза – надъюрский и юрский повсеместно отделены от более глубоких водоносных горизонтов в каменноугольных отложениях слабопроницаемыми келловей-оксфордскими глинами. Первым от поверхности земли водоносным горизонтом в верхнекаменноугольных отложениях является водоносный горизонт в перхуровских известняках, распространенный повсеместно. Надъюрский горизонт имеет сложное строение, обусловленное как неоднородностью геологического строения, так и литологической неоднородностью водовмещающих отложений.

В зависимости от геологического строения водовмещающие отложения могут включать или не включать аллювиальные пески, флювиогляциальные пески донского-московского горизонта, нижнемеловые пески, верхнеюрские пески и супеси и т.д. Вариантов строения толщи в разрезе много, меняются они часто. Следствием частой и резкой смены водовмещающих отложений является и фильтрационная неоднородность, которая подтверждается большим разбросом значений коэффициента фильтрации от 0.1 до 5 м/сут одних и тех же флювиогляциальных мелкозернистых песков.

В гидродинамическом отношении на участке тоннеля существуют предпосылки нисходящей фильтрации, так как уровни подземных вод надморенного водоносного горизонта на участках его распространения устанавливаются выше уровней подземных вод надъюрского водоносного горизонта. Естественные гидродинамические условия – условия питания и разгрузки, направление и скорости движения, изменение положения урвонной поверхности подземных вод на участке АБТ и прилегающей к нему территории были нарушены еще до его строительства и были связаны со строительством метрополитена и других подземных объектов инфраструктуры (рис. 1). Крупные подземные объекты (сам АБТ, а также другие находящиеся в непосредственной близости от него – тоннели метро, Волоколамский и Ленинградский тоннели, коллектор р. Таракановки) оказывают существенное влияние на подземные воды. Они изменяют направление движения естественного потока подземных вод, скорости фильтрации, глубину залегания уровня подземных вод, прежде всего на участках, где находятся.

В региональном плане возможно изменение положения областей питания и разгрузки подземных вод, расхода питания и разгрузки и статей общего баланса подземных вод на прилегающей территории. Перечисленные возможные изменения гидродинамических условий наряду с неоднородным строением гидрогеологического разреза и существенной фильтрационной неоднородностью водовмещающих отложений влияют на водоприитоки в тоннель и, в конечном счете, его безопасную эксплуатацию. Они должны быть учтены не только на участке АБТ, но и на прилегающей к нему территории в силу его большой протяженности и глубины заложения. Тоннель проходит в разрезе через весь неоднородный гидрогеологический массив и с гидродинамической точки зрения является самой глубокой дренажной, к которой устремляется поток подземных вод в обход других подземных сооружений с большой

площади из всей водонасыщенной толщи, залегающей над келловей-оксфордскими глинами.



**Рис. 1. Схематическая карта гидрогеологических условий до строительства АБТ (изолиниями показаны гидроизогибы надюрского водоносного горизонта, векторами – направление потока подземных вод, масштабным знаком – тальвеги погребенного дочетвертичного рельефа)**

### ***III. Результаты гидрогеодинамического моделирования***

В рамках работы была исследована область водосборного бассейна р. Таракановки и сопредельная с ней. В связи со сложными условиями строительства и сильной изменчивостью геологической среды для анализа и прогноза гидрогеологической ситуации, а также для гидрогеологического обоснования дренажной системы была создана численная гидродинамическая модель. Размер модели подбирался таким образом, чтобы охарактеризовать зону

преимущественного питания подземных вод, как в сложившихся условиях, так и на прогнозируемый период функционирования дренажа. Размеры области моделирования составили  $3900 \times 3900$  м. Основой гидрогеодинамической модели послужила трехмерная геологическая модель, созданная средствами ГИС MapInfo. Использовались архивные данные ИГЭ РАН из базы данных, накопленной в процессе крупномасштабного геологического картографирования и выполнения других проектов на территории Москвы. Эта база была дополнена результатами изысканий последних лет, выполненных при строительстве объекта. Всего для изучаемого участка было рассмотрено 1478 скважин суммарной глубиной 54078 м. Для построения 3-мерной модели были использованы 522 скважины суммарной глубиной 16125,7 м. Для построения цифровых поверхностей водоносных и слабопроницаемых пластов геофильтрационной модели были составлены 33 геологических разреза общей протяженностью 160,8 км.

Поскольку геофильтрационная модель создавалась для моделирования дренажа, то основной была проблема детализации и реализации на модели фильтрационной неоднородности водовмещающих отложений в надьюрском водоносном пласте, существенно влияющей на результаты моделирования вертикального дренажа. Так как часто сменяющиеся прослои разнородных песков, супесей и суглинков не выдержаны ни в разрезе, ни в плане, разбить всю толщу на несколько однородных слоев с разными фильтрационными свойствами, соответствующими литологии водовмещающих пород, оказалось невозможно. Разработанная оригинальная методика, позволяющая учесть хаотичный характер изменчивости литологии и фильтрационных параметров водовмещающей толщи, заключалась в разбиении надьюрского водоносного пласта на несколько расчетных пластов и пересчете по известным зависимости для центра каждого модельного блока коэффициентов фильтрации с учетом изменения мощности и коэффициента фильтрации преобладающих литологических разностей. Полученное количество расчетных пластов для надьюрского горизонта составило 5, а зон с уникальными значениями коэффициента фильтрации более 40.

Созданная таким образом исходная модель, в совокупности состоящая из 13 пластов, начиная с надморенного и заканчивая кровлей воскресенских глин, была реализована при помощи MODFLOW 2000, для чего использовалась лицензионная программа ввода, подготовки и вывода результатов Visual Modflow 4.3. После решения обратной задачи, т.е. восстановления на модели сложившейся до его строительства природно-техногенной ситуации, заключающейся в калибровке геофильтрационных параметров модели – коэффициентов фильтрации, параметров питания и граничных условий, модель была повторно разбита на 41 слой для более точного задания конструкций тоннеля и прочих подземных сооружений, а также водопонижительных скважин. На модели были проанализированы различные варианты организации дренажа, включая нулевой вариант (без дренажа). Показано, что между техногенно измененным уровнем в водоносном горизонте и дном тоннеля сохраняется значительный перепад высот, что приводит к просачиванию подземных вод в

тоннель. Анализ возможных технических решений по снижению водопритоков в АБТ показал, что допустимым вариантом является принудительный дренаж внутри контура стены в грунте. Законтурный дренаж, который мог бы перехватить поток на пути его движения к тоннелю, потребует гораздо больших мощностей водопонизительных установок, снизит уровень подземных вод на большей территории, чем при внутриконтурном дренаже, и даст больший приток в дренажную систему. Кроме того, этот вариант опасен еще и тем, что такое региональное понижение уровня подземных вод может вызвать просадки и активизацию экзогенных процессов на большой территории.

Другой вариант сброса воды в перхуровский водоносный горизонт через вертикальные перепускные скважины не позволит контролировать процесс дренирования, т.е. при активизации негативных процессов геологического или техногенного характера просто прикрыть такие скважины или уменьшить расход через них будет сложно. При таком варианте также возможно загрязнение каменноугольных горизонтов, имеющих питьевое назначение.

Таким образом, в качестве основного рассматривался вариант внутриконтурного дренажа, осуществляемый путем бурения скважин из колодцев дренажной сети, проходящей в днище тоннеля.

Согласно расчетам, общий приток в систему внутриконтурного дренажа на период достижения стационара составит порядка 2000 м<sup>3</sup>/сут при условии работы 103 водопонизительных скважин, оборудованных в дренажных колодцах. В случае использования этих скважин в качестве самоизливающихся (без принудительного отбора воды) уровень подземных вод снизится существенно, однако норма осушения на уровне полотна автодороги достигнута не будет. Тем не менее снижение градиента напора в ограждающей конструкции может привести к значимому уменьшению водопритоков в тоннель.

До начала работ по водопонижению в обязательном порядке нужно предусмотреть организацию мониторинга оседаний земной поверхности и деформаций зданий. При его проведении основное внимание следует уделить зданиям и сооружениям, которые не только попадают в зону влияния или непосредственно граничат с ней, но и отстоят от нее на несколько метров.

## УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДИКИ ОЦЕНКИ ЗАЩИЩЕННОСТИ ПОДЗЕМНЫХ ВОД ОТ ЗАГРЯЗНЕНИЯ

А.П. Белоусова

ФГБУН Институт водных проблем РАН, 119333 Москва, ул. Губкина д. 3.  
E-mail: belanna47@mail.ru

**26 апреля 2016 года исполнится тридцать лет после чрезвычайного и скорбного происшествия – аварии на Чернобыльской АЭС.** На территории России от этой аварии пострадали почти все центральные регионы ее европейской части, а наиболее сильно – Брянская, Тульская и Калужская области. Автор практически сразу после аварии стала заниматься проблемами мониторинга АЭС и защищенностью подземных вод от загрязнения радионуклидами. Была разработана методика среднемасштабной оценки защищенности подземных вод от загрязнения радионуклидами в упрощенном варианте, по которой была проведена оценка и картирование защищенности и уязвимости подземных вод на территориях Тульской и Калужской областей [1], затем эта методика была усложнена и проведена оценка и картирование для Брянской области [3], в настоящее время проведена оценка защищенности усовершенствованным методом для Тульской и Калужской областей, результаты которой приведены в двух других сообщениях.

Методика среднемасштабной оценки защищенности и уязвимости подземных вод к загрязнению разработана автором и опробована для нескольких регионов страны и опубликована в ряде публикаций [1-4].

Рассмотрим на примере Брянской области методику **оценки защищенности и уязвимости грунтовых вод к радиоактивному загрязнению в 200000 масштабе** [3-4].

При оценке возможности загрязнения подземных вод радионуклидами учитываются: сорбционные свойства, обеспечивающие задержание радионуклидов почвами и породами зоны аэрации; миграционные свойства почв и пород зоны аэрации, зависящие от физико-механических, водно-физических, фильтрационных свойств, их минералогического состава; путь фильтрации (инфильтрации), то есть мощность зоны аэрации или глубина залегания грунтовых вод; период полураспада радионуклидов и др.

Сорбция радионуклидов оказывает наибольшее значение на задержку их породами и почвами. Основной параметр, характеризующий сорбцию – коэффициент распределения радионуклида [3-4]. Почвы обладают наибольшей удерживающей способностью по отношению к радионуклидам, что и определяет их как буфер более высокого порядка, чем зона аэрации.

Выделяются четыре категории защищенности грунтовых вод от загрязнения: незащищенные, слабо защищенные, средне защищенные и условно защищенные. Самые токсичные из долгоживущих радионуклидов –  $^{90}\text{Sr}$  и



$^{137}\text{Cs}$ , поэтому оценка защищенности должна проводиться отдельно по каждому радионуклиду.

Защищенность грунтовых вод от любого загрязняющего вещества зависит от времени достижения фронтом загрязненных инфильтрационных вод водоносного горизонта ( $t_3$ ) в пределах каждого выделенного на карте защитной зоны типового участка. Время прохождения растворенным в воде радионуклидом толщи почв и пород зоны аэрации мощностью  $M$  с заполнением их сорбционной емкости и последующим достижением УГВ можно определить так [3-4]:

$$t_3 = \frac{M \vartheta n}{v} + \frac{M \vartheta \delta K_p}{W} ; \quad (1)$$

где  $K_p$ , л/кг – коэффициент распределения;  $\delta$ , кг/дм<sup>3</sup> – объемная масса скелета грунта,  $\vartheta n$ , – полная влагоемкость (в долях единицы);  $v$ , м/сут – скорость просачивания инфильтрационного потока [5]:

$$v = \frac{1}{\theta} \sqrt[3]{W^2 k_\phi} , \quad (2)$$

где  $\theta$  – естественная влажность пород (в долях единицы),  $W$  – инфильтрационное питание (м/сут);  $k_\phi$  – коэффициент фильтрации (м/сут).

Первое слагаемое в (1) характеризует движение влаги в ненасыщенной зоне (или движение нейтрального загрязняющего вещества), второе – физико-химическое взаимодействие (сорбцию) в системе порода-вода (или задержку загрязняющего вещества породой). В случае, когда коэффициент распределения значительно превышает единицу (как это характерно для радионуклидов) первым слагаемым в (1) можно пренебречь, как также и вторым, когда коэффициент распределения значительно меньше единицы).

Объединим (1) и (2):

$$t_3 = \frac{M \vartheta n \vartheta}{\sqrt[3]{W^2 k_\phi}} + \frac{M \vartheta \delta K_p}{W} ; \quad (3)$$

перепишем (3):

$$t_3 = a + b x ; \quad (4)$$

где:  $a = \frac{M \vartheta n \vartheta}{\sqrt[3]{W^2 k_\phi}}$ ;  $b = \frac{M \vartheta \delta}{W}$ ;  $x = k_p$ .

Выражение (4) – рекуррентная формула для расчета времени миграции загрязняющих веществ с различными значениями коэффициента распределения при всех других неизменяющихся величинах.

Для случаев изменения инфильтрационного питания преобразуем (1):

$$t_3 = \frac{M \vartheta n \vartheta}{\sqrt[3]{W^2} \sqrt[3]{k_\phi}} + \frac{M \vartheta \delta K_p}{W} ; \quad (5)$$

$$t_3 = \frac{a}{\sqrt[3]{y^2}} + \frac{b}{y} ; \quad (6)$$

где:  $a = \frac{M \vartheta n \vartheta}{\sqrt[3]{k_\phi}} ; \quad b = M \vartheta \delta K_p ; \quad y = W.$

Выражение (6) – рекуррентная формула для расчета времени миграции загрязняющего вещества при изменении инфильтрационного питания при неизменных других величинах.

$$t_3 = \frac{a}{\sqrt[3]{y^2}} + \frac{c x}{y} ; \quad (7)$$

где:  $a = \frac{M \vartheta n \vartheta}{\sqrt[3]{k_\phi}} ; \quad c = M \vartheta \delta ; \quad x = K_p ; \quad y = W.$

Выражение (7) – рекуррентная формула для расчета времени миграции различных загрязняющих веществ при различных величинах инфильтрационного питания.

Другой вариант расчетов:

Строится карта – матрица (карта – трансформер) с фиксированными значениями неизвестных параметров  $x$  и  $y$  ( $x = 1$  л/кг ,  $y = 100$  мм/год = 0.1 м/год) по формуле (4).

Теперь, если инфильтрационное питание при построении карты защищенности равно 100 мм/год, а коэффициент распределения загрязняющего вещества отличается от единицы, то время миграции загрязняющего вещества будет рассчитываться просто: первый член уравнения – время миграции нейтрального вещества остается неизменным, а время задержки загрязняющего вещества – второй член формулы (4) умножается на значение коэффициента распределения конкретного загрязняющего вещества, а суммарное время миграции определяется суммой первого и второго членов формулы (4).

Более сложный расчет при изменении величины инфильтрационного питания (6), перемножение на исходное значение инфильтрационного питания здесь не подходит. Необходимо ввести новую величину кратность инфильтрационного питания ( $\Delta$ ) для второго члена она будет равна:

$\Delta_2 = W/y$ , где  $W$  – заданное инфильтрационное питание,  $y$  – 0.1 м/год – фиксированное инфильтрационное питание. Тогда пересчет времени задерж-

ки загрязняющего вещества по второму члену (6) сведется к делению значения, полученного с фиксированными значениями на значение  $\Delta_2$ .

Значение  $\Delta_1$  для первого члена определяется более сложно:

$$\Delta_1 = \frac{W}{\sqrt[3]{y^2}}.$$

Пересчет миграции нейтрального вещества сведется к делению значения времени по первому члену на значение  $\Delta_1$ .

Расчет при изменении двух параметров по формуле (7) будет состоять из умножения второго члена на коэффициент распределения и деления на  $\Delta_2$ , а первого члена деления на  $\Delta_1$  с последующим суммированием этих двух членов.

Шкалу категорий естественной защищенности грунтовых вод от загрязнения целесообразно строить в зависимости от  $T$  – периода полураспада радионуклида (период полураспада  $^{90}\text{Sr}$  и  $^{137}\text{Cs}$  составляет порядка 30–ти лет). В этом случае выделяются следующие категории:

- незащищенные грунтовые воды:  $t_3 < T$ ;  $t_3 < 30$  лет;
- слабозащищенные грунтовые воды:  $T < t_3 < 2T$ ; 30 лет  $< t < 60$  лет;
- средне защищенные грунтовые воды:  $2T < t_3 < 3T$ ; 60 лет  $< t < 100$  лет;
- условно защищенные грунтовые воды:  $t_3 > 3T$ ;  $t_3 > 90$  лет.  $3T < t_3 < 10T$ ; 100 лет  $< t < 300$  лет;
- защищенные грунтовые воды:  $t_3 > 10T$ ;  $t_3 > 300$  лет.

Выделение категории по времени продвижения загрязняющего вещества через защитную зону по существу является приближенной прогнозной оценкой процесса загрязнения грунтовых вод в данном случае радионуклидами.

Карты естественной защищенности грунтовых вод от загрязнения  $^{90}\text{Sr}$  и  $^{137}\text{Cs}$  строятся на основе карты защитной зоны. Сравнение карт показывает, что наиболее опасен для грунтовых вод  $^{90}\text{Sr}$ , так как загрязнение им может охватить в короткий период ( $< 5$  лет) большие участки водоносного горизонта.

Рассмотренный подход к построению карт естественной защищенности грунтовых вод от радиоактивного загрязнения может быть использован при составлении аналогичных карт по оценке загрязнения высокотоксичными загрязняющими веществами.

**Оценка уязвимости грунтовых вод** проводится по реальному загрязнению и осуществляется путем наложения карты техногенной нагрузки по  $^{137}\text{Cs}$  [6] на карту защищенности грунтовых вод от загрязнения  $^{137}\text{Cs}$ .

Для характеристики уязвимости грунтовых вод к загрязнению  $^{137}\text{Cs}$  была разработана категоризация степени уязвимости по соотношению техногенной нагрузки по  $^{137}\text{Cs}$  к защищенности грунтовых вод от загрязнения  $^{137}\text{Cs}$ .

На схематической карте уязвимости грунтовых вод от загрязнения  $^{137}\text{Cs}$  (рисунок) показано, что в долине реки Ипуть в Брянской области распростра-

нены очень сильно и сильно уязвимые к загрязнению  $^{137}\text{Cs}$  грунтовые воды, на территории севернее реки Ипуть у государственной границы также распространены очень сильно уязвимые и сильно уязвимые грунтовые воды; в долине реки Сож и его притоков грунтовые воды преимущественно сильно уязвимые и уязвимые с отдельным участком очень сильно уязвимых грунтовых вод. По линии южнее городов Сураж, Стародуб, Трубчевск, Навля до государственной границы распространены сильно уязвимые, уязвимые и слабо уязвимые к загрязнению  $^{137}\text{Cs}$  грунтовые воды. На севере Брянской области от города Дятьково и вдоль границы области степень уязвимости грунтовых вод к загрязнению  $^{137}\text{Cs}$  изменяется от уязвимых до слабо уязвимых. В долинах рек распространены условно неуязвимые грунтовые воды, а на остальной территории – неуязвимые к загрязнению  $^{137}\text{Cs}$  грунтовые воды.

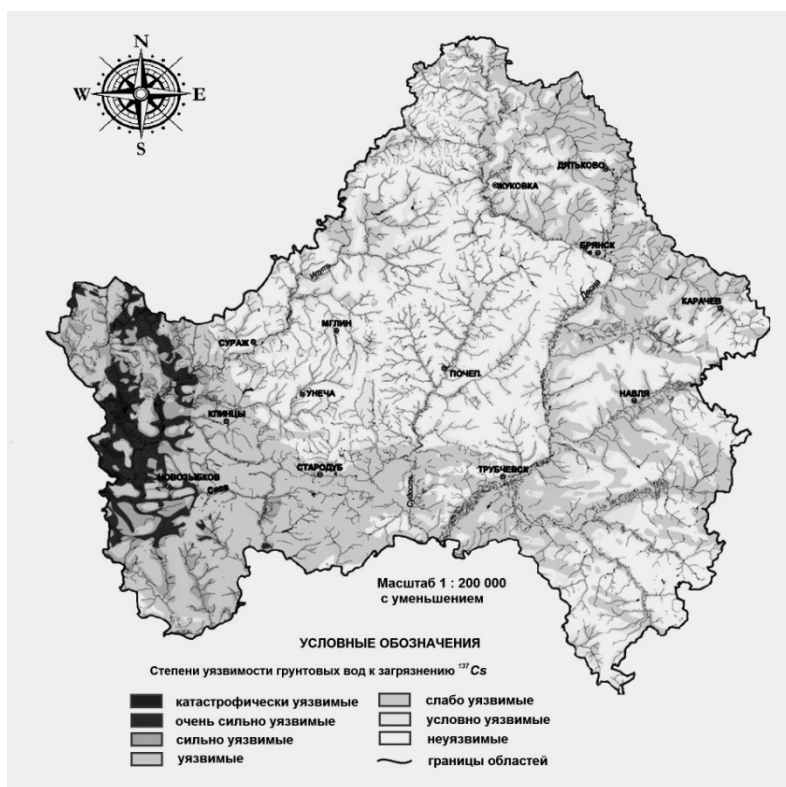


Рисунок. Схематическая карта уязвимости грунтовых вод к загрязнению  $^{137}\text{Cs}$  на территории Брянской области

## Литература

1. Белоусова А.П., Галактионова О.В. К методике оценки естественной защищенности подземных вод от радиоактивного загрязнения // Водные ресурсы. 1994. Т. 21. № 3. с. 340-345.
2. Белоусова А. П. Качество подземных вод. Современные подходы к оценке. М.: Наука, 2001. 340 с.
3. Белоусова А.П. Ресурсы подземных вод и их защищенность от загрязнения в бассейне реки Днепр и отдельных его областях: Российская территория. М.: ЛЕНАНД, 2005. 168 с.
4. Белоусова А.П. Оценка защищенности подземных вод от загрязнения радионуклидами // Вода: химия, экология. 2012. № 5. с. 11-17.
5. Биндеман Н.Н. Оценка эксплуатационных запасов подземных вод. М.: Госгеотехиздат, 1963. 203 с.
6. Карта радиоактивного загрязнения Европейской части и Уральского региона России цезием-137 по состоянию на январь 1993 года. Масштаб 1:500000. Израэль Ю.А. (ответственный редактор), Назаров И.М., Фридман Ш. Д. и др. Росгидромет, ИГКЭ, ИПГ, НПО «Тайфун», ВНИСХМ, ГМП «Рамон», ГНТП «Аэрогеофизика», Невскгеология, ГПП «Севзапгеология», ПГО «Казгеофизика».

## СРЕДНЕМАСШТАБНАЯ ОЦЕНКА УЯЗВИМОСТИ ПОДЗЕМНЫХ ВОД ОТ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ЧЕРНОБЫЛЬСКИМИ РАДИОНУКЛИДАМИ

А.П. Белоусова<sup>1</sup>, Е.Э. Руденко<sup>1</sup>, Ю.В. Миняева<sup>1</sup>, М.А. Кандина<sup>2</sup>

<sup>1</sup>ФГБУН Институт водных проблем Российской академии наук,  
119333 Москва, ул. Губкина д.3;

<sup>2</sup>Российский химико-технологический университет им. Д.И.Менделеева,  
Москва. Миусская площадь д.9.

E-mail: belanna47@mail.ru, schickal@rambler.ru, jminya77@mail.ru, mkandina@bk.ru

**После аварии на Чернобыльской АЭС прошло 30 лет, но проблемы с загрязнением окружающей среды радионуклидами будут сказываться еще долгое время.** Известно, что активность радиоактивных выпадений исчезает полностью после 10 периодов полураспада радионуклидов.

Рассмотрим изменение степени защищенности и уязвимости подземных (грунтовых) вод к загрязнению радионуклидами **на территориях Калужской и Тульской областей**, пострадавших от аварии на ЧАЭС. Основными радионуклидами в выпадениях являются <sup>137</sup>Cs и <sup>90</sup>Sr. За прошедшие 30 лет после аварии активность этих радионуклидов в поверхностных выпадениях должна снизиться вдвое против начальной после аварии, так как период полураспада их составляет около 30 лет.

Основные положения, которые на наш взгляд, следует учитывать при оценке и картировании защищенности грунтовых вод от загрязнения [1-3]:

1. Необходимо сформулировать, что мы понимаем под защищенностью грунтовых вод (ГВ) от загрязнения, от этого будут зависеть и методы ее оценки. Дадим авторские определения основных оцениваемых показателей.

**Защищенность** – способность защитной зоны препятствовать проникновению загрязнения в подземные воды в течение определенного времени.

**Защитная зона** – это зона, отделяющая подземные воды от поверхностного загрязнения и имеющая двухуровневое строение: почвы и породы зоны аэрации.

**Природный защитный потенциал** – способность геологической среды (почв и пород зоны аэрации) удерживать загрязнение в защитной зоне, зависящий от литологических, фильтрационных и сорбционных свойств почв и пород.

**Уязвимость** – отношение реальной техногенной нагрузки изучаемой территории к защищенности грунтовых вод.

#### **Среднемасштабная (1:200000) оценки защищенности и уязвимости грунтовых вод к загрязнению радионуклидами на территории Калужской области**

Оценка защищенности грунтовых вод осуществляется для предельных условий, когда предполагается, что загрязнение данным загрязняющим веществом распространяется на всю исследуемую территорию вне зависимости от его интенсивности.

Для построения карт защищенности и уязвимости грунтовых вод к загрязнению необходимо иметь комплект карт, последовательность построения которых отражена ниже [1-3].

##### **Карта защитной зоны**

Карта защитной зоны получается путем наложения почвенной карты, отображающей строение первого уровня защитной зоны, и карт, характеризующих строение второго уровня защитной зоны (глубин залегания и литологического строения зоны аэрации). На карте выделяются типовые участки, характеризующиеся определенным строением первого и второго уровней защитной зоны, и глубиной залегания грунтовых вод, описание этих типовых участков приводится в легенде к карте.

На карте защитной зоны площади со слабым защитным потенциалом приурочены к долинам рек в зоне радиоактивного следа на территории Калужской области. водораздельные пространства характеризуются средним защитным потенциалом и только локальные участки на юго-западе, западе и северо-западе отличаются сильным защитным потенциалом.

Карта защитной зоны является базовой для построения карт защищенности и уязвимости грунтовых вод к любым загрязняющим веществам.

##### **Карты защищенности грунтовых вод от загрязнения радионуклидами**

При оценке возможности загрязнения подземных вод радионуклидами учитываются: сорбционные свойства, обеспечивающие задержание радионуклидов почвами и породами зоны аэрации; фильтрационные свойства и глубина залегания грунтовых вод; период полураспада радионуклидов и др.

Миграция радионуклидов сопровождается физико-химическими процессами. Сорбция радионуклидов оказывает наибольшее значение на задержку их породами и почвами. Основным параметр, характеризующий сорбцию – коэффициент распределения радионуклида [2].

Самые токсичные из долгоживущих радионуклидов –  $^{90}\text{Sr}$  и  $^{137}\text{Cs}$ , поэтому оценка защищенности должна проводиться отдельно по каждому радионуклиду.

Защищенность грунтовых вод от любого загрязняющего вещества зависит от времени достижения фронтом загрязненных инфильтрационных вод водоносного горизонта ( $t_3$ ) в пределах каждого выделенного на карте защитной зоны типового участка. Время прохождения растворенным в воде радионуклидом толщи почв и пород зоны аэрации мощностью  $M$  с заполнением их сорбционной емкости и последующим достижением УГВ можно определить так [2]:

$$t_3 = \frac{M \vartheta n}{v} + \frac{M \vartheta \delta K_p}{W}; \quad (1)$$

где  $K_p$ , л/кг – коэффициент распределения;  $\delta$ , кг/дм<sup>3</sup> – объемная масса скелета грунта,  $\vartheta n$ , – полная влагоемкость (в долях единицы);  $v$ , м/сут – скорость просачивания инфильтрационного потока [4]:

$$v = \frac{1}{\theta} \sqrt[3]{W^2 k_\phi}, \quad (2)$$

где  $\theta$  – естественная влажность пород (в долях единицы),  $W$  – инфильтрационное питание (м/сут);  $k_\phi$  – коэффициент фильтрации (м/сут).

Первое слагаемое в (1) характеризует движение влаги в ненасыщенной зоне (или движение нейтрального загрязняющего вещества), второе – физико-химическое взаимодействие (сорбцию) в системе порода-вода (или задержку загрязняющего вещества породой). В случае, когда коэффициент распределения значительно превышает единицу (как это характерно для радионуклидов) первым слагаемым в (1) можно пренебречь, как также и вторым, когда коэффициент распределения значительно меньше единицы).

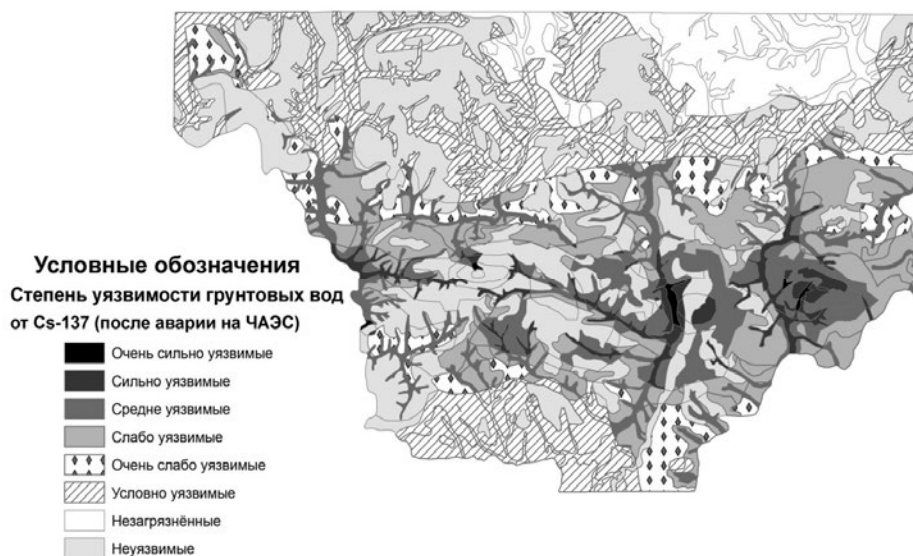
На карте защищенности грунтовых вод от загрязнения  $^{90}\text{Sr}$  показано, что около 50% территории незащищены от загрязнения  $^{90}\text{Sr}$ , 20% слабо защищены, еще 20% условно защищены в основном на севере и по 5% средне защищенные и защищенные ГВ.

Иная ситуация складывается при загрязнении  $^{137}\text{Cs}$ : незащищенные ГВ приурочены только к узкой полосе вдоль русел рек, слабо защищенные приурочены к долинам нескольких малых рек на северо-западе, средне защищенные – к высоким террасам рек, условно защищенные примыкают к водоразделам, преобладают условно защищенные и защищенные ГВ.

### **Карта уязвимости ГВ к загрязнению $^{137}\text{Cs}$**

Карта уязвимости ГВ к загрязнению строилась путем совмещения карты защищенности ГВ от загрязнения  $^{137}\text{Cs}$  и карты радиационной обстановки после аварии на ЧАЭС [5]. На рис. 1. показана степень уязвимости ГВ к загрязнению  $^{137}\text{Cs}$  в зоне радиоактивного следа сразу после аварии на ЧАЭС: очень сильно уязвимые ГВ сосредоточены на отдельных участках в среднем течении реки Ресета, сильно уязвимые – в долинах рек в центральной части следа, средне уязвимые – по долинам рек, притоков, оврагов и на востоке у реки Вытебеть, слабо уязвимые по водоразделам рек, очень слабо уязвимые по периферии следа, неуязвимые сосредоточены на высоких террасах рек и частично водоразделах рек.

Для оценки уязвимости ГВ спустя тридцать лет после аварии активность поверхностных выпадений  $^{137}\text{Cs}$  была уменьшена вдвое на карте [5], т.к. один период полураспада уже миновал. На карте уязвимости ГВ (рис. 2) на этот срок показано: что очень сильно уязвимых ГВ уже нет в зоне следа, сильно уязвимые сохранились узкими полосами в долинах рек и вдоль русел, средне уязвимые – на низких террасах рек, значительно уменьшились по площади; площади слабо уязвимых ГВ увеличились, также увеличились площади очень слабо уязвимых ГВ, площади условно уязвимых и неуязвимых не изменились.



**Рис. 1. Карта уязвимости грунтовых вод к загрязнению  $^{137}\text{Cs}$  после аварии на ЧАЭС**





**Рис. 2. Карта уязвимости грунтовых вод к загрязнению  $^{137}\text{Cs}$  спустя 30 лет после аварии на ЧАЭС**

### **Оценка защищенности грунтовых вод от загрязнения при изменении климата на территории Тульской области**

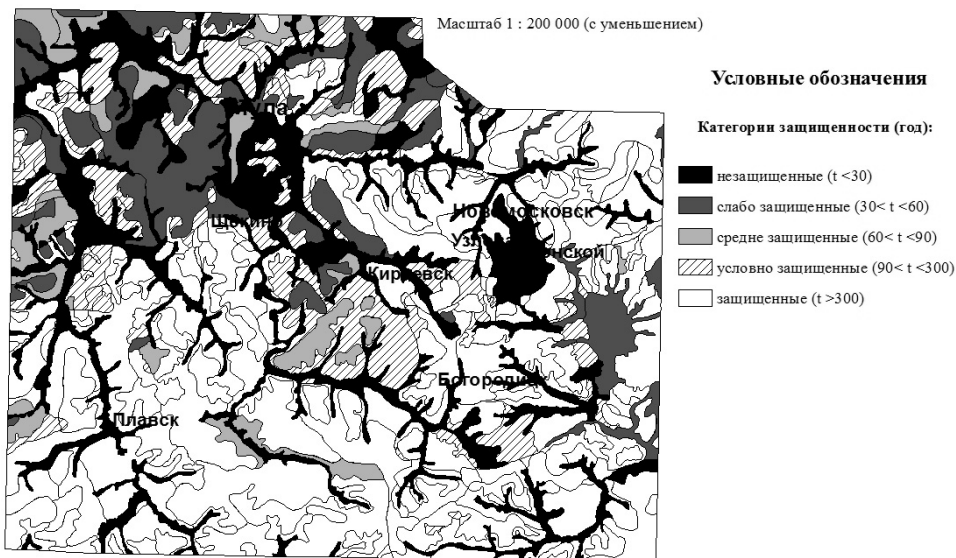
Выражение (1) позволяет рассчитывать время миграции различных загрязняющих веществ, изменяя только  $K_p$  индивидуальных загрязняющих веществ, при изменяющихся климатических условиях. Изменение климатических условий может быть учтено в (1) через вариации значений среднегодового инфильтрационного питания ( $W$ ).

При оценке защищенности возможный процесс изменения климата учитывался по следующим сценариям:

- 1<sup>й</sup> сценарий: современные климатические условия учитывались через  $W = 100$  мм/год (что в среднем составляет 20% от среднегодовых атмосферных осадков на изучаемой территории);
- 2<sup>й</sup> сценарий: условия иссушения климата учитывались через  $W = 60$  мм/год;
- 3<sup>й</sup> сценарий: условия увлажнения климата учитывались через  $W = 200$  мм/год.

Карты естественной защищенности ГВ от загрязнения  $^{90}\text{Sr}$  и  $^{137}\text{Cs}$  строятся на основе карты защитной зоны. Сравнение карт показывает, что наиболее опасен для ГВ  $^{90}\text{Sr}$ , так как загрязнение им может охватить в короткий период ( $< 5$  лет) большие участки водоносного горизонта.

а) Карта защищенности подземных вод от загрязнения Sr90 при W = 100 мм/год



б) Карта защищенности подземных вод от загрязнения Sr90 при W = 200 мм/год

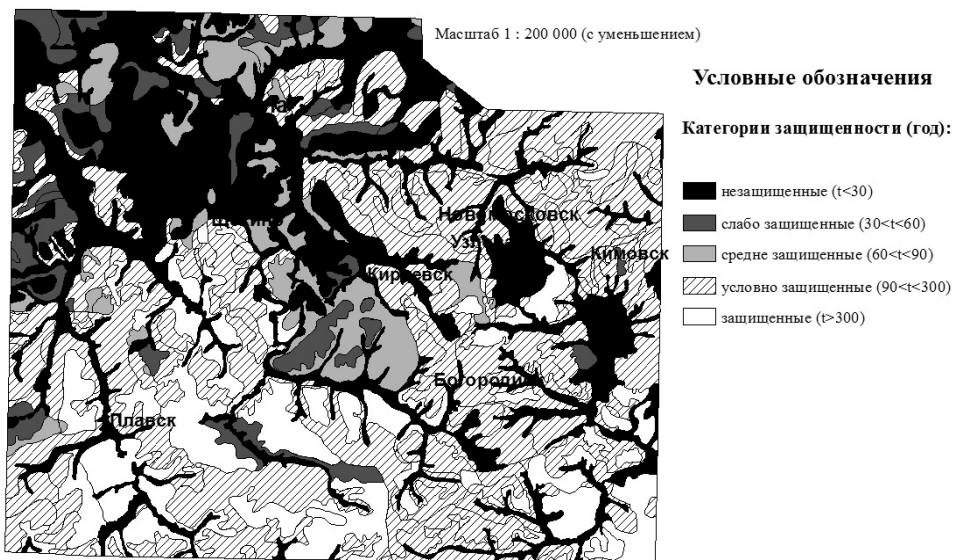


Рис. 3. Карта защищенности подземных вод от загрязнения  $^{90}\text{Sr}$ :  
а – при  $W = 100$  мм/год, б – при  $W = 200$  мм/год

Динамика изменения степени защищенности ГВ от загрязнения  $^{90}\text{Sr}$  в условиях возможного изменения климата четко прослеживается (рис. 3). При иссушении климата при уменьшении инфильтрационного питания почти вдвое против современной площади распространения незащищенных и слабо защищенных ГВ преимущественно сосредоточены в долинах рек, на современном этапе площади слабо защищенных вод значительно увеличились, хотя площади незащищенных вод практически не изменились, а при увлажнении климата вдвое площади незащищенных и слабо защищенных вод увеличились, а еще более увеличились площади условно защищенных ГВ. Скорости продвижения радионуклида значительно возрастают при увлажнении климата, что создает высокую опасность интенсивного загрязнения ГВ этими загрязняющими веществами.

Предложенная усовершенствованная методика среднемасштабной оценки защищенности подземных вод от загрязнения позволяет проследить возможные вариации развития процесса загрязнения в зависимости от индивидуального загрязняющего вещества от нейтрального до высоко токсичного при различных сценариях изменения климата от иссушения до его увлажнения.

#### Литература

1. Белоусова А. П. Качество подземных вод. Современные подходы к оценке. М.: Наука, 2001. 340 с.
2. Белоусова А.П. Ресурсы подземных вод и их защищенность от загрязнения в бассейне реки Днепр и отдельных его областях: Российская территория. М.: ЛЕНАНД, 2005. 168 с.
3. Белоусова А.П. Оценка защищенности подземных вод от загрязнения радионуклидами // Вода: химия, экология. 2012. № 5. С. 11-17.
4. Биндеман Н.Н. Оценка эксплуатационных запасов подземных вод. М.: Госгеотехиздат, 1963. 203 с.
5. Карта радиационной обстановки на территории европейской части СССР по состоянию на декабрь 1990 г. Плотность загрязнения местности цезием-137. М.: Госкомгидромет СССР, 1991.

## ЭКОЛОГО-ГИДРОГЕОХИМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ПРИРОДНЫХ ВОД ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ СОЧЛЕНЕНИЯ ВОЛГО- КАМСКОГО И ПРИКАСПИЙСКОГО АРТЕЗИАНСКИХ БАССЕЙНОВ

А.П. Бутолин\*, В.А. Щерба\*\*

\* Оренбургский государственный университет, 460018, г. Оренбург, пр. Победы д. 13, геолого-географический факультет, кафедра геологии. E-mail: butolin45@list.ru

\*\* Московский педагогический государственный университет, 129626, г. Москва, ул. Кибальчича д. 16, географический факультет, кафедра экологии и наук о Земле. E-mail: shcherba\_va@mail.ru

Восточно-Европейская артезианская область относится к главным артезианским областям России. Гидрогеологические условия юго-восточной окраины Восточно-Европейской артезианской области, включая территорию Оренбуржья, южные окраины Татарстана, Башкортостана и Северного Казахстана, определяются совокупностью геолого-тектонических и физико-географических факторов, наиболее важными из которых являются:

- приуроченность к сочленению трех крупных тектонических структур – Волго-Уральской антеклизе, Прикаспийской синеклизе и Предуральскому краевому прогибу;
- наличие в разрезе осадочного чехла трех структурных этажей, сложенных верхнепротерозойскими, вендско-девонскими, каменноугольно-нижнепермскими, верхнепермско-юрскими и кайнозойскими отложениями;
- широкое распространение карбонатных пород палеозойской группы;
- развитие в южной и восточной половине территории мощных сульфатно-галогенных толщ нижней перми и, частично, небольших по мощности в верхней перми (гидрохимическая свита);
- проявление солянокупольной тектоники;
- неотектонические движения амплитудой до 300–350 м за плиоцен-четвертичное время, приведшие к формированию современного гидродинамического (разгрузки и перетекания подземных вод) и гидрологического режимов;
- ландшафтно-климатические обстановки (от лесной зоны до южных степей Северного Прикаспия, равнинно-холмистый рельеф, неглубокий врез речных долин до 60–120 м);
- центробежный характер стока рек со среднегодовым модулем 1,5–3 л/с км<sup>2</sup>.
- территория представлена преимущественно сушей и имеет выход к Каспийскому морю. Озера и болота развиты лишь в поймах рек бассейнов Урала, Волги, Белой, Эмбы и есть отдельные озерные котловины экзогенного, суффозионного, карстового, карстово-техногенного и тектонического происхождения [5].

С целью выяснения взаимоотношений Волго-Камского и Прикаспийского артезианского бассейнов в связи с прогнозом геоэкологических послед-

ствий эксплуатации УВ-содержащих осадочных толщ Южно-Оренбургского нефтегазоносного района и Оренбургского нефтегазоконденсатного месторождения (ОНГКМ) и Карачаганакского НГКМ рассмотрены основные характеристики региона.

В контурах внутриплитных осадочных бассейнов России уже более полувека ведется бурение большого числа глубоких и сверхглубоких скважин, извлекаются гигантские объемы газовых и жидких углеводородов с поддержанием пластового давления, закачкой промышленных и попутных пластовых вод в глубокие поглощающие горизонты, в толщах каменной соли методом выщелачивания строятся подземные резервуары, производятся подземные взрывы для создания емкостей и изучения глубинного строения земной коры, ведется ликвидация излишков ВВ военными ведомствами на своих полигонах плановыми взрывами.

Но последствия такого энергоемкого и крупномасштабного воздействия на верхние слои земной коры на здания, промышленные установки и конструкции на фоне планетарных тенденций геодинамического режима литосферы остаются недостаточно понятыми и изученными, что отражается на прогнозе возможных научно обоснованных геоструктурных, геодинамических и геоэкологических изменений и снижает практическую обоснованность освоения территории и проектирования новых промышленных объектов. Нередко высказываются опасения о непредвиденных последствиях – авариях, катастрофах (на примере выбросов газа на Карачаганакском НГКМ, землетрясениях на нефтяных месторождениях Татарстана). В зоне сочленения Волго-Уральской антеклизы и Прикаспийской синеклизы также фиксируют сейсмические события, связанные с упомянутыми выше техногенными воздействиями на приповерхностные толщи земной коры, отмечаются прихваты и искривления стволов скважин в соленосных толщах, перетоки газовых и жидких углеводородов и пластовых рассолов по затрубью скважин в верхние водоносные горизонты, прорывы газа из продуктивной толщи в атмосферу (Карачаганакское месторождение). В этом отношении внедрение сейсмического мониторинга службами ООО Оренбурггазпром и Оренбургского отдела геоэкологии ОНЦ УрО РАН в районе Оренбургского НГКМ своевременно и весьма перспективно. Сейсмический мониторинг следует вести и на Карачаганакском нефтегазоконденсатном месторождении, разрабатываемом международным консорциумом «Карачаганак Петролиум Оперейтинг Б. В.» в составе British Gas и Eni, Chevron Техасо, «Лукойла» и казахской национальной нефтегазовой компании «КазМунай-Газ».

Из общих положений флюидогеодинамики известно, что Волго-Камский и Прикаспийский артезианские бассейны, испытывающие сейчас техногенное воздействие, имеют длительную и сложную историю и сформировались и существуют в этапы тектонической стабилизации при изостатическом выравнивании литосферы [1]. Имея общее северное северо-восточное направление перемещения литосферных блоков и разнонаправленные направления движений блоков пород по вертикали, здесь формируются специфические гидродинамические режимы. В таких бассейнах формируется и су-

существует определенный тип физико-химической (температура, минерализация, ионно-солевой и газовый состав) и гидродинамической (области питания, пластовые давления, направленность глубинного стока) зональности, как по площади, так и по разрезу. Поэтому изменение гидрогазодинамических, геохимических, температурных и других балансов водонапорных систем, сформировавшихся и развивающихся по природным физико-химическим законам, можно рассматривать как информацию для обоснования детальных гидрогеологических исследований по выявлению последствий геотехногенного вмешательства.

Исследования водоносности пород кристаллического фундамента на рассматриваемой территории не проводились.

Мощность осадочного чехла на южном окончании Татарского свода изменяется от 1,6 до 2 км. В сторону Прикаспийской синеклизы фундамент погружается на 5-16 и более км, в Предуральском краевом прогибе – до 8-15 км [4].

Исследуемая территория расположена в среднем течении р. Урал в районе г. Оренбурга и г. Аксай (Казахстан), и для нее характерен ряд экзогенных структур второго порядка, имеющих куполовидное строение, часто связанных с соляной тектоникой. Поверхностные воды в районе представлены р. Урал, ее левобережными притоками – Бердянка, Донгуз, Черная, Илек, правобережными притоками – Сакмарой, Черной, Чаган и старичными озерами. Все малые реки несут воду повышенной минерализации. Река Бердянка несет воды хлоридно-натриевого состава, Донгуз имеет воду содового типа повышенной минерализации до 1,5 г/дм<sup>3</sup>, река Илек загрязнена отходами Актюбинского металлургического комбината, попадающими в р. Урал.

Вода р. Урал в 1990-е гг. по макрокомпонентному составу во всех опробованных пунктах удовлетворяет существующим питьевым нормам: сульфатно-натриевый подтип с минерализацией 0,62-0,70 г/дм<sup>3</sup> и величиной жесткости 5,0-5,8 мг-экв/дм<sup>3</sup>. Полноводная река Сакмара также имеет воду сульфатно-натриевого типа. Прикаспийский артезианский бассейн отделен от Волго-Камского бассейна Соль-Илецким выступом и Бузулукской впадиной, которая рассматривается исследователями как своеобразный залив Прикаспийской впадины, и серией глубинных разломов, имеющих небольшую ширину и значительную протяженность. В Прикаспийской впадине выделяется ряд впадин меньших размеров; в частности, Центрально-Каспийская глубиной до 22 км, имеет длину 225 км и ширину до 100 км. Изучен Прикаспийский артезианский бассейн по периферийным его частям, Фундамент бассейна сложен кристаллическими сланцами и гнейсами AR, гранитоидами PR<sub>1</sub>. В осадочном чехле бассейна выделяют подсолевой, солянокупольный и верхний комплексы пород [1,2].

В подсолевом комплексе пород Прикаспийского бассейна на севере и востоке разрез от D<sub>3</sub>-C<sub>1</sub> до P<sub>1</sub>kg охватывает максимальные глубины от 2233 м до 4300 м, на ОНГКМ (от O-D<sub>3</sub> до P<sub>1</sub>kg) – 1300-2638 м. Таким образом, глубина залегания подошвы одновозрастных пород возрастает к Прикаспию примерно в 2 раза. По составу толщи подсолевых пород представлены в ос-

новном карбонатными отложениями – известняками и доломитами, в Прикаспии отмечены прослои ангидрита и гипса ( $C_2-C_3$ ); маточные рассолы в обоих районах связаны с соленосными накоплениями  $P_1kg$  (иренский горизонт). Минерализация рассолов в Прикаспии достигает 216-478 г/л, а на территории ОНГКМ – 260-365 г/л. В Прикаспийском бассейне наблюдается снижение минерализации вод от  $P_1kg$  до  $D_3-C_1$  478 г/л – 280 г/л – 216 г/л, в пределах ОНГКМ выявлена тенденция к снижению: 365 г/л – 280 г/л – 260 г/л [7].

В отложениях, приуроченных к одному и тому же комплексу пород, происходит увеличение минерализации рассолов от Прикаспийской впадины к ОНГКМ. Так толщи пород  $O-D_3-C_1$  во впадине содержат воды с минерализацией 185-216 г/л, на ОНГКМ – 256-286 г/л, а породы  $C_2-C_3$  – 185-216 г/л и 240-260 г/л соответственно. В водоносных комплексах  $P_1$  рассолы характеризуются примерно одинаковой минерализацией в обоих районах: 246-280 г/л и 237-260 г/л. Только «маточники»  $P_1kg$  яруса отличаются снижением минерализации от Прикаспийской впадины (478 г/л) к ОНГКМ (365 г/л). Содержание иона  $K^+$  в рассолах  $C_2-C_3$  достигает в Прикаспии 20,4 г/л, в маточниках  $P_1kg$  – 13 г/л, в маточниках ОНГКМ – 42 г/л. Ионов  $Bг$  больше всего в маточных рассолах Прикаспия – до 9 г/л, на территории ОНГКМ – до 5,4 г/л. Величина  $C_1/Bг$  коэффициента определена только в водах  $P_1kg$  ОНГКМ, где она составляет 42-62, в прочих же рассолах возрастает до 200-300 (приближается к морской воде – 300) [6,7].

Таким образом, установлено увеличение минерализации подсолевых рассолов в направлении от Прикаспийской впадины к территории ОНГКМ для одного и того же комплекса пород, или равенство минерализации для пород  $P_1as$  –  $P_1s$ . Выявлено наличие аномального гидрохимического разреза в Прикаспийском бассейне, выраженного падением минерализации с глубиной на севере бассейна; обилие соляных куполов, охватывающих всю толщу пород (10-11 км) надсолевого комплекса, вплоть до  $Q$  отложений.

Проведенные исследования взаимоотношения позволяет сделать следующие выводы:

1. Пресные воды, разгружающиеся в гидрографическую сеть, известны в Волго-Камском бассейне практически по всему их разрезу (от карбонатных пород  $D_2-C_1$ ). Рассолы выявлены преимущественно в Бузулукской впадине, на Оренбургском своде и на ОНГКМ и они характеризуются сложным передвижением – вниз-вверх по породам, а главное – в сторону Прикаспийской впадины. Рассолы, формирующиеся в  $P_1kg$  толщах Бузулукской впадины, также перемещаются на юг и достигают района ОНГКМ [3,4].

2. «Запечатанный» характер и спорадическое распространение имеют рассолы-маточники. Они выявлены в соленосных отложениях  $P_1kg$  на границе ангидритов с солями и в лагунно-морских толщах  $P_1-T$ . Характеризуются высокой минерализацией до 365 г/л, содержат много  $K^+$  – до 42 г/л, принадлежат к хлоридно-магниевому подтипу и имеют низкий  $C_1/Bг_2$  коэффициент – 42-62 (до 119). Перемещение маточных рассолов происходит только искусственным путем – на ОНГКМ или извлекаются для практических целей.

3. Рассолы подсолевых отложений Прикаспийского региона, находящиеся на глубинах, вдвое превышающих глубины залегания одновозрастных толщ на территории ОНГКМ, вряд ли передвигаются в сторону месторождения. Об отсутствии элизионного режима свидетельствуют ряд факторов, связанных с распределением величин минерализации, наличием инверсионных гидрохимических разрезов в Прикаспии и присутствием соляных куполов [2,3,4]. Тем не менее, интересным является вывод В.И. Кузнецова о латеральной миграции вод из глубинных зон Прикаспия в сторону Волго-Уральской антеклизы по водоносным толщам девонского возраста [1].

4. «Запечатанные» маточные рассолы  $P_{1kg}$  Прикаспия имеют спорадическое распространение, содержат до 478 г/л растворенных солей, количество  $K^+$  в них составляет до 13 г/л,  $Br^-$  – до 8,9 г/л,  $J^+$  – до 25 мг/л. Они принадлежат к хлоридно-магниевому подтипу; данные об их перемещении отсутствуют.

Имеющиеся данные по гидрогеохимическим условиям юго-востока Восточно-Европейской платформы создают предпосылки для геоэкологического прогноза гидрогеохимических взаимоотношений территорий горнодобывающих районов Прикаспийского и Волго-Камского артезианских бассейнов и бассейна трещинных вод горноскладчатого Урала и Западносибирского артезианского бассейна.

#### Литература

1. Басков Е.А. Проведение палеогидрогеологического анализа при региональных работах. Методическое руководство. СПб.: Изд-во ВСЕГЕИ, 1998. – 191 с.
2. Бутолин А.П., Щерба В.А. Проблемы геоэкологического мониторинга района Оренбургского НГКМ и прилегающих территорий // География и смежные науки. LXI Герценовские чтения / Матер. межвуз. конф. СПб.: Тесса, 2008. – С. 29-34.
3. Бутолин А.П., Щерба В.А. Техногенное воздействие на состояние геологической среды нефтедобывающих регионов Южного Предуралья // Геология в школе и вузе / VII Международная конференция: Сб. научных трудов. Т. I / под ред. Е.М. Нестерова. СПб.: Изд-во РГПУ им. А.И. Герцена, 2011. – С. 295-302.
4. Геологическое строение и нефтегазоносность Оренбургской области. А.С. Пантелеев, Н.Ф.Козлов, П.И. Постоевко и др. / под ред. А.С. Пантелеева, Е.О. Козлова. Оренбург: Оренбургское кн. изд-во, 1997. – 272 с.
5. Гидрогеология Европы. В 2 томах. М.: Недра, 1989. Т. 1. – 534 с.
6. Самарина В.С., Бутолин А.П. О гидрогеохимических взаимоотношениях района Оренбургского нефтегазоконденсатного месторождения с Волго-Камским артезианским бассейном // Вопросы региональной геоэкологии и геологии. Совместный вып. Оренбург. филиала ГИ УрО РАН и Ю.-У. отделения МАНЭБ. – Оренбург: ИПК ОГУ, 2002. – С. 10-16.
7. Самарина В.С., Бутолин А.П. О гидрогеохимических взаимоотношениях района Оренбургского нефтегазоконденсатного месторождения с Прикаспийским артезианским бассейном // Вопросы региональной геоэкологии и геологии. Совместный вып. Оренбург. филиала ГИ УрО РАН и Ю.-У. отделения МАНЭБ. Оренбург: ИПК ОГУ, 2002. – С. 17-24.



## **ИНФОРМАТИВНОСТЬ ПРЕЦИЗИОННОГО МОНИТОРИНГА ПОДЗЕМНЫХ ВОД В ПЛАТФОРМЕННЫХ УСЛОВИЯХ**

**Э.М. Горбунова, А.Н. Беседина, Е.А. Виноградов, И.С. Свинцов**

Институт динамики геосфер РАН, 119334, Россия, Москва, Ленинский проспект, 38, корп. 1.  
E-mail: emgorbunova@bk.ru

На современном этапе градостроительства и промышленного освоения платформенных территорий необходимо учитывать взаимосвязь между геомеханическими и гидрогеодинамическими процессами в массиве горных пород. Традиционно для диагностики напряженно-деформированного состояния геологической среды используется комплекс стандартных наблюдений за геофизическими полями (сейсмическим, вибрационным и др.) и мониторинг режима подземных вод. Прецизионные измерения уровня водоносного горизонта в стабильных геодинамических условиях применяются ограниченно и эпизодически.

В частности, в 1986-1987 гг. на скважине «Обнинск» проводились синхронные измерения уровня подземных вод и атмосферного давления с интервалом дискретизации 1 час [1]. По результатам обработки временных рядов уровня воды в скважине и атмосферного давления были определены коэффициенты барометрической и приливной эффективности системы «пласт-скважина», рассчитаны амплитуды и фазы основных типов приливных волн, выделенных в гидрогеологических данных.

В 1991-1994 гг. высокоточный мониторинг уровня разновозрастных водоносных горизонтов выполнялся в скважинах, расположенных в пос. Зеленый Ногинского района Московской области и на северо-западе Москвы [4]. На основе полученных данных была разработана методика совместного анализа приливных вариаций уровней подземных вод, направленная на выделение информативных интервалов, соответствующих теоретически рассчитанным приливным объемным деформациям грунта.

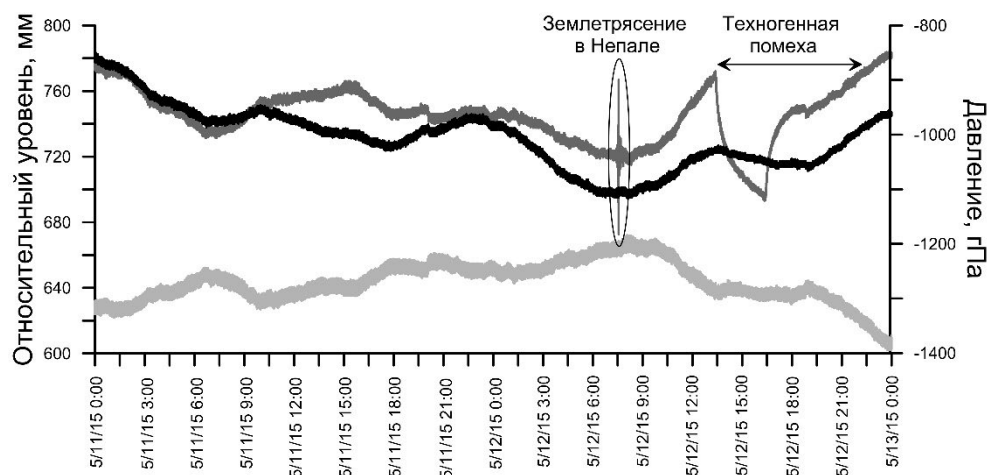
С 2008 г. и по настоящее время на территории геофизической обсерватории Института динамики геосфер Российской академии наук «Михнево» проводятся прецизионные наблюдения за уровнем напорного водоносного горизонта нижнего карбона (алексинско-протвинским) [2]. Дополнительно с 2013 г. организованы высокоточные измерения уровня безнапорного водоносного горизонта среднего карбона (каширского) [6].

Обработка имеющихся гидрогеологических рядов выполняется совместно с сейсмическими данными, регистрируемыми датчиками STS-2 и СМ-ЗКВ, расположенными на полигоне «Михнево» в шахте на глубине 20 м [5]. Данные цифровой метеостанции «Михнево» (атмосферное давление, температура воздуха, количество осадков) и гидрологических постов, оборудованных на р. Оке вблизи г. Серпухов и г. Кашира и предоставленных ФГБУ «Центральное управление по гидрометеорологии и мониторингу окружаю-

щей среды», использованы для учета влияния внешних факторов на режим подземных вод.

Объектом исследований является гидрогеологическая система «водоносный горизонт – скважина». Одна из задач экспериментальных работ – дистанционная диагностика состояния водовмещающего коллектора по данным гидрогеологического отклика на экзогенное и эндогенное воздействие. Данные прецизионного мониторинга позволяют изучать как реакцию разновозрастных водоносных горизонтов подземных вод на внешнее воздействие, так и рассматривать подземные воды в качестве фактора, оказывающего влияние на структуру коллектора порово-трещинного типа.

Для выделения интервалов рассогласованности влияния геомеханических и гидрогеодинамических процессов может быть использован коэффициент барометрической эффективности, определяющий соотношение между изменением эффективного напряжения водовмещающих пород, влияющим на уровень в скважине, при изменении атмосферного давления на 1 гПа. В квазистатических условиях временные ряды вариаций атмосферного давления и уровня водоносных горизонтов изменяются в противофазе (рис. 1).



**Рис. 1. Диаграммы изменения уровня напорного (черный), безнапорного (темно-серый) водоносных горизонтов и атмосферного давления (серый)**

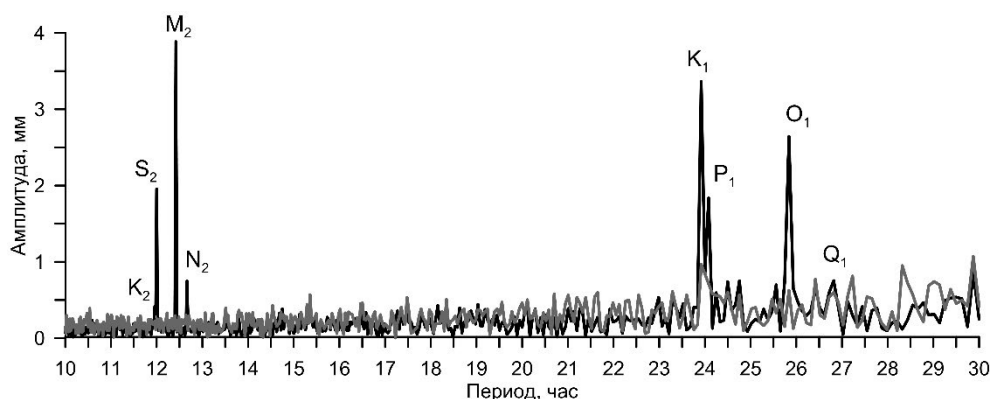
При изменении условий питания-разгрузки водоносных горизонтов и, соответственно, значений пластового давления происходит рассинхронизация гидрогеологического отклика по отношению к атмосферному давлению.

Данные высокоточных наблюдений за уровнем подземных вод позволяют также отслеживать эпизодические (кратковременные) гидрогеодинамические изменения, связанные с эксплуатацией подземных вод. Например, в скважине, оборудованной на верхний безнапорный водоносный горизонт,

выделяются депрессионные воронки (рис.1), обусловленные периодической откачкой воды из технической скважины, расположенной на расстоянии 300 м от наблюдательной. Максимальные снижения за период наблюдений достигают 4 см при средней продолжительности формирования воронки и восстановления уровня ~ 6 часов.

К внешним факторам, влияющим на состояние водовмещающей толщи пород, относятся и земные приливы. В амплитудных спектрах приливов в гидрогеологических и сейсмических данных, полученных на территории геофизической обсерватории «Михнево» за выбранный период наблюдений, отчетливо выделяются основные типы волн [2].

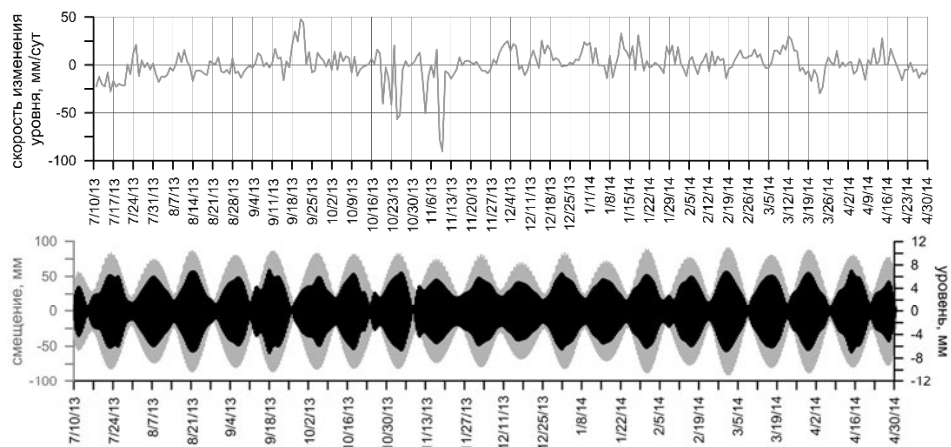
Основной вклад в формирование полусуточной приливной компоненты в уровне напорного водоносного горизонта вносит волна лунного типа  $M_2$  (рис. 2). В составе суточной компоненты уровня преобладают волны лунно-солнечного типа  $K_1$  и лунного типа  $O_1$ . В амплитудном спектре приливов в уровне безнапорного водоносного горизонта слабо выражена только суточная приливная волна лунно-солнечного типа  $K_1$ , значение которой находится на уровне шума.



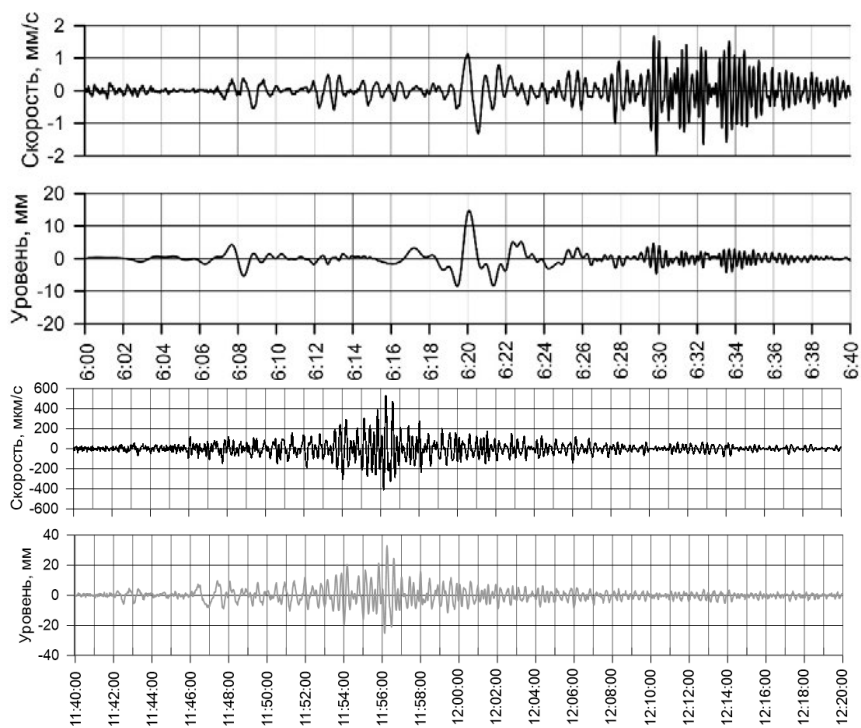
**Рис. 2. Амплитудные спектры приливов в уровне напорного (черная линия) и безнапорного (серая линия) водоносных горизонтов за период наблюдений с 01.71.2031-30.04.2014 гг.**

Гидрогеологический отклик напорного водоносного горизонта на земные приливы отчетливо выделяется для участков, характеризующихся относительно стационарным режимом фильтрации. Приливы в уровне соответствуют вариациям в смещении грунта (рис. 3). Асимметричность кривой приливов в гидрогеологических данных зависит от скорости изменения уровня и может быть использована для выделения интервалов, осложненных влиянием дополнительных (геомеханических и гидродинамических) факторов.

В платформенных условиях наряду со стационарными внешними факторами (атмосферным давлением, земными приливами), влияющими на порупругую деформацию водовмещающих пород, прослежены гидрогеологические отклики на удаленные землетрясения (рис. 4) [2, 3].



**Рис. 3. Диаграммы скорости изменения уровня в напорном водоносном горизонте (верхний рисунок), полусуточных приливов в уровне (черный цвет) и смещении грунта по вертикальной компоненте (серый цвет)**



**Рис. 4. Гидрогеологический отклик на прохождение сейсмических волн от землетрясений, произошедших 11.03.2011 г. вблизи о. Хонсю (два верхних) и 24.09.2013 г. в Пакистане (два нижних)**

В напорном водоносном горизонте максимальные амплитуды вариаций уровня при прохождении сейсмических волн от катастрофического землетрясения с магнитудой ( $M_s$ ) 8.8, произошедшего 11.03.2011 г. вблизи восточного побережья острова Хонсю, Япония, составили 23 мм. В безнапорном водоносном горизонте максимальные амплитуды гидрогеологического отклика на землетрясение с  $M_s$  7.7 в Пакистане 24.09.2013 г. достигали 58 мм.

Совместная обработка гидрогеологических и сейсмических параметров позволила определить минимальные значения скоростей смещения грунта, при которых в платформенных условиях вариации уровня при прохождении сейсмических волн от удаленных землетрясений не отслеживаются. В ряде случаев по абсолютным значениям гидрогеологические отклики на землетрясение, техногенную помеху и атмосферное давление сопоставимы, но характеризуются разным частотным диапазоном (рис.1).

В платформенных условиях результаты комплексных прецизионных наблюдений за уровнем подземных вод и смещением грунта позволяют оперативно анализировать вариации напряженно-деформированного состояния массива горных пород, вызванные низкоамплитудными динамическими воздействиями (атмосферным давлением, земными приливами, сейсмическими волнами от удаленных землетрясений) и изменением условий питания-разгрузки водоносных горизонтов под влиянием внешних факторов естественного и техногенного генезиса.

*Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда (проект № 14-17-00719).*

#### Литература

1. Багмет А.Л., Багмет М.И., Барабанов В.Л., Гриневский А.О., Киссин И.Г., Малугин В.А., Рукавишников Т.А., Савин И.В. Исследование земноприливных колебаний уровня подземных вод на скважине «Обнинск» // Физика Земли. 1989. № 11, с. 84-95.
2. Беседина А.Н., Виноградов Е.А., Горбунова Э.М., Кабыченко Н.В., Свинцов И.С., Пигулевский П.И., Свистун В.К., Щербина С.В. Отклик флюидонасыщенных коллекторов на лунно-солнечные приливы. Часть 1. Фоновые параметры приливных компонент в смещении грунта и уровне подземных вод // Физика Земли. 2015. № 1, с. 73-82.
3. Виноградов Е.А., Горбунова Э.М., Кабыченко Н.В., Кочарян Г.Г., Свинцов И.С. Реакция подземных вод на удаленные сейсмические события // Всероссийская конференция с международным участием «Проблемы сейсмогеологии». Воронеж: Научная книга, 2011, с. 153-157.
4. Любушин А.А. (мл.), Малугин В.А. Казанцева О.С. Мониторинг приливных вариаций уровня подземных вод в группе водоносных горизонтов // Физика Земли. 1997. № 4, с. 52-64.
5. Санина И.А., Волосов С.Г., Черных О.А., Асминг В.Э., Солдатенков А.М., Ризниченко О.Ю. Синтез и опыт экспериментального применения двухмерной малоапертурной сейсмической антенны «Михнево» // Сейсмические приборы. Москва: ИФЗ РАН, 2008. Вып. 44, с. 3-18.
6. Свинцов И.С., Беседина А.Н., Виноградов Е.А., Горбунова Э.М., Кабыченко Н.В. // Характеристика состояния флюидонасыщенного коллектора по данным прецизионного мониторинга уровня подземных вод // XXIII Международный научный симпозиум «Неделя горняка-2015». 26-30 января 2015 г.

## **О ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ МЕТОДА ПОДЗЕМНОГО ВЫЩЕЛАЧИВАНИЯ В УСЛОВИЯХ ГОРНОГО ТЕХНОГЕНЕЗА**

**О.М. Гуман<sup>1</sup>, С.Н. Тагильцев<sup>2</sup>, И.А. Антонова<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> ООО «Уралгеопроект», 620144, г. Екатеринбург, ул. Куйбышева 30, а/я 11.

E-mail:guman2007@mail.ru

<sup>2</sup> ФГБОУ ВПО «Уральский государственный горный университет», 620144, г. Екатеринбург,  
ул. Куйбышева 30. E-mail:guman2007@mail.ru

В пределах Уральского региона техногенез является одним из ведущих современных геологических процессов. Наиболее масштабно процесс техногенеза проявляется здесь в деятельности многочисленных горных предприятий, добывающих различные полезные ископаемые, которые формируют геосистемы, весьма динамичные и активно развивающиеся [1,2].

Гумешевское месторождение медных руд – одно из старейших на Урале медных месторождений, в значительной мере уже отработанное. Его история прослеживается ещё с бронзового века и периодически возобновляется. Гумешевское месторождение меди было вторично открыто в 1702 г. по следам древних выработок.

В 1907 г. для извлечения меди из окисленных руд многочисленных отвалов обогащения был открыт Гумешевский гидromеталлургический завод, который в течение 10 лет перерабатывал ежегодно 80-100 тыс. т руды и давал около 300-400 т меди в год.

После революции с 1925 по 1931 гг. английской концессией «Лена-Гольдфильдс» проводились работы по выщелачиванию меди из отвалов.

В годы Великой Отечественной войны рудник был законсервирован.

В период с 1958 по 1994 гг. Дзятярским рудоуправлением осуществлялась отработка Гумешевского медноскарнового месторождения подземным способом с использованием камерной системы отработки. Месторождение было вскрыто многочисленными шахтами, горные работы проводились на горизонтах 54, 100, 145, 190, 250, 310 (дренажный горизонт), 350, 410 и 490 м. В отличие от старых выработок, все современные шахты были сбиты между собой и имели общий водоотлив.

В 1994 г. шахтная отработка Гумешевского месторождения была прекращена, после чего подземные горные выработки были затоплены.

Гумешевское месторождение медистых глин располагается в области контакта эффузивных и осадочно-метаморфических комплексов пород, занимающая верхнюю часть разреза отработанного и ликвидированного мокрым способом Гумешевского медноскарнового месторождения. Здесь вдоль контакта мраморов с интрузией порфиroidных кварцевых диоритов развиты скарны, содержащие магнетит, сульфиды меди и железа.

В настоящее время на опытном участке ведется разработка верхней части окисленных руд месторождения способом подземного выщелачивания.

Медь извлекается из вторичной медной сульфидной руды и медной окисленной руды методом подземного выщелачивания, экстракции и электролиза. Выщелачивание выполняется растворами разбавленной серной кислоты. Насыщенный раствор выщелачивания содержит много примесей и является разбавленным по содержанию меди для непосредственного получения из него медных катодов. Для увеличения концентрации меди в растворе и очистки его от вредных примесей применяется метод жидкостной экстракции.

В пределах рассматриваемой территории в настоящее время существует два основных горизонта подземных вод.

Техногенный локальный замкнутый горизонт подземного стока формируется при наличии сбитых между собой горных выработок, образующих водопроводящий канал, по которому осуществляется разгрузка подземных вод из затопленных горных выработок путем самоизлива из ствола шахты «Южная Вентиляционная» и Южный провал в долину р. Железянка, и далее – в Северский пруд. основной дренаж происходит по наиболее протяжённому горизонту 100 м, несколько менее – по горизонтам 54 м и 145 м.

Условно естественный горизонт подземных вод формируется в верхнем горизонте, сложенном преимущественно покровными рыхлыми глинистыми образованиями, сформирован на техногенно-нагруженной территории. На водосборной площади опытного участка поток направлен к горным выработкам, на остальной территории к Северскому пруду через массив мраморизированных известняков.

При подземном выщелачивании работы на опытном участке ведутся с дебалансом. Дебаланс дебитов закачки и откачки рабочих растворов формируется за счёт потерь технологических вод. Эти потери составляют основу разгрузки шахтных вод.

В районе участка опытно-промышленного выщелачивания медистых глин до начала его отработки было расположено множество сторонних источников загрязнения природной среды. Формирование специфической геохимической обстановки в пределах Гумешевского месторождения и акватории Северского пруда происходит уже около 300 лет, излив шахтных вод происходил после окончания затопления Гумешевского рудника, еще до начала отработки месторождения медистых глин. В зону формирования ресурсов попадают техногенные объекты, оказывающие значительное влияние на качество подземных вод на изливе: затопленные подземные выработки и отвалы Гумешевского медного рудника Дягтярского рудоуправления; Полевской криолитовый завод; несанкционированные свалки с различными отходами предприятий прошлых лет.

Современный химический состав подземных вод Гумешевского рудного поля формируется в условиях активного водообмена при ведущем участии процессов углекислотного и серноокислотного выщелачивания пород, а также в условиях техногенного загрязнения водами, инфильтрующимися через накопленные на территории рудника отходы производства криолитового завода.

Согласно данным, полученным в результате инженерно-экологических изысканий, проведенных в пределах исследуемой территории до начала опытно-промышленного выщелачивания медистых глин, в период с 1959-1963 гг. в шахтных водах Гумешевского рудника отмечался гидрокарбонатно-сульфатный или сульфатный кальциевый тип воды при  $pH=4,3-6,8$  и минерализации до  $3 \text{ г/дм}^3$ , наблюдались превышения нормативов по железу, марганцу, меди, цинку, сульфатам, фтору, сухой остаток достигал  $1,24 \text{ г/дм}^3$ . За период консервации рудника минерализация воды увеличилась до  $3,5 \text{ г/дм}^3$ , увеличилась также концентрация сульфатов, марганца, цинка и меди.

Так, в период эксплуатации Гумешевского месторождения наибольшая кислотность ( $pH 1,8-2,4$ ), минерализация (до  $5,1 \text{ г/дм}^3$ ), содержание сульфатов (до  $3975 \text{ мг/дм}^3$ ) и общая жесткость отмечались в воде шх. Георгиевская, наиболее близкой к объектам криолитового завода. Содержание фтора в водах шахты в период действия шахтного водоотлива составляло  $2-4 \text{ мг/дм}^3$ , причем в западных выработках шахты концентрация фтора достигала  $36,0 \text{ мг/дм}^3$ , а в восточных не превышала  $0,5 \text{ мг/дм}^3$ . В воде из карьера шахты Георгиевской, почти заваленного отвалами криолитового завода, содержание сульфатов достигало  $11363 \text{ мг/дм}^3$ , минерализация воды –  $14380 \text{ мг/дм}^3$  при  $pH=1,99$ . Кроме того, из-под отвалов, из многочисленных отстойников и прудков ПКЗ постоянно происходит инфильтрация воды, загрязненной такими специфическими веществами как фтор, алюминий и натрий.

В ходе инженерно-экологических изысканий в 2002 г. на участке проектируемого опытно-промышленного выщелачивания медистых глин выполнено обследование и отобраны пробы воды, в т. ч. из разлива шахты «Южная-Вентиляционная». Выполненный анализ показал, что шахтные воды до эксплуатации участка выщелачивания имели показатели  $pH 7,18$ , содержание сульфатов –  $1552,8 \text{ мг/л}$ , меди –  $0,91 \text{ мг/л}$ .

Анализ режимных гидрогеохимических наблюдений за качеством подземных и поверхностных вод за период 2002-2012 г. после начала отработки медистых глин на опытном участке методом подземного выщелачивания показал, что химический состав подземных вод, разгружающихся в стволе шахты Южная-Вентиляционная, сменился с сульфатно-гидрокарбонатного магниево-кальциевого на сульфатный кальциево-железисто-магниевый, в процентном отношении увеличилась также доля фторидов в составе воды, произошло увеличение минерализации подземных вод, в основном, за счет увеличения сульфатов, при этом произошло снижение кислотности воды от  $7,18$  (нейтральные воды) до минимальных значений  $4,73$  (кислая среда), в паводковые периоды наблюдается повышение значений  $pH$  за счет увеличения притока нейтральных подземных вод.

Влияние технологических закачных растворов на состав подземных вод в зоне влияния полигона выщелачивания, и разгружающихся по стволу шахты Южная-Вентиляционная, проявляется и по анализу зависимости содержания сульфатов и кислотности подземных вод от расхода серной кислоты (в пересчете на сульфаты) по накоплению в технологическом цикле за 2004-



2010 гг. Коэффициент корреляции между содержанием  $\text{SO}_4$  в шахтной воды и расходом  $\text{H}_2\text{SO}_4$  на полигоне выщелачивания составил 0,85, что соответствует высокой корреляционной связи между этими показателями.

Полученные данные свидетельствуют о значительном влиянии полигона выщелачивания на трансформацию состава подземных вод в районе месторождения, т. к. на площади закисленных блоков в породах коры выветривания получили распространение выщелачивающие и продуктивные растворы, характеризующиеся кислой реакцией, высокой минерализацией (более 30 г/л) и высокими концентрациями сульфатов, тяжелых металлов и фтора. При этом загрязнение подземных вод происходит при перетекании выщелачивающих и продуктивных растворов в подземные горные выработки.

Сравнение состава воды в горных выработках и вод «шахтоизлива» показывает, что содержание сульфатов и кадмия практически не меняется по горным выработкам от участка выщелачивания до участков выхода шахтных вод на поверхность земли. Существенно меняется рН в сторону уменьшения кислотности и снижается содержание меди и некоторых других металлов. Очевидно, что основная нейтрализация шахтных вод происходит на тех участках, где горные выработки пересекают мраморизованные известняки.

В целом, ореол загрязнения подземных вод выходит за пределы санитарно-защитной зоны опытно-промышленного участка, частично загрязнения происходят по подземным горным выработкам Гумешевского месторождения с разгрузкой через излив шахтных вод в стволе шахты Южная-Вентиляционная, а также путём рассредоточенной разгрузки шахтных вод на южном фланге шахтного поля.

Впадающая в Северский пруд р. Железянка (в естественном и искусственном русле) на участке ниже промплощадки криолитового завода и отвала кислого фторгипса до начала деятельности опытного участка по подземному выщелачиванию меди содержала 1455,7 мг/дм<sup>3</sup> сульфатов, до 12,9 мг/дм<sup>3</sup> фтора и имела рН до 9,6.

В настоящее время состав воды в новом русле реки формируется, в основном, за счет подземных вод в зоне влияния отстойников ОАО «ПКЗ» и сбросов в Нижнежелезянский пруд, а в старом русле – за счет подземных вод с территории производственной деятельности опытного участка выщелачивания медистых глин.

Расход воды в старом русле р. Железянки отражает количество и химический состав дебалансовых вод, которые формируются за счет скрытой разгрузки подземных вод, в свою очередь разгрузка подземных вод формируется за счет потерь продуктивных растворов на опытно-промышленном участке и естественного питания подземных вод на водосборной площади за счет атмосферных осадков.

Данные гидрохимического опробования поверхностных водотоков межленного периода 2015 г. полностью подтверждают выводы, полученные в результате гидрометрических измерений. Фоновая минерализация составляет 219 мг/л, вода по химическому составу сульфатно-гидрокарбонатная. В старом русле вода по химическому составу сульфатная, минерализация воды в

устье увеличивается до 4769 мг/л. В отличие от нового русла, где вода нейтральная и слабощелочная, в старом русле вода имеет кислую реакцию с рН 3,92.

Для сравнения следует отметить, что в Южном провале, куда происходит в настоящее время основная разгрузка шахтных вод, минерализация воды составляет 3769 мг/л, вода сульфатная, кислая с рН 2,94.

Расчет выноса химических элементов по р. Железянка показал, что в растворенной форме в меженный период, когда формирование поверхностного стока происходит только за счет разгрузки подземных вод и сбросов с промпредприятий и селитебной территории, с участка старого русла р. Железянка выносятся до 512,3 т/мес. сульфатов, 0,099 т/мес. марганца, 0,084 т/мес. меди, 0,0009 т/мес. цинка.

По подземным горным выработкам подземные воды техногенного водоносного горизонта свободно и быстро достигает поверхностные водотоки (р. Железянка), не успевает разбавиться, нейтрализоваться, очиститься, что приводит к реакции кислых стоков и поверхностных вод в самом русле с формированием токсичного осадка в виде гипса, насыщенного тяжелыми металлами, растворимого, который еще долгое время будет являться источником вторичного загрязнения поверхностных вод.

При наличии подземных горных выработок необходимо создавать искусственную область разгрузки подземного потока, перехватывать его еще до разгрузки в русло реки.

Обязательно необходимо нейтрализовать кислые подземные воды, осадки о нейтрализации рекомендуется размещать в многочисленных карьерах, сложенных известняками или глинистыми грунтами, а нейтрализованные воды сбрасывать через закачные скважины за пределами водосборной площади месторождения, желательнее через массив известняков.

Отработка опытного участка выщелачивания показала, что при наличии подземных горных выработок их нужно рассматривать как область дренирования потока техногенных подземных вод, что приводит к загрязнению поверхностных и подземных вод в региональном масштабе.

#### Литература

1. Гуман О. М., Макаров А. Б., Антонова И. А. Геоэкологическая оценка состояния ПТС месторождений меди Урала. Lap Lambert Academic Publishing. 2014. 53 с.
2. Антонова И. А., Гуман О. М., Макаров А. Б. Геоэкологическое состояние природной среды разрабатываемых месторождений медной подотрасли цветной металлургии // Мат-лы четвертой науч.-практ. конф. «Экологическая геология: теория, практика и региональные проблемы» / под ред. проф. И.И. Косиновой. Воронеж: Изд-во «Научная книга», 2015. С. 82, 83.

## ОПАСНОСТЬ НЕДОСТОВЕРНОЙ ОЦЕНКИ ВЛИЯНИЯ СОВРЕМЕННЫХ КЛИМАТИЧЕСКИХ ВАРИАЦИЙ НА ПИТАНИЕ ПОДЗЕМНЫХ ВОД

А.В. Дзюба<sup>1</sup>, А.А. Ковалева<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Институт водных проблем РАН 119333, г. Москва, ул. Губкина 3. E-mail: avdz@mail.ru.

<sup>2</sup> Геологический факультет МГУ им. М. В. Ломоносова, 119899 Москва, Ленинские горы 1.

### Введение

Пресные подземные воды климатогенны. Ресурсы пресных подземных вод определяются интегралом многолетних значений баланса инфильтрации атмосферных осадков и потерь на испарение. Восполнение ресурсов подземных вод вследствие инфильтрации атмосферных осадков в значительной степени, зависит от температурного режима приземного слоя воздуха и зоны аэрации. Таким образом, ресурсы подземных вод, как и водные ресурсы в целом обусловлены в основном режимом таких климатических переменных, как количество атмосферных осадков и температура приземного слоя воздуха. К тому же только по этим гидрометеорологическим характеристикам имеются однородные многолетние ряды эмпирических данных. Актуальность работы обусловлена отсутствием до настоящего времени среди научного сообщества согласия о пространственно-временных закономерностях влияния современных климатических изменений на подземные воды. Возможно, это объясняется не вполне корректным статистическим описанием многолетних изменений климатических переменных, определяющих питание подземных вод [1,4].

Цель работы – статистически достоверная оценка влияния вариаций климата последних десятилетий на питание подземных вод Восточной Сибири. Выбор региона исследования обусловлен тем, что согласно последнему 5-му Докладу ИРСС (Межправительственной группы экспертов по изменению климата), Восточная Сибирь – область суши, наиболее чувствительная к климатическим вариациям последних и ближайших десятилетий [3]. Для достижения поставленной цели решались следующие задачи:

- менялся ли климат Восточной Сибири на отрезке времени 1936-2014 гг.;
- являются ли наблюдаемые изменения репрезентативными для исследуемого региона;
- являются ли обнаруженные изменения климатических переменных реальными (действительными);
- является ли тренды 1-го и 2-го порядков в наблюдаемых изменениях статистически значимыми;
- являются ли рассчитанные оценки достоверности трендов неслучайными;

– каково время возобновления подземных вод в рассматриваемом регионе.

### **Использованные данные и методы исследования**

Методика исследования заключается в расчете и анализе оригинального ансамбля статистических оценок, описывающих многолетние изменения климатических переменных, определяющих питание подземных вод. Изменения климата оцениваются как разности климатических переменных, характеризующих сравнимые периоды времени, и как тенденции изменений климатических переменных внутри одного периода. Обнаруженные изменения климата оцениваются как реальные (соответствующие действительности), если их величина превосходит рассчитанную ошибку величины изменений. В качестве меры интенсивности климатических изменений за указанный интервал времени используются коэффициенты линейного тренда и тренда 2-го порядка, характеризующие среднюю скорость и ускорение изменений климатической переменной. В качестве меры существенности тренда оценивается доля дисперсии климатической переменной, объясняемая трендом, выраженная в процентах от полной дисперсии изменения климатической переменной за рассматриваемый интервал времени (достоверность тренда). Для оценки степени неслучайности определения достоверности тренда рассчитаны 1%-ный и 5%-ный уровни значимости, определяемые по распределению Фишера. Для оценки статистической значимости (полезности) коэффициентов тренда используется 1%-ный и 5%-ный уровни значимости, определяемые по обратному распределению Стьюдента.

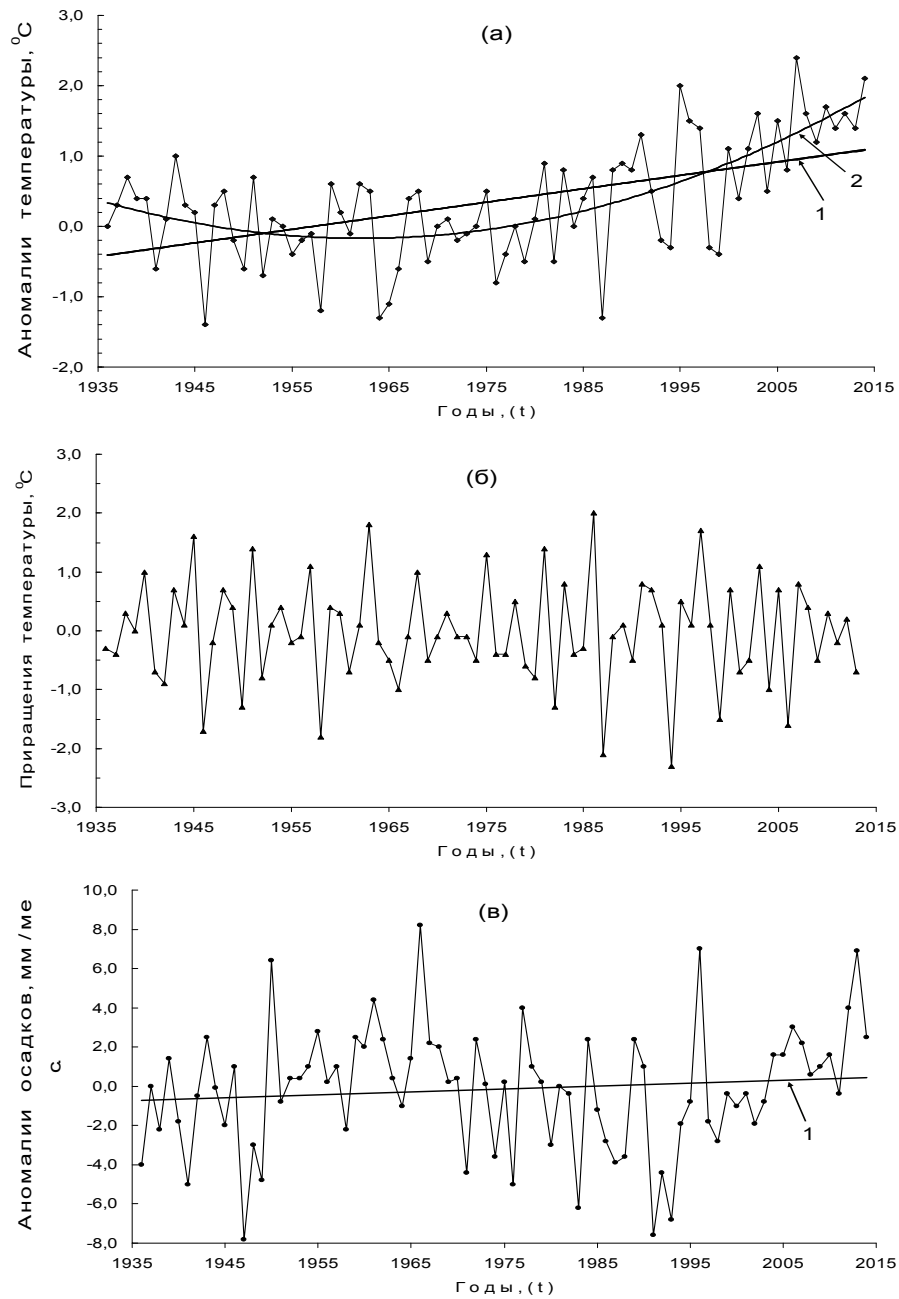
В работе использованы данные наблюдений на станциях и постах государственной наблюдательной сети Росгидромета, включенные в базу мониторинга климата Института глобального климата и экологии РАН. Эмпирические данные усреднены по территории климатического региона Восточной Сибири в интервале 1936-2014 гг. Аномалии температуры приземного воздуха и количества атмосферных осадков рассчитаны как отклонения от средних значений за 1961–1990 гг. За единицу измерения атмосферных осадков приняты месячные суммы осадков (мм/месяц). Годовые осадки представляют собой средние из месячных сумм за месяцы рассматриваемого года.

### **Результаты работы**

*Температура приземного воздуха.* Многолетний ход приземной температуры приземного воздуха ( $T$ ) Восточной Сибири (рис. 1а) характеризуется среднеквадратичным отклонением  $0,83^{\circ}\text{C}$  и коэффициентом автокорреляции  $0,4$ . Угловой коэффициент линейного тренда в уравнении тренда (1) равен  $0,02^{\circ}\text{C}/\text{год}$ , а стандартная ошибка его расчета менее  $0,01^{\circ}\text{C}$ .

$$T(t) = 0,02 t - 37,635, \quad (1)$$

где  $T$  – температура воздуха, соответствующая значению года ( $t$ ).



**Рис. 1. Многолетние изменения среднегодовых аномалий температуры приземного воздуха (а), межгодовых приращений температуры приземного воздуха (б), среднегодовые аномалий месячных сумм атмосферных осадков (в):**  
 1 – линии трендов 1-го порядка; 2 – линия тренда 2-го порядка

Тестирование полезности коэффициента наклона линейного тренда с использованием обратного распределения Стьюдента показало его статистическую значимость на уровне значимости 99%. При этом, стандартная ошибка определения значений температуры при линейной аппроксимации равна  $0,7^{\circ}\text{C}$ , что сравнимо с величиной среднеквадратичного отклонения. Расчетная достоверность линейного тренда, показывающая вклад тренда в общую дисперсию процесса, составила  $\sim 28\%$ . Тестирование достоверности тренда с использованием распределения Фишера показало неслучайность полученной оценки на 99% уровне значимости. Графическое представление тренда 2-го порядка в виде вогнутой параболы свидетельствует об ускорении роста температуры воздуха в Восточной Сибири. Удвоенное значение коэффициента при квадратном члене уравнения тренда 2-го порядка (2) характеризует знак и величину ускорения роста температуры во второй половине рассматриваемого периода по отношению к первой половине периода  $\sim 0,0014^{\circ}\text{C}/\text{год}^2$ . Достоверность тренда 2-го порядка составляет  $\sim 46\%$ , что значительно больше достоверности линейного тренда.

$$T(t) = 0,0007 t^2 - 2,9287 t + 2873 \quad (2)$$

Это свидетельствует о нелинейном характере многолетнего хода температуры приземного воздуха в Восточной Сибири.

Анализ межгодовых приращений температуры приземного воздуха в Восточной Сибири (Рис.1б) свидетельствует о стационарности их многолетнего хода в широком смысле. Неизменными остаются не только средние ( $\sim 0^{\circ}\text{C}$ ) значения на разных интервалах, но дисперсия ( $\sim 0,8^{\circ}\text{C}^2$ ). Это значит, что многолетние изменения температуры приземного воздуха представляют собой винеровский процесс 1-го порядка. Временной ряд температуры воздуха можно считать реализацией процесса авторегрессии 1-го порядка с дискретным временем. Расчеты показали, что оптимальной стохастической моделью для описания многолетнего хода температуры воздуха является модель вида простой марковской цепи, в которой значение временного ряда в данный момент времени может быть выражено в виде линейной комбинации предыдущих значений этого же ряда и случайной ошибки, обладающей свойством «белого шума»:

$$T(t) = \alpha (t-1) + \varepsilon_t, \quad (3)$$

где  $\alpha$  – параметр регрессии, в нашем случае равный  $\sim 0,4$ ,  $\varepsilon_t$  – «белый шум» с дисперсией в нашем случае  $\sim 0,8^{\circ}\text{C}^2$ .

Таким образом, для описания многолетних изменений имеющихся к настоящему времени данных наблюдений по температуре приземного воздуха, осредненных по территории Восточной Сибири, статистически обосновано использование как модели тренда 2-го порядка (2), так и стохастической модели авторегрессии 1-го порядка (3).

*Атмосферные осадки.* Многолетние изменения годовых и сезонных сумм атмосферных осадков, осредненных по территории Восточной Сибири,

не характеризуются статистически значимыми трендами 1-го и 2-го порядков на уровне значимости 99 и 95%. Вклад линейного тренда и тренда 2-го порядка в общую дисперсию временного хода атмосферных осадков не превышает 4%. Для описания многолетних изменений, имеющихся к настоящему времени данных наблюдений по атмосферным осадкам, осредненных по территории Восточной Сибири (рис. 1в), статистически предпочтительно использование модели случайного процесса со среднемесячной дисперсией  $\sim 10,0$  (мм/мес.)<sup>2</sup>.

*Время возобновления подземных вод.* Важной количественной характеристикой пресных подземных вод является период их возобновления, часто называемый в гидрогеологии темпом водообмена, который характеризуется соотношением емкостных запасов оцениваемого водоносного горизонта и его питанием (естественными ресурсами). Согласно оценкам В.П. Зверева [2], время полного возобновления подземных вод зоны активного водообмена составляет величину порядка  $n \times 10^2$  лет. Время полного возобновления подземных вод зоны сравнительно активного водообмена (выше уровня Мирового океана) составляет величину порядка  $n \times 10^3$  лет. Учет этих данных предопределяет необходимую длительность рядов гидрометеорологических наблюдений, используемых для анализа влияния вариаций климата на подземные воды.

#### **Заключение**

Представим нашу версию ответов на вопросы, поставленные во введении.

– Климат Восточной Сибири в интервале 1936-2014 гг. не был неизменным.

– Исследуемые выборки данных наблюдений по температуре воздуха и количеству атмосферных осадков репрезентативны соответствующим генеральным совокупностям.

– Обнаруженные изменения температуры воздуха реальны, т.к. превосходят стандартную ошибку расчета величины изменений.

– Параметры уравнений трендов 1-го и 2-го порядков в многолетнем ходе температуры воздуха статистически значимы.

– Оценки достоверностей трендов 1-го и 2-го порядков в многолетнем ходе температуры воздуха неслучайны, однако их значения не превышают 50%.

– Обнаруженные изменения количества атмосферных осадков намного меньше стандартной ошибки расчета величины изменений и, следовательно, статистически не достоверны.

– Время полного возобновления подземных вод зоны активного водообмена более чем в два раза превышает максимально доступную в настоящее время длину рядов климатических переменных Восточной Сибири.

Таким образом, полученный ансамбль статистических оценок не свидетельствуют о статистически значимом влиянии климатических вариаций последних десятилетий на естественное питание подземных вод Восточной Сибири. Использование при анализе вариаций климата выборочных статистиче-

ских оценок, а не их ансамбля, порождает опасность формирования статистически недостоверных суждений, приводящих к экономически нерациональным практикам и стратегиям в области управления водными ресурсами.

#### Литература

1. Дзюба А.В. Формализация дальней корреляционной связи североатлантического колебания и температурного режима атлантико-евразийской приполярной зоны // Метеорология и гидрология. 2009. № 5. С. 16-33.
2. Зверев В.П. Вода в Земле. М.: Научный мир, 2009.
3. IPCC. Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate.: Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 2013.
4. Zektser I. S., Dzyuba A. V. Uncertainties in the assessment of climate change impacts on groundwater // Episodes. 2015. Vol. 38. № 1. P. 49-53.

### ГИДРОГЕОХИМИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ РЕКУЛЬТИВАЦИИ ШЛАМОНАКОПИТЕЛЯ КРУПНОГО МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО ПРЕДПРИЯТИЯ НА СРЕДНЕМ УРАЛЕ

С.Н. Елохина, Е.Д. Еремина

Уральский государственный горный университет, 620144, Екатеринбург, ул. Куйбышева, 30.  
E-mail: elohina.s@mail.ru

Геоэкологические проблемы подземной гидросферы связаны, главным образом, с её загрязнением промышленными объектами. Центральное место в указанной проблематике занимает обоснование условий совместного функционирования последних с питьевыми водозаборами, на котором основаны санитарно-эпидемиологические требования по организации зоны санитарной охраны, регламентированные СанПиН 2.1.4.1110-02.

На Среднем Урале имеется положительный пример сосуществования одного из старейших питьевых водозаборов Урала – Мазулинского, который с 1934 г. подает воду для централизованного питьевого водоснабжения г. Каменск-Уральский в объеме от 5 до 8 тыс.м<sup>3</sup>/сут, и шламонакопителя станции нейтрализации крупного металлургического предприятия. В результате длительной совместной эксплуатации водный баланс водозабора стабилизировался при допустимом соотношении природной и техногенной составляющей. Принципиальным моментом послужили рекультивационные мероприятия, проведенные на старом и действующем шламонакопителях.

Область питания водозабора представляет собой окраину Западно-Сибирской низменности, в которой осадочные отложения мезозоя мощностью от 10-20 до 30-40 м залегают на уральских структурах фундамента. Во-



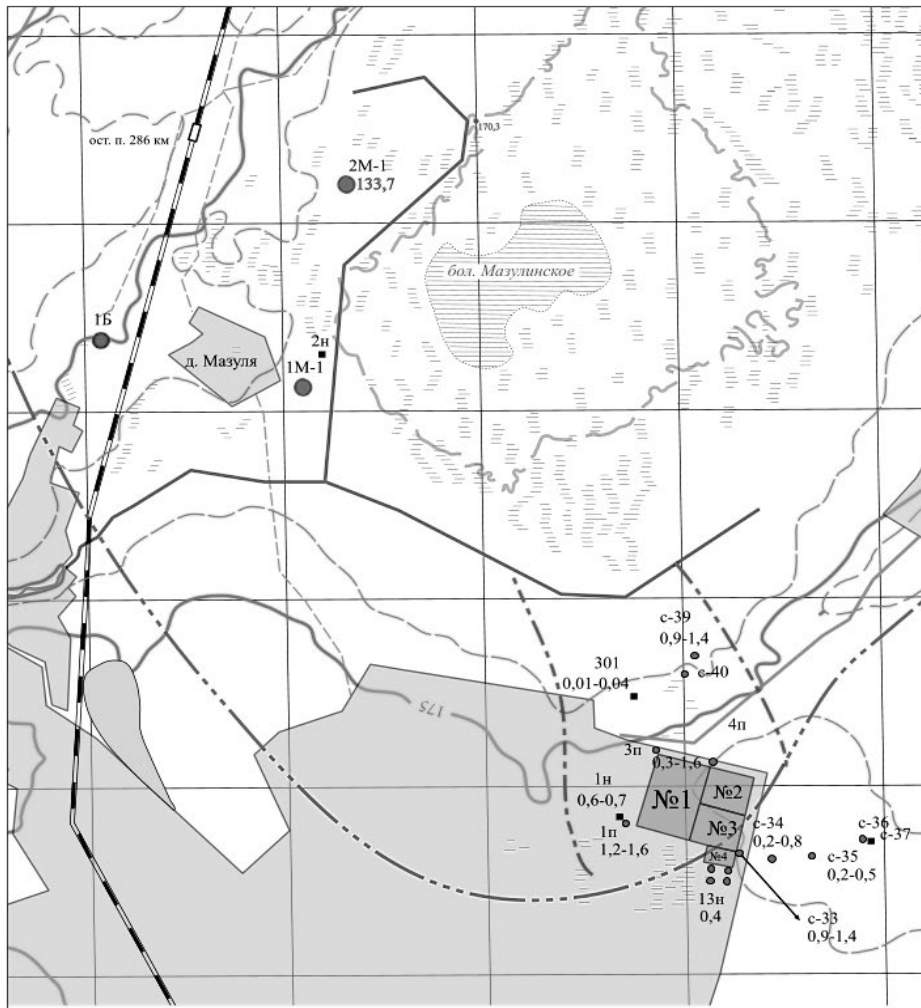
дозабор каптирует подземные воды карстовой водоносной зоны палеозоя, приуроченной к известнякам карбона, переслаивающихся с терригенными отложениями бекленищевской свиты. В границах депрессионной воронки под воздействием работы водозабора практически полностью осушен первый от поверхности мезозойский водоносный горизонт в песчаных отложениях олигоцен-мелового возраста, а также озеро Мазулинское, превратившееся в болото (рис. 1).

Шламонакопитель находится в 1,5 км южнее Мазулинского водозабора, в границах его водосборной площади, представляющей собой III пояс зоны санитарной охраны на площади распространения терригенных отложений палеозоя. Шламонакопитель равнинного типа, относится к гидротехническим сооружениям IV класса, состоит из четырех карт общей площадью около 23 га. Полезный объем карт составляет около 1200 тыс. м<sup>3</sup>. Карта № 4, площадь 0,8 га, находится за пределами области питания водозабора. Она введена в эксплуатацию в 1974 г. и предназначена для размещения нефтешламов.

Карты № 1-3 работают на прием и осветление нейтрализованных кислотных растворов с высоким содержанием хлоридов, сульфатов, тяжелых металлов: хрома (2,3 кг/т), меди (710 г/т), никеля (1,3 кг/т), кадмия (0,2 г/т) и др.. После отстаивания фильтрат с карты отводится на сброс в поверхностный водоток.

Карты № 2 и 3 эксплуатировались с 1974 г., полностью заполнены шламовым осадком и выведены из эксплуатации в 1989 г. В 2010 г. началась их рекультивация, которую предполагается завершить в 2016 г. Увеличенная продолжительность технического этапа рекультивации была связана со специфическими свойствами шламового осадка, слабозамерзающего и слабоуплотняющегося, не полностью изученные на стадии инженерных изысканий [1]. В осадке преобладает фракция менее 0,04 мм (96,4%), удельный вес осадка 2,22 г/см<sup>3</sup> при объемном весе 0,67 г/см<sup>3</sup> и влажности 25%.

Действующая карта № 1, площадью 13 га эксплуатируется с 1979 г. В зоне питания водозабора к карте № 1 примыкает территория старого рекультивированного шламонакопителя, который эксплуатировался с 1958 по 1974 гг. Он располагался на площади развития карбонатных пород и за счет инфильтрационных потерь оказал существенное гидрохимическое воздействие на питьевые подземные воды. В 1970 г. грунтовые воды первого от поверхности водоносного горизонта на этом участке имели повышенную жесткость (до 16 °Ж), окисляемость (до 160 мгО<sub>2</sub>/л), сухой остаток (до 2,3 г/л), содержание сульфатов (до 1,1 г/л). Концентрация хлоридов в скважинах водозабора за период эксплуатации старого шламонакопителя выросла в 2 раза: с 5-10 мг/л до 20-25 мг/л. После его консервации концентрация, например, хлоридов стабилизировалась и даже снизилась и сейчас, в основном, не превышает 15 мг/л.



Условные обозначения:

- 1п**  
1,2-1,6 ■ I. Скважины. Цифры сверху номер, рядом концентрация сульфатов г/л (2014 г.)  
на палеозойскую водоносную зону
- 1п**  
0,6-0,7 ● на олигоцен-меловой водоносный горизонт
- 2М-1**  
133,7 ● эксплуатационная Мазулинского водозабора
- II. Границы
- превышения ПДК по сульфатам в олигоцен-меловом водоносном горизонте (свыше >0,5 г/л)
- - - граница водосборной площади Мазулинского водозабора (ЗСО III пояса)
- III. Прочие обозначения
- №1 №2  
№3 №4  
шлямонакопитель и его карты. Цифры- номер карты
- 175 } горизонталь рельефа
- линия железной дороги
- трассы дренажных каналов

Рис. 1. Обзорная схема участка работ

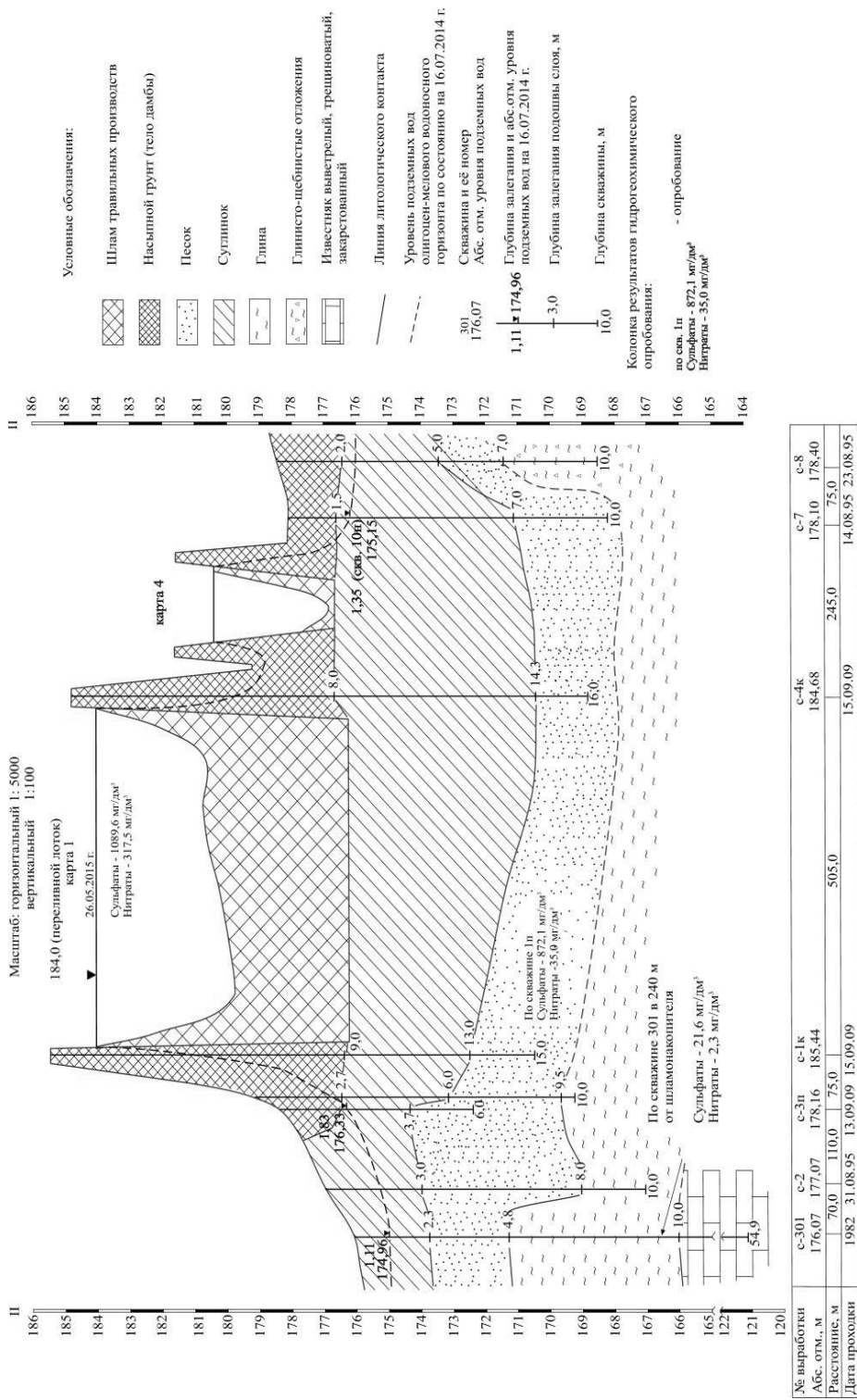
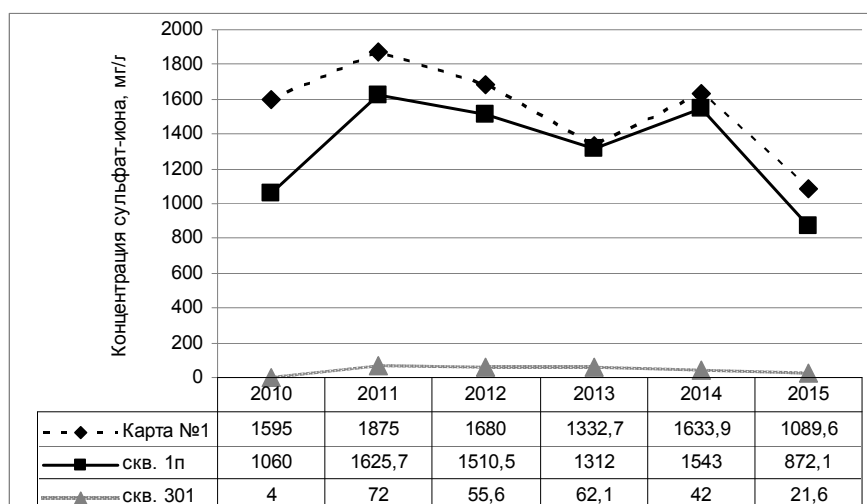


Рис. 2. Схематический гидрогеологический разрез в сечении шламоаккумулятора

С 1995 г. металлургическим заводом финансируются мониторинговые наблюдения за влиянием действующего шламонакопителя на первый от поверхности водоносный горизонт (11 наблюдательных скважин) и на подземные воды карбонатной водоносной зоны (одна скважина) (рис. 1). В 2000 г. загрязнение подземных вод мезозойского водоносного горизонта прослеживалось на расстоянии более 400 м от шламонакопителя при общей минерализация грунтовых вод до 5,4 г/л. Перечень элементов-загрязнителей помимо выше указанных включал нефтепродукты (до 91,9 мг/л), железо (до 240 мг/л), никель (до 1,04 мг/л), медь (до 1,32 мг/л), нитраты (до 1,3 г/л).

В тот же период вниз по разрезу в карбонатной водоносной зоне уровень загрязнения был существенно ниже, что доказывает высокий защитный потенциал мезозойских, преимущественно глинистых отложений, подстилающих водоносные пески, мощность 3-7 м и разделяющих первый от поверхности и продуктивный водоносные пласты (рис. 2). Непосредственно на водозаборе все перечисленные показатели не превышали ПДК, что позволило считать функционирование шламонакопителя в границах третьего пояса ЗСО допустимым.

После начала рекультивации карт № 2 и 3 в 2011 г. обобщающие результаты опробования подземных вод отмечают тенденцию к снижению содержания сульфатов и некоторых других ингредиентов в подземных водах. Положительный эффект можно отнести к снижению инфильтрационных потерь в результате реализации рекультивационных мероприятий. Однако дополнительного пояснения требует снижение концентрации сульфатов в шламовом фильтрате действующей карты № 1 с 1,9 до 1,1 г/л (рис. 3).



**Рис. 3. Соотношение концентрации сульфат-иона в зоне купола растекания шламонакопителя: шламовый фильтрат (карта № 1), мезозойский водоносный горизонт (скв. 1п), карбонатная водоносная зона (скв. 301)**

Таким образом, более 50 лет наблюдается совместная эксплуатация питьевого водозабора и шламонакопителя кислотных растворов, являющего опасным объектом химического загрязнения подземных вод. Благодаря рекультивационным мероприятиям сначала по ликвидации старого шламонакопителя, имеющего наиболее опасную позицию расположения, а в последствие и заполненных карт действующего шламонакопителя, достигается успешное регулирование процессом загрязнения подземных вод, позволившим сохранить крупный питьевой водозабор.

#### Литература

1. Елохина С.Н., Еремина Е.Д., Ширинкин О.Ю. Комплексный мониторинг природно-технических систем как основа рекультивации слабоуплотняющихся техногенных грунтов // Сергеевские чтения. Вып. 17. Инженерно-геологические и геоэкологические проблемы городских агломераций: мат-лы годичной сессии Научного совета РАН по проблемам геоэкологии, инженерной геологии и гидрогеологии (19-20 марта 2015 г.). – М.: Изд-во РУДН, 2015. – С. 410-414.

### МИНЕРАЛЬНЫЕ ПИТЬЕВЫЕ ВОДЫ НЕФТЯНЫХ РАЙОНОВ РЕСПУБЛИКИ ТАТАРСТАН

**М.С. Зарипов, Р.Х. Сунгатуллин**

Казанский (Приволжский) федеральный университет, 420008, г. Казань, ул. Кремлевская, 18.  
E-mail: moarmar@ya.ru, Rafael.Sungatullin@kpfu.ru

Цель работы заключалась в анализе условий формирования, особенностей размещения и химического состава минеральных питьевых вод на юго-востоке Республики Татарстан (РТ) – одного из традиционных добычных регионов Волго-Уральской нефтегазоносной провинции. На данной территории минеральные воды используются в 2-х санаториях – «Ян» (Альметьевский район) и «Бакирово» (Лениногорский район). Однако возможности практического применения минеральных вод могут быть значительно расширены за счет разработки новых типов. Проведенный авторами анализ пространственного распределения минеральных вод позволил дополнить выводы предшествующих исследователей и получить новые результаты с учетом требований нормативного документа по минеральным природным питьевым водам [1].

На территории изученных районов наиболее распространены минеральные воды в пермских (биармийских и приуральских) стратонах, на долю которых приходится более 80% всех проявлений (рис. 1); при этом более половины водопунктов встречаются в отложениях казанского яруса. Минерализация вод изменяется от 0,48 до 9,84 г/дм<sup>3</sup>, что соответствует пресным, слабо-, мало- и среднеминерализованным водам и увеличивается сверху вниз по разрезу. Так, средняя минерализация в биармийских отложениях составляет 1,9 г/дм<sup>3</sup>, а в приуральских она в 2 раза больше – 3,8 г/дм<sup>3</sup>.

| система          | отдел   | ярус     | подъярус | горизонт свита комплекс | индекс | распределение минеральных вод, % | распределение самых распространенных наименований минеральных вод |                               |                                |  |   |  |                   |             |  |  |  |                                      |     |      |  |  |  |  |  |  |            |  |   |   |  |                   |      |  |  |  |  |            |        |   |  |                                |       |  |  |  |  |  |  |              |  |  |  |                                   |                   |       |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|------------------|---------|----------|----------|-------------------------|--------|----------------------------------|---|-------------------------------|--------------------------------|--|---|--|-------------------|-------------|--|--|--|--------------------------------------|-----|------|--|--|--|--|--|--|------------|--|---|---|--|-------------------|------|--|--|--|--|------------|--------|---|--|--------------------------------|-------|--|--|--|--|--|--|--------------|--|--|--|-----------------------------------|-------------------|-------|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|
|                  |         |          |          |                         |        |                                  | хлоридная магниево-кальциевая                                     | хлоридная натриево-кальциевая | сульфатная магниево-кальциевая | гидрокарбонатно-хлоридная натриево-магниево-кальциевая | сульфатная натриево-магниево-кальциевая | хлоридная магниево-натриево-кальциевая |                   |             |  |  |  |                                      |     |      |  |  |  |  |  |  |            |  |   |   |  |                   |      |  |  |  |  |            |        |   |  |                                |       |  |  |  |  |  |  |              |  |  |  |                                   |                   |       |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|                  |         |          |          |                         |        |                                  |   |                               |                                |  |   |  | 0 20 40 60 80 100 |             |  |  |  |                                      |     |      |  |  |  |  |  |  |            |  |   |   |  |                   |      |  |  |  |  |            |        |   |  |                                |       |  |  |  |  |  |  |              |  |  |  |                                   |                   |       |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| КАМЕННО-УГОЛЬНАЯ | СРЕДНИЙ | ПЕРМСКАЯ |          |                         |        | четвертичная                     | 0.8%  |                               |                                |  |   |  |                   |             |  |  |  |                                      |     |      |  |  |  |  |  |  |            |  |   |   |  |                   |      |  |  |  |  |            |        |   |  |                                |       |  |  |  |  |  |  |              |  |  |  |                                   |                   |       |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|                  |         |          |          |                         |        |                                  |   |                               |                                |  |   |  |                   | БИАРМИЙСКИЙ |  |  |  | водоносный четвертичный аллювиальный | aQp | 5.5% |  |  |  |  |  |  |            |  |   |   |  |                   |      |  |  |  |  |            |        |   |  |                                |       |  |  |  |  |  |  |              |  |  |  |                                   |                   |       |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|                  |         |          |          |                         |        |                                  |   |                               |                                |  |   |  |                   |             |  |  |  |                                      |     |      |  |  |  |  |  |  | КАЗАНСКИЙ  |  | верхний   | водоносная верхнеказанская карбонатно-терригенная | P <sub>2</sub> kz <sub>2</sub>                                   | 38.3%             |      |  |  |  |  |            |        |   |  |                                |       |  |  |  |  |  |  |              |  |  |  |                                   |                   |       |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|                  |         |          |          |                         |        |                                  |   |                               |                                |  |   |  |                   |             |  |  |  |                                      |     |      |  |  |  |  |  |  |            |  |   |   |  |                   |      |  |  |  |  |            | нижний |   | водоносная нижнеказанская карбонатно-терригенная | P <sub>2</sub> kz <sub>1</sub> | 28.9% |  |  |  |  |  |  |              |  |  |  |                                   |                   |       |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|                  |         |          |          |                         |        |                                  |   |                               |                                |  |   |  |                   |             |  |  |  |                                      |     |      |  |  |  |  |  |  |            |  |   |   |  |                   |      |  |  |  |  |            |        |   |  |                                |       |  |  |  |  |  |  | ПРИУРАЛЬСКИЙ |  |  |  | водоносный шешминский терригенный | P <sub>1</sub> šš | 15.6% |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|                  |         |          |          |                         |        |                                  |   |                               |                                |  |   |  |                   |             |  |  |  |                                      |     |      |  |  |  |  |  |  | САКМАРСКИЙ |  | водоносный стерлитамакско-соликамский сульфатно-карбонатный | P <sub>1</sub> st-sk                              | 9.3%   |                   |      |  |  |  |  |            |        |   |  |                                |       |  |  |  |  |  |  |              |  |  |  |                                   |                   |       |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|                  |         |          |          |                         |        |                                  |   |                               |                                |  |   |  |                   |             |  |  |  |                                      |     |      |  |  |  |  |  |  |            |  |   |   |  |                   |      |  |  |  |  | АССЕЛЬСКИЙ |        | водоупорный локально-водоносный каширско-ассельский сульфатно-карбонатный | C <sub>2</sub> kš-P <sub>1</sub> a               | 1.6%                           |       |  |  |  |  |  |  |              |  |  |  |                                   |                   |       |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|                  |         |          |          |                         |        |                                  |   |                               |                                |  |   |  |                   |             |  |  |  |                                      |     |      |  |  |  |  |  |  | УРЖУМСКИЙ  |  |   |   | проницаемый локально-водоносный уржумский карбонатно-терригенный | P <sub>2</sub> ur | 5.5% |  |  |  |  |            |        |   |  |                                |       |  |  |  |  |  |  |              |  |  |  |                                   |                   |       |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|                  |         |          |          |                         |        |                                  |   |                               |                                |  |   |  |                   |             |  |  |  |                                      |     |      |  |  |  |  |  |  |            |  |   |   |  |                   |      |  |  |  |  |            |        |   |  |                                |       |  |  |  |  |  |  |              |  |  |  |                                   |                   |       |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|                  |         |          |          |                         |        |                                  |   |                               |                                |  |   |  |                   |             |  |  |  |                                      |     |      |  |  |  |  |  |  |            |  |   |   |  |                   |      |  |  |  |  |            |        |   |  |                                |       |  |  |  |  |  |  |              |  |  |  |                                   |                   |       |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|                  |         |          |          |                         |        |                                  |   |                               |                                |  |   |  |                   |             |  |  |  |                                      |     |      |  |  |  |  |  |  |            |  |   |   |  |                   |      |  |  |  |  |            |        |   |  |                                |       |  |  |  |  |  |  |              |  |  |  |                                   |                   |       |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|                  |         |          |          |                         |        |                                  |   |                               |                                |  |   |  |                   |             |  |  |  |                                      |     |      |  |  |  |  |  |  |            |  |   |   |  |                   |      |  |  |  |  |            |        |   |  |                                |       |  |  |  |  |  |  |              |  |  |  |                                   |                   |       |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|                  |         |          |          |                         |        |                                  |   |                               |                                |  |   |  |                   |             |  |  |  |                                      |     |      |  |  |  |  |  |  |            |  |   |   |  |                   |      |  |  |  |  |            |        |   |  |                                |       |  |  |  |  |  |  |              |  |  |  |                                   |                   |       |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|                  |         |          |          |                         |        |                                  |   |                               |                                |  |   |  |                   |             |  |  |  |                                      |     |      |  |  |  |  |  |  |            |  |   |   |  |                   |      |  |  |  |  |            |        |   |  |                                |       |  |  |  |  |  |  |              |  |  |  |                                   |                   |       |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|                  |         |          |          |                         |        |                                  |   |                               |                                |  |   |  |                   |             |  |  |  |                                      |     |      |  |  |  |  |  |  |            |  |   |   |  |                   |      |  |  |  |  |            |        |   |  |                                |       |  |  |  |  |  |  |              |  |  |  |                                   |                   |       |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|                  |         |          |          |                         |        |                                  |   |                               |                                |  |   |  |                   |             |  |  |  |                                      |     |      |  |  |  |  |  |  |            |  |   |   |  |                   |      |  |  |  |  |            |        |   |  |                                |       |  |  |  |  |  |  |              |  |  |  |                                   |                   |       |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|                  |         |          |          |                         |        |                                  |   |                               |                                |  |   |  |                   |             |  |  |  |                                      |     |      |  |  |  |  |  |  |            |  |   |   |  |                   |      |  |  |  |  |            |        |   |  |                                |       |  |  |  |  |  |  |              |  |  |  |                                   |                   |       |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |

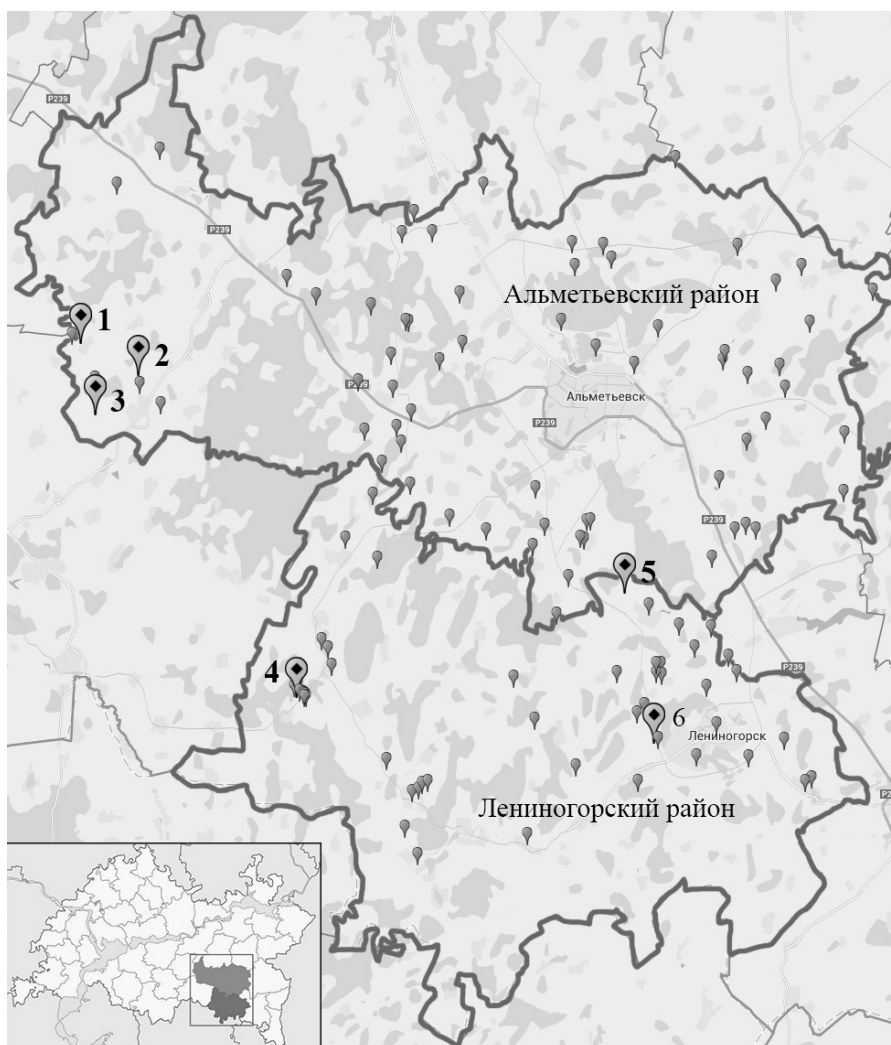
Рис. 1. Типы минеральных вод в осадочном разрезе юго-востока РТ

Самыми распространенными в Альметьевском районе являются следующие наименования вод (в порядке убывания): хлоридная магниевая-кальциевая, хлоридная кальциево-натриевая, хлоридная натриево-кальциевая, хлоридная кальциевая, сульфатная магниевая-кальциевая. В Лениногорском районе преобладают следующие наименования минеральных вод: хлоридная магниевая-кальциевая, сульфатная магниевая-кальциевая, гидрокарбонатно-хлоридная натриево-магниевая-кальциевая, хлоридная магниевая-натриево-кальциевая, сульфатная натриево-магниевая-кальциевая. На территории районов не встречаются воды магниевого и магниевая-натриевого катионного состава, а среди анионов отсутствуют смешанные воды.

Одна из главных особенностей всех подземных вод и, в частности, минеральных вод связана с их подвижностью, тесной взаимосвязью с окружающим пространством и техногенными объектами. Интенсивная нефтедобыча на юго-востоке РТ за последние 70 лет кардинально изменила гидрохимический облик подземных вод. При этом в результате нефтепромышленного воздействия в природные воды могут поступать как ионы, аналогичные тем, что обычно входят в состав природных вод (хлориды, сульфаты, натрий, кальций и др.), так и компоненты, которые являются чужеродными для естественных условий. Параллельно быстро увеличивается группа вод, непригодная для хозяйственно-питьевого водоснабжения, но которая может рассматриваться как перспективная для обнаружения минеральных лечебных и лечебно-столовых вод.

Воздействие техногенеза на окружающую среду особенно выражено в нефтяных районах, к которым относятся Лениногорский и Альметьевский районы РТ. Именно здесь расположены уникальное Ромашкинское и крупное Ново-Елховское месторождения нефти. Основными источниками загрязнения подземных вод на территории нефтепромышленных являются эксплуатационные и нагнетательные скважины, нефтепроводы, водоводы, товарные парки, установки подготовки нефти и воды, селитренные и другие техногенные объекты. К специфическим техногенным условиям юго-востока РТ относятся: наличие большого количества глубоких нефтяных скважин, техногенно-индуцированные землетрясения, кардинальное изменение гидродинамических параметров и гидрохимической обстановки при добыче нефти.

Проявления минеральных вод сульфатно-хлоридного состава приурочены к Ромашкинскому и Ново-Елховскому месторождениям нефти и практически не встречаются в пределах Алтунино-Шунакского разлома, который разделяет месторождения. Это может свидетельствовать о техногенной трансформации подземной гидросферы в местах нефтедобычи. После извлечения углеводородов нефтепромышленные могут быть переориентированы на добычу минеральных и промышленных подземных вод. Здесь необходимо учитывать, что хлориды и сульфаты относятся к очень стойким и медленно распадающимся соединениям: время их распада в воде составляет десятки и сотни лет. Это определяет возможность долговременного использования минеральных ресурсов подземной гидросферы в регионах традиционной добычи углеводородов.



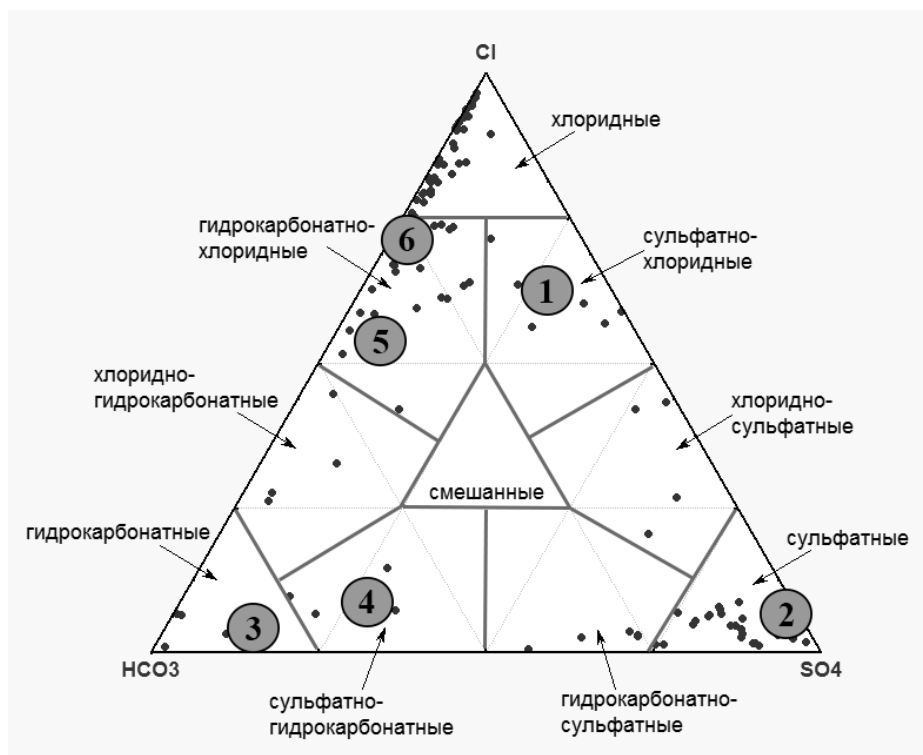
**Рис. 2. Размещение исследованных водоупунктов. Водоупункты с номерами – новые типы минеральных питьевых вод:**

1 – Ергенинский; 2 – Казанский; 3 – Нагутский; 4 – Железноводский;  
5 – Старорусский; 6 – Карачинский

Кроме того, некоторые водопроявления обладают гидрокарбонатным натриевым составом (содовые воды) и расположены они в пределах залежей высоковязких нефтей – битумов. В этих водах содержание  $\text{HCO}_3^-$  – выражается граммами и более на 1 л; в них гидрокарбонат-ионы связаны с ионами натрия, причем кальция и магния в подобных водах мало. Особый интерес представляет минеральная вода с повышенным содержанием в ней органических веществ – местный аналог марки «Нафтуса» («Волжанка»). Кроме ха-



рактрных типов вод, в нефтяных районах встречаются и новые типы воды (согласно [1]): железноводский (VIII группа – сульфатно-гидрокарбонатная натриевая); нагутский (I группа – гидрокарбонатно-натриевая, содержащая органические вещества), казанский (XII группа – сульфатная магниево-кальциевая), старорусский (XXVII группа – гидрокарбонатно-хлоридная магниево-натриево-кальциевая), ергенинский (XXI группа – сульфатно-хлоридная натриево-кальциевая, содержащая органические вещества), карачинский (XXV группа – гидрокарбонатно-хлоридная натриевая) (рис. 2, 3).



**Рис. 3. Диаграмма распределения анионов в минеральных водах.**  
Кружки с номерами – новые типы минеральных питьевых вод (см. рис. 2)

Исходя из вышеизложенного, можно сделать следующие выводы:

1. Минеральные питьевые лечебно-столовые воды в нефтяных районах Республики Татарстан, преимущественно, встречаются в пермских стратонах. Преобладающая часть минеральных вод по анионному составу относится к хлоридным и сульфатным, а по катионному составу – к натриевым и кальциевым.

2. Ведущими факторами, влияющими на формирование химического состава и минерализации вод, являются состав водовмещающих пород и вы-

сокая техногенная нагрузка; при этом добыча углеводородов, преимущественно, сказывается на анионном составе.

3. Минеральные воды нефтяных и битумных залежей имеют четкие гидрохимические различия. Для первых характерно преобладание среди анионов хлора, а для вторых – гидрокарбонат-иона.

#### Литература

1. ГОСТ Р 54316-2011. Воды минеральные природные питьевые. Общие технические условия. – М., 2011. – 41 с.

## ДЕСТАБИЛИЗАЦИЯ ПРИРОДНЫХ ГИДРОГЕОЭКОСИСТЕМ

**В.П. Зверев**

Институт геоэкологии им. Е.М. Сергеева РАН, 101000, г. Москва, Уланский пер, 13/2.  
E-mail: zverev@geoenv.ru

Природные гидрогеоэкосистемы – сфера взаимопроникновения и взаимодействия литосферы, атмосферы, гидросферы и биосферы, в которой обитает человек, включает горные породы и атмосферу Земли, почвы, растительный и животный мир и, конечно, воду, существование живого вещества без которой не возможно.

В основу изучения дестабилизации природных гидрогеоэкосистем Земли положено выдвинутое В.И. Вернадским [1] представление о единстве природных вод Земли, подвижность которых обуславливает их глобальные круговороты, включая подземный цикл [6].

Наиболее показательным количественным параметром, характеризующим круговорот природных вод, являются их массопотоки [3], возникающие в результате совместного влияния солнечной радиации, внутри земного тепла и гравитационного поля Земли, которые реализуются в ходе развития атмосферы, гидросферы, биосферы и литосферы постоянно.

Массопотоки природных вод, возникающие под влиянием непосредственной антропогенной деятельности, включают расходы на орошение, промышленность, бытовые нужды населения регламентированного и не регламентированного сброса сточных вод, потери из водопроводных и канализационных сетей, заполнение водохранилищ и т.п.

В последние десятилетия двадцатого века водопотребление на Земле, увеличилось в несколько раз. В конце девяностых годов изымалось  $4,0 \cdot 10^{18}$  г/год природных вод. Антропогенных потоки подземных вод в это время составляли  $0,45 \cdot 10^{18}$  г/год. Одновременно в водоносные горизонты закачивалось  $0,42 \cdot 10^{18}$  г/год загрязненных вод. Таким образом, величины антропогенных

массопотоков воды стали соизмеримы с массопотоком подземных вод зоны активного водообмена земной коры, составляя примерно его 40%.

Необходимо подчеркнуть, что антропогенное влияние на отбор подземных вод и сброс воды на разных уровнях гидросферы далеко не одинаковы.

Важнейшим показателем дестабилизации гидрогеоэкосистем является отклонения химического состава природных вод от их фоновых показателей, рассматриваемые на основных уровнях Гидросферы.

В качестве основного фактора, влияющего на изменения условий формирования химического состава природных вод на глобальном уровне, оценивается изменение парциального давления  $\text{CO}_2$  в атмосфере [9].

Сейчас парциальное давление  $\text{CO}_2$  составляет 360-370 ppm. В отношении будущего роста концентрации  $\text{CO}_2$  в атмосфере существует достаточно большая неопределенность, зависящая от темпов антропогенной эмиссии. Наиболее вероятно, что к концу XXI в. парциальное давление  $\text{CO}_2$  может достигнуть 720 ppm., т.е. будет примерно в 2 раза выше, чем в настоящее время. Этот двукратный рост был принят за исходный при прогнозировании увеличения содержания  $\text{CO}_2$  в поверхностных и грунтовых водах на конец XXI в.

Концентрация  $\text{CO}_2$  в грунтовых водах зависит в основном от процессов разложения органики в почвенных горизонтах. Рост парциального давления  $\text{CO}_2$  в атмосфере должен способствовать пропорциональному увеличению продуктивности растительности, и поэтому вполне корректно допустить соответствующий возрастанием концентрации  $\text{CO}_2$  в подземных и поверхностных водах. В связи с принятым двукратным ростом парциального давления  $\text{CO}_2$  к концу XXI в., увеличение массопотоков  $\text{HCO}_3^-$  в подземных водах, составляющее в настоящее время  $2,1 \cdot 10^{12}$  г/год, возрастет примерно на 20%.

Гидрогеохимические изменения поверхностных и подземных вод обуславливаются загрязнением газовыми, жидкими и твердыми отходами транспорта, промышленности, объектами энергетики и жизнеобеспечения. Подобные изменения захватывают как значительные территории, так и носят локальный характер, будучи связанными с точечными источниками загрязнения.

На региональном уровне наибольший вклад на изменение химического состава поверхностных и подземных вод под влиянием антропогенных факторов вносят атмосферные осадки, что хорошо иллюстрируется территорией Европейской России. Установлено, что наибольшее влияние в этот процесс оказывает увеличение в них содержания ионов  $\text{SO}_4^{2-}$ , который является самым характерным компонентом в выпадающих осадках, определяющим техногенное загрязнение атмосферных осадков и наиболее значительно влияющим на изменение состава поверхностных и грунтовых вод. С начала 50-х до конца 90-х гг. прошлого века, на территории Европейской России происходило закономерное увеличение средней концентрации  $\text{SO}_4^{2-}$  во всех ее природно-климатических зонах. Наибольший рост концентрации  $\text{SO}_4^{2-}$  отмечен в зонах избыточного и недостаточного увлажнения, а также в промышленных районах. В среднем, содержание  $\text{SO}_4^{2-}$  в атмосферных осадках увеличилось

здесь примерно в 2 раза от 5-10 мг/л до 15-20 мг/л. Максимальное влияние состав атмосферных осадков оказывает на поверхностные и грунтовые воды зоны избыточного увлажнения, где их доля в массопотоке сульфатов может достигать 20-40%.

Другой процесс, связанный с атмосферными осадками – выпадение т.н. «кислых» дождей. Этот феномен происходит при взаимодействии сернистого ангидрида газовых выбросов с атмосферной влагой, в результате чего рН атмосферных осадков может достигать 4-4,5. Подобные значения рН наблюдаются обычно только в достаточной близости от источников загрязнения и не постоянно, а в основном в зимние месяцы, когда запыленность атмосферы наиболее низкая и ее нейтрализующая способность значительно меньше [7]. Обычно рН атмосферных осадков, выпадающих в частности на территории Москвы, колеблется в интервале 5,5-6,5. Снижение кислотности природных вод способствует развитию экзогенных процессов.

Существенным, но не распространенным повсеместно, является загрязнение природных вод углеводородами. Обычно оно связано с нефтепромыслами, транспортировкой нефти трубопроводами и судами, нефтеперегонными заводами, нефтехранилищами и широкой сетью бензозаправочных станций. Поступление нефтепродуктов в окружающую среду происходит при сбросах с судов в море промысловых и балластных вод, потерях при переливе нефти из танкеров и обратно, в результате довольно частых протечек из резервуаров и трубопроводов, так и с регулярно случающимися разливами при перекачке горючего из автоцистерн и заправке автомашин. Потери при добыче, транспортировке и переработки нефти достигают порядка 3%.

Выделены следующие формы загрязнения нефтепродуктами подземных, в основном грунтовых вод [12]: пленочное концентрирование и растекание по поверхности грунтовых вод; растворенные и эмульгированные нефтепродукты в грунтовых водах; скопление в водоносном горизонте тяжелых слабоподвижных нефтепродуктов высокой плотности; плавающие линзы нефтепродуктов – концентрирование жидких нефтепродуктов в относительно низкопроницаемых грунтах в виде локальной зоны полного их нефтепродуктового насыщения непосредственно над поверхностью грунтовых вод.

Последние, обычно, образуются ниже или вблизи мест концентрированных потерь нефтепродуктов (нефтебазы, аэродромы и т.п.). Так в районе Туапсинской нефтебазы на площади 27 га оконтурена плавающая линза смеси сырой нефти, бензина и т.д. плотностью от 0,81 до 0,88 г/дм<sup>3</sup>. Общие запасы жидких нефтепродуктов в ней достигали 17000 м<sup>3</sup>.

На локальном уровне дестабилизацию гидрогеоэкосистем можно свести к двум основным типам: гидрогеодинамическому и гидрогеохимическому изменениям [5].

Под первыми – понимаются техногенные нарушения природного баланса питания и разгрузки подземных вод и, как следствие, естественного режима последних на конкретных территориях. Гидрогеодинамические изменения заключаются в снижении или увеличении среднесуточной глубины

залегания грунтовых и подземных вод, а также существенных колебаниях их амплитуд и расходов.

В результате изменения нисходящего перетока из горизонта грунтовых вод, при водоотборе подземных вод из залегающих ниже межпластовых водоносных горизонтов происходят существенные нарушения приходно-расходных статей баланса глубоких горизонтов подземных вод, ведущие к значительной трансформации их динамических параметров.

Гидрогеохимические изменения подземных вод обуславливаются загрязнением последних газовыми, жидкими и твердыми отходами транспорта, промышленности, объектами энергетики и жизнеобеспечения. Подобные изменения могут захватывать как значительные территории, так и носить локальный характер, определяясь точечными источниками загрязнения. Содержащиеся в них токсичные вещества, в первую очередь тяжелые металлы и различные органические соединения частично аккумулируются в почвенных горизонтах, а какая-то их часть попадает в грунтовые воды, образуя в них многочисленные очаги загрязнения.

Наибольшую опасность представляют несанкционированные технические приемы захоронения: сброс в поглощающие колодцы и принудительная закачка жидких отходов в водоносные горизонты на территории промышленных предприятий. Как правило, они содержат неподдающиеся очистке высококонцентрированные токсичные компоненты органического и неорганического происхождения. В подобных случаях концентрация отдельных компонентов в грунтовых водах может увеличиваться на несколько порядков и распространяться вниз по их потоку и затем поступать в поверхностные водотоки.

Антропогенное влияние на формирование химического состава подземных вод на локальных уровнях иллюстрируется на примере двух регионов: территории г. Москвы в пределах кольцевой автодороги (МКАД) и крупного центра химической промышленности – г. Дзержинска Нижегородской обл.

Для территории Москвы в пределах МКАД выполнена оценка изменения концентрации [8] и массопотоков [10] отдельных макрокомпонентов и их суммы, по крайней мере, за последний полувековой период. Установлено, что концентрации и массопотоки различных компонентов растут неодинаково. Так, суммарная величина массопотока макрокомпонентов и минерализация за рассмотренное время возрастают примерно в 3 раза, массопоток и концентрация сульфатов – в 2,5 раза, натрия – в 9 раз, а хлора – более чем на порядок – в 15 раз. Полученные цифры во многом объясняются особенностями антропогенного загрязнения окружающей среды соединениями, содержащими эти компоненты.

Основной источник увеличения концентрации сульфатов в грунтовых водах в пределах территории г. Москвы – атмосферные осадки, а также выбросы автомобильного транспорта и различных промышленных и бытовых объектов. Резкое увеличение содержания Cl и Na, особенно в последние два десятилетия, прямым образом связано со всевозрастающим использованием

солей, содержащих эти элементы, как основного противогололедного средства на городских магистралях [11].

Территория г. Дзержинска Нижегородской обл., характеризующийся интенсивным развитием химической промышленности, где ряд крупных заводов расположены на надпойменных террасах левобережья низовьев р. Оки. Здесь 50–60-метровая песчаная аллювиальная толща содержит мощный горизонт грунтовых вод, дренируемый р. Окой. В естественных условиях это маломинерализованные гидрокарбонатные кальциевые воды. Лишь в нижней части разреза, перекрывающей загипсованные породы артинского яруса, минерализация грунтовых вод увеличивается, и они приобретают сульфатный кальциевый состав.

Влияние техногенной нагрузки на химизм грунтовых вод района г. Дзержинска обусловлен двумя процессами: фильтрацией из каналов и отстойников, практически лишенных изоляции от грунтовых вод, и несанкционированным сбросом в поглощающие колодцы и скважины на территориях закрытых предприятий [2].

Наибольшее влияние на грунтовые воды оказывает несанкционированная закачка сточных вод в водоносные горизонты. Так, на одном из участков на расстоянии 50 м от источника загрязнения концентрация  $\text{SO}_4^{2-}$  составила 8543 мг/л,  $\text{NH}_4^+$  – 1172 мг/л,  $\text{Na}^+$  – 2575 мг/л, а pH снизился от 6,6 до 4,4. В среднем сброс загрязненных промышленных вод в скважинах в отдельных участках исследованного района увеличивает содержание Cl в 20 раз, сульфатов – на 2 порядка, а аммония – на 3.

Таким образом, техногенная нагрузка в пределах городских агломераций и промышленных зон приводит к росту концентраций всех соединений, в том числе и макрокомпонентов в грунтовых водах, которые возрастают от нескольких раз в относительно благоприятных условиях до 2–3 порядков в непосредственной близости от очага загрязнения.

Изменение химизма подземных вод приводит к сдвигу равновесно-неравновесного состояния между водой и породой большей частью в неравновесную сторону, т.к. бытовые и промышленные стоки содержат значительные количества агрессивных компонентов, что, несомненно, сказывается на активизации экзогенных процессов и прежде всего карста, который во многом зависит и от изменения гидродинамических условий [4].

#### Литература

1. Вернадский В.И. История минералов земной коры. Т.2. История природных вод // Избранные сочинения. Т.4. Кн.2. М.: Изд-во АН СССР, 1960. С. 5-536
2. Гаврюхина А.А., Зверев В.П., Огильви А.Н., Федорова Т.К. К вопросу о самоочищении подземных вод, загрязненных промышленными стоками // Гидрохимические материалы. 1968. Т. 47. С. 246-253.
3. Зверев В.П. Массопотоки подземной гидросферы. М.: Наука, 1999. 97 с.
4. Зверев В.П. Подземные воды земной коры и геологические процессы. 2-е изд. М.: Научный мир, 2007. 256 с.
5. Зверев В.П. Вода в Земле. М.: Научный мир, 2009. 252 с.
6. Зверев В.П. Система природных вод Земли. М.: Научный мир, 2013. 312 с.

7. Зверев В.П., Варванина О.Ю. Антропогенные изменения химического состава атмосферных осадков Европейской России и их влияние на подземные воды // *Геоэкология*, 2000. № 3. С. 216-223
8. Зверев В.П., Варванина О.Ю., Костикова И.А. Влияние техногенного загрязнения на формирование химического состава грунтовых вод территории Москвы // *Геоэкология*, 2001. № 5. С. 431-436.
9. Зверев В.П., Путилина И.С. Массопотоки диоксида углерода и интенсивность его взаимодействия с горными породами // *Геоэкология*, 1999. С. 518-525
10. Зверев В.П., Путилина В.С., Киселева Н.В. Количественная оценка локальных массопотоков гидросферы на примере бассейна р. Москвы // *Геоэкология*. 1995. № 5. С. 46-54
11. Москва: город и геология (ред. В.И. Осипов, О.П. Медведев). М.: Моск. Уч. и Картолит, 1997. 400 с.
12. Техногенное загрязнение природных вод углеводородами и его экологические последствия (В.М. Гольдберг, В.П. Зверев, А.Н.Арбузов и др. М.: Наука, 2001. 125 с.

## **К ОЦЕНКЕ АГРЕССИВНЫХ СВОЙСТВ ПОДЗЕМНЫХ ВОД К СТРОИТЕЛЬНЫМ КОНСТРУКЦИЯМ И КОММУНИКАЦИЯМ НА ЗАСТРОЕННЫХ ТЕРРИТОРИЯХ**

**В.П. Костарев, С.А. Утемова**

Верхнекамский трест инженерно-строительных изысканий, г. Пермь.  
E-mail: vktisizperm@mail.ru

Агрессивная геологическая среда – одно из опасных проявлений техногенеза [2,3]. Агрессивность ее к строительным конструкциям и коммуникациям определяется в первую очередь химическим составом вод и грунтов, биокоррозионными свойствами последних и наличием в них блуждающих токов. Подземные (и подводные) бетонные и металлические сооружения, трубопроводы и кабели являются одной из самых капиталоемких отраслей экономики. Срок службы их обусловлен в основном коррозионной стойкостью материалов. От их нормального, бесперебойного функционирования зависит жизнеобеспечение населенных пунктов. И очень важно обеспечить эту стойкость на многие годы соответствующей защитой, параметры которой находятся в зависимости от устанавливаемых, как правило, инженерно-геологическими, гидрогеологическими, гидрометеорологическими и инженерно-экологическими исследованиями видов и степени агрессивности окружающей среды.

Российские (союзные) нормы оценки коррозионной агрессивности вод и грунтов наиболее детализированы. По отношению к бетону и железобетонным конструкциям они [8,9,11] учитывают не только марку по водонепроницаемости и тип цемента, но и условия их контакта со средой, определяемые климатической зоной влажности и фильтрационными свойствами грунтов, периодичностью смачивания и наличием испаряющих поверхностей.

На значительной части территории Пермского края подземные воды в естественных условиях обладают тем или иным видом агрессивности к бетону. Наиболее распространены виды с выщелачивающей, углекислотной, реже общекислотной агрессивностью слабой степени. Они тесно взаимосвязаны, так как определяющие их компоненты формируют карбонатную систему вод. Как правило, агрессивны болотные воды. В районах сульфатного карста формируется сульфатный вид коррозии бетона. В оценке агрессивных свойств природных вод существенную помощь оказывают данные гидрогеологических съемок.

Значительно более разнообразен (а нередко и более агрессивен) и непостоянен химический состав подземных вод градопромышленных агломераций Западного Урала, давно находящийся под прессингом техногенеза. Не улучшает качество вод и сельскохозяйственное производство. И это нужно учитывать при оценке их агрессивности.

Не следует забывать и о нормативном положении [7], определяющем сроки действия химических анализов вод: не более 3 лет до разработки проекта и 5 лет до начала строительства. На промплощадках и интенсивно осваиваемых участках и эти сроки могут оказаться завышенными. Агрессивность сточных вод определяется химическими анализами за последние три месяца.

Важно помнить и о представительности проб по типу вод, их месту и времени опробования (сезону). При инженерно-геологических изысканиях (обычно краткосрочных) на застроенных территориях необходимо не только тщательное и представительное опробование водоносных горизонтов, верховодки и фундаментных (по [10]) вод, но сбор и анализ результатов гидрохимических исследований прошлых лет. Иллюстрацией тому множество примеров из практики изысканий.

Для Пермского края характерны техногенное, бытовое, агрохимическое и геологоразведочное загрязнения подземных вод. По условиям поступления в них загрязняющих веществ встречаются все типы и большая часть подтипов [6].

В левобережной части г.Перми, возраст (с 1723 г.) и плотность застройки которой наиболее значительны, только за 1950-80<sup>е</sup> гг. [4] установлены грунтовые воды 194 фаций шести гидрохимических формаций (установленных по преобладающему весовому содержанию анионов и катионов [5]), пять из которых (помимо гидрокарбонатной) являются аномальными и отмечены в 33% проб.

На одной из промплощадок (Орджоникидзевский район) площадью 1 км<sup>2</sup> в пределах низких террас р. Камы подземные воды 13 гидрохимических фаций имели минерализацию от 2 до 40 г/л и обладали практически всеми видами агрессивности к бетону и железобетону, тем более к металлическим конструкциям.

В долине р. Пермь (центр города) встречены грунтовые воды 24 гидрохимических, как правило, четырех-пятикомпонентных фаций с минерализацией от 0,6 до 4,3 г/л и более. Агрессивность в основном сульфатная



и углекислая, встречаемость св. 60%. А в пятом квартале города (частная застройка) в марте 2006 г. на глубине 8-13 м обнаружены воды нитратно-натриевой (!) фации с минерализацией 6,5-6,8 г/л и содержанием нитратного иона 3,7-3,8 г/л, по-видимому, прошедшие в начальный период загрязнения стадию аммонийной агрессивности к бетону.

Заслуживают внимания результаты гидрогеохимических исследований центрального правобережья г. Перми, где в 70<sup>е</sup> годы прошлого столетия планировалось создание крупнейшего района на 2,6 млн.м<sup>2</sup> жилья (район «Камская долина»). Но сложные природные и геотехнические условия территории, обусловленные в первую очередь Камским и Воткинским водохранилищами и широким развитием специфических (торфов и заторфованных разностей) грунтов, пока не позволяют реализовать задуманное. Осложняющим фактором является не только высокое положение подземных вод, но весьма существенное разнообразие их химического состава (в 500 пробах в течение 40 лет зафиксировано 128 гидрохимических фаций на площади 9 км<sup>2</sup>!) и агрессивности к строительным конструкциям и коммуникациям при минерализации от 0,11-0,13 до 3,6-4,8 г/л. По существу, отмечены почти все виды и разновидности коррозии [1,11]. На одном из участков установлены хлоридно-натриевые и хлоридно-сульфатно-кальциево-натриевые воды с содержанием ионов сульфатного и хлора свыше 1 г/л. Здесь впервые встречены средняя степень агрессивности к арматуре железобетонных конструкций и сильная сульфатная агрессивность к портландцементу.

На одном из многочисленных предприятий химической промышленности Верхнекамья с 1948 по 1977 гг. отмечены подъем уровня и появление 30 гидрохимических фаций грунтовых вод. Агрессивные воды в этот период продвигались на юг по мере пуска в эксплуатацию новых цехов. Наиболее распространены (в соответствии с производством) воды сульфатной и хлоридной формаций, обладающие всеми видами коррозии. Высокое содержание закисного и окисного железа в водах неблагоприятно сказалось на работе вертикального дренажа, девять скважин из шестнадцати которого уже через три месяца после пуска вышли из строя [2].

Один из неблагоприятных регионов края – Кизеловский каменноугольный бассейн, где шахтные воды имеют очень кислую реакцию (рН=2-3), большое содержание железа и магния, сульфатный агрессивный состав, а использование шахтных отвалов в качестве грунтовых строительных материалов приводит к формированию весьма агрессивной среды на объектах. Не решает эту проблему и ликвидация шахт Кизелбасса, а нередко усугубляет ее, расширяя сферу негативного действия агрессивных вод.

По данным инженерно-геологических изысканий проведен анализ гидрохимических условий одного из центральных кварталов г. Перми с 200-летней историей развития. За пятилетний период (2001-2006 гг.) на площади в 6 га встречены грунтовые воды 16 гидрохимических фаций пяти субформаций (по двум преобладающим ионам) и трех формаций. Две из последних, как и 4 из 5 субформаций, обусловлены устойчивым антропогенным загрязнением, связанным более с хозяйственно-бытовым загрязнением, нежели с

промышленным. «Чистой» (природной по широтной зональности) гидрокарбонатно-кальциевой фации не зафиксировано, существенное преимущество (в 38% проб) имеют гидрокарбонатно-сульфатно-кальциевые воды. Причем вод с минерализацией менее 0,5 г/л нет, а слабосоленых (более 1 г/л) – около 80%. Средняя минерализация 1,6 г/л. Минимальная минерализация вод (0,6-0,9 г/л) характерна для начала лета, когда, по-видимому, наиболее растворимые и накопившиеся за зиму на поверхности и в зоне аэрации компоненты растворены и вынесены талыми водами, а дождевые воды последующего периода «разбавляют» воды грунтовые. Наиболее минерализованы (в среднем 2,7 г/л) воды нитратно-натриевой субформации, встреченные на ограниченной площадке (0,15 га) весной (в середине апреля) 2004 г., что обусловлено постоянным и активным внесением удобрений и воздействием выгребных и гаражных ям частной застройки предшествующего периода. Воды обладают высокой коррозионной агрессивностью к свинцовым (по содержанию нитрат-иона) и алюминиевым (по хлор-иону) оболочкам кабелей [1]. Подобная агрессивность характерна и для вод других фаций: лишь в одной пробе зафиксирована средняя степень агрессивности.

Воды очень жесткие (св. 16 мг-экв/л) и это спасает (по содержанию гидрокарбонатного иона) бетонные конструкции от «цементной бациллы» – сульфатной агрессивности при содержании сульфат-иона более 250 мг/л (в среднем 345). По нормативам прошлых лет [8] для 45% проб фиксировалась сульфатная агрессивность, причем для одной трети она оценивалась бы как средняя и сильная. При введении в [9,11] пороговых значений карбонатной жесткости в 3 и 6 мг-экв/л, замедляющей коррозионные процессы, фиксация сульфатной агрессивности резко (в несколько раз) снизилась. Естественно, отсутствует выщелачивающая агрессивность. Наибольшая встречаемость характерна для углекислотного вида коррозии (до 30% проб), причем, как правило, она подтверждается (по [8]) и содержанием свободной углекислоты. Реже (в 8-10% случаев) по содержанию хлор-иона (> 250 мг/л) фиксируется агрессивное воздействие на арматуру железобетонных конструкций, а по величине рН – общекислотная агрессивность к бетону.

По существу, агрессивность к бетону нормальной водопроницаемости на портландцементе может быть оценена как слабая углекислотная, защита от которой достаточно проста, а вот к свинцу и алюминию – безусловно высокая и останется таковой на многие-многие годы. Это основной итог устойчивого загрязнения подземной гидросферы селитебных территорий.

Только осмысливая имеющийся (накопленный) материал, аттестуя качество выполненных работ, используя данные гидрорежимных наблюдений и давая прогностическую оценку гидрохимической обстановке, можно разработать оптимальный вариант защиты строительных конструкций и коммуникаций от коррозии, приносящей вкуче с активно развивающимся подтоплением застроенных территорий многомиллиардный ущерб экономике страны. Отслеживая вариации химического состава поверхностных и подземных вод урбанизированных территорий и изменения техноприродной обстановки, создавая автоматизированный и централизованный банк гидрогеохимических

данных с построением (даже недостаточно кондиционных вследствие разной плотности и неодновременности опробования) периодически обновляемых и корректируемых по материалам текущих инженерно-геологических изысканий гидрохимических карт по агрессивным компонентам, можно своевременно принять превентивные и экономически целесообразные меры по защите зданий и сооружений.

#### Литература

1. ГОСТ 9.609-2005. ЕСЗК. Сооружения подземные. Общие требования к защите от коррозии. М., 2007. 72 с.
2. *Костарев В.П.* Изменение режима грунтовых вод на промышленных площадках Соликамско-Березниковского района // Подтопление застраиваемых территорий грунтовыми водами и их инженерная защита. М.: ПНИИИС, 1978, с. 127-130.
3. *Костарев В.П., Виноградова С.А.* Химический состав и агрессивность подземных вод «Камской долины» // Антропогенная трансформация природной среды. Пермь: ПГУ, 2009, с. 166-171.
4. *Костарев В.П., Изотов В.М.* Химический состав, агрессивные свойства грунтовых вод и особенности их формирования в условиях градопромышленных агломераций Западного Урала // Проблемы гидрогеологии Урала. Свердловск, 1983, с. 33-37.
5. *Максимович Г.А.* Основы учения о гидрохимических фациях // Химическая география и гидрогеохимия Пермской области. Пермь, 1967, с. 5-20.
6. *Минкин Е.Л.* Загрязнение подземных вод // Гидрогеология СССР. Свод. том в пяти выпусках. Вып. 4. М.: Недра, 1973, с. 213-238.
7. Пособие по проектированию защиты от коррозии бетонных и железобетонных строительных конструкций (к СНиП 2.03.11-85). М.: Стройиздат, 1989. 176 с.
8. СНиП II-28-73\*. Защита строительных конструкций от коррозии. М.: Стройиздат, 1980. 45 с.
9. СНиП 2.03.11-85. Защита строительных конструкций от коррозии. М.: ЦИТП Госстроя СССР, 1986. 48 с.
10. СП 11-105-97. Инженерно-геологические изыскания для строительства. Ч.V. Правила производства работ в районах с особыми природно-техногенными условиями. М.: ПНИИИС, 2003. 36 с.
11. СП 28.13330.2012. Защита строительных конструкций от коррозии. Актуализированная редакция СНиП 2.03.11-85. М: Минрегион РФ, 2012. 94 с.

## К ВОПРОСУ СХЕМАТИЗАЦИИ ПРОЦЕССА МАССООБМЕНА ЗАГИПСОВАННЫХ ТРЕЩИНОВАТО-ПОРИСТЫХ ПОРОД С ПОДЗЕМНЫМИ ВОДАМИ В МОДЕЛЯХ МАССОПЕРЕНОСА

А.Л. Лебедев

Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Геологический факультет  
119991 Москва, Ленинские горы 1. E-mail: aleb.104a@yandex.ru

В районах распространения гипса изменения природных условий, связанные с техногенным воздействием на геологическую среду, часто приводят к интенсификации процесса массообмена и, вследствие чего – к увеличению проницаемости и пористости пород. Скорость изменения фильтрационных параметров, в таких условиях, может быть соизмерима по времени со сроками строительства и эксплуатации инженерных сооружений. Особенно остро эта проблема проявляется при гидротехническом строительстве, т.е. в условиях, когда процессы растворения и выщелачивания гипса могут привести к уменьшению фильтрационной устойчивости пород.

Наименее устойчивыми в фильтрационном отношении считаются загипсованные породы. Прогнозные оценки процесса массообмена в массивах загипсованных трещиновато-пористых пород с подземными водами могут проводиться по результатам конечно-разностного моделирования с учетом изменения коэффициентов фильтрации в блоках сеточной модели ( $k_x, k_y$ ).

В трещиноватых загипсованных породах гипс заполняет трещинное пространство между блоками в виде прослоев и (или) поровый объем блоков. Фильтрация осуществляется, главным образом, в трещинах, сформированных по контактам прослоев со стенками блоков, а при их дальнейшем растворении и вымыве (или при их отсутствии) – в трещинном пространстве между блоками. При таких условиях в результате схематизации процессов растворения и выщелачивания гипса в расчетных блоках модели определяются соизмеримость массовых потоков растворенного гипса в блоках пород и в трещинах, скорость выноса массы из блоков в трещины относительно скорости растворения стенок прослоя, а также длина пути насыщения раствора гипсом (т.е. “временные” шаги и размеры блоков сеточной модели выбираются так, чтобы процессы растворения гипса в них (блоках), можно было представить как “равновесные”).

В докладе представлены основные положения схематизации процесса массообмена загипсованных трещиновато-пористых пород с подземными водами от уровня единичной трещины до массива в моделях массопереноса.

*Растворение поверхности гипсовой стенки единичной трещины подземными водами* удобно представить в виде [1]:

$$R_s = dC/dt = k_e \xi S (C_m - C)/V, \quad (1)$$

где  $R_s$  – скорость реакции растворения;  $k_e$  – коэффициент скорости растворения;  $C_m, C$  – концентрации ионов  $\text{Ca}^{2+}$ , соответственно, равновесной и на момент времени  $t$ ;  $V$  – объем раствора;  $\xi$  – фактор шероховатости ( $\xi = S/S'$ ,  $S'$  – площадь удельной поверхности);  $S$  – площадь геометрической или видимой поверхности растворения. Температурная зависимость величины  $k_e$  соответствует уравнению Аррениуса ( $\lg k_e = 3.15 - 1830/T$ , К;  $E = 35$  кДж/моль;  $k_e = 1.01 \cdot 10^{-3}$  см/с ( $25^\circ\text{C}$ )). Величина  $C_m$  рассчитывается с учетом комплексообразования для данного химического состава подземных вод. При растворении чистых литологических разностей гипса, т.е. с примесями ( $H$ ) не более  $\approx 5\%$ ,  $C_m = \text{const}$  в случае изменения минерального состава пород.

Поверхность растворения литологических разностей гипса характеризуется фактором шероховатости, величина которого находится в прямо пропорциональной линейной зависимости от среднего размера зерен гипса ( $\xi = 8.61 + 43.9 \cdot d_{cp}$ ) и обратно – от содержания примесей в породе ( $\xi = 10.7 - 0.527 \cdot H$ ). Для пород с микро – и среднезернистой структурой диапазон значений  $\xi$  составляет, соответственно 8 и 11,5. В процессе эпигенеза гипса (с момента его отложения  $\xi = 8.3 - 8.4$ ) величина  $\xi$  может увеличиться на  $\approx 70\%$ .

*Скорость выщелачивания гипса из порового объема блока пород с учетом увеличивающейся толщины “выщелоченного слоя” [4]:*

$$R = V^2 dC/dt = DpnS^2 (C_m - C)/(C - C_o), \quad (2)$$

где  $R$  – скорость выщелачивания;  $D$  – коэффициент диффузии реагентов и продуктов реакции растворения гипса в поровом пространстве блока;  $C_o = 0$  ( $t=0$ );  $\rho$  – плотность гипса;  $n$  – пористость породы (без гипса), в которой гипс первоначально заполняет все поры, т.е. его плотность в породе –  $\rho n$ .

Если внутреннее пространство блоков сформировано из нескольких областей, например: с повышенным и фоновым значениями общей пористости пород (за счет развития процесса доломитизации кальцитового цемента в периферийных частях блоков), то скорость выщелачивания гипса из порового пространства блоков будет определяться двумя последовательными стадиями: скоростью выщелачивания из области доломитизации и – из области с фоновыми значениями доломита (или кальцита). Граница между этими областями может проходить на различном расстоянии от поверхностей блока, т.е. область с фоновым содержанием доломита занимает центральную часть блоков «со смещением», в направлении наибольшего развития процесса доломитизации кальцита.

При содержании в породе гипса 5% значения коэффициента диффузии ионов  $\text{Ca}^{2+}$  составляют диапазон  $D = (3,4 - 7,7) \times 10^{-6}$  см<sup>2</sup>/с ( $25^\circ\text{C}$ , песчаник  $N_1kf_1$ , бидистиллированная вода).

*Массоотдача единичной трещины, стенки которой сложены гипсом [5], рассчитывается на основе модели, согласно которой подобную трещину можно представить в виде щели с параллельными гладкими стенками. Система уравнений, описывающая массоотдачу такой щели при ламинарном те-*

чении потока, состоит из уравнения баланса массы для элемента внутреннего пространства трещины с граничными условиями:

$$\begin{aligned} D\partial^2 C/\partial y^2 &= uy\partial C/\partial x, \\ \partial C/\partial y(x,0) &= 0, C(0,y) = C_0, D\partial C/\partial y(x,b) = -k_e(C_m - C(x,b)) \end{aligned} \quad (3)$$

и уравнения баланса массы для элемента трещины определенной длины

$$q\partial C/\partial x + \partial(bC_b)/\partial t = \alpha(C_m - C) = \rho\partial b/\partial t \quad (4)$$

где  $u$  – скорость потока;  $D$  – коэффициент диффузии реагентов и продуктов реакции растворения гипса во внутреннем пространстве трещины;  $q$  – единичный расход потока;  $b$  – раскрытие ( $2b$ -ширина трещины)  $\alpha$  – коэффициент массоотдачи;  $C_b$  – средняя по расходу концентрация растворенной породы;  $x, y$  – координаты, соответственно по направлению потока и перпендикулярно ему. По результатам аналитического решения и численного исследования этой системы, рассчитывается величина  $C$  для любой точки внутреннего пространства трещины.

Согласно результатам расчетов [3], на основе этой системы уравнений, массоотдача трещин массивов пород, сложенных гипсом, в условиях фильтрации основного потока, т.е. при раскрытиях трещин меньших, чем  $< 0,02$  см и скорости течения в них подземных вод  $\leq 10^{-4}$  м/с, контролируется кинетическим или диффузионно-кинетическим режимами, а длина пути насыщения раствора гипсом может достигать 1 м. При постоянной скорости потока температура и раскрытие влияют на массоотдачу таких трещин сильнее, чем параметры кинетики растворения гипса и коэффициент диффузии.

*Массоотдача совокупности систем трещин (элемента массива пород)* [3]. Расчетная схема может быть составлена на основе модели массоотдачи совокупности систем трещин с усредненными параметрами трещиноватости. Например, при трех взаимно перпендикулярных системах трещин с параллельными гладкими стенками и одинаковым раскрытием  $b$ ,  $n_T = 3b\Gamma$ , где  $n_T$  – трещинная пористость и  $\Gamma$  – густота трещиноватости. При фильтрации в подобных условиях коэффициент массоотдачи элемента массива ( $\beta$ ) – функция густоты трещиноватости и коэффициента массоотдачи единичной трещины ( $\beta = 2\sum\alpha_g \Gamma_g$ , [5]).

Расчетный алгоритм количества массы растворившегося гипса  $M$  для блока сеточной модели основывается на параметрах массоотдачи элемента массива загипсованных пород, которые могут быть получены с помощью результатов миграционных опытов, проведенных в полевых условиях. Если при расчетах  $M$  предполагается использование только параметров равновесия реакции растворения гипса, то для элемента массива на основе усредненных параметров трещиноватости устанавливается зависимость пористости пород от их проницаемости. В этом случае при моделировании на сеточной модели основного объема миграционного потока в массивах трещиноватых загипсованных пород минимальные линейные размеры расчетных блоков должны

быть  $\geq 5$  м. С учетом параметров равновесия и кинетики (при расчетах  $M$ ) определяются значения величины  $\beta$ .

*Процесс массообмена в массивах загипсованных трещиновато-пористых пород с подземными водами* [2]. Методика моделирования процесса изменения фильтрационных параметров от растворения гипса может основываться на следующих предположениях: наиболее медленный процесс – трансформация распределения проницаемости в пространстве модели; поле концентраций стабилизируется быстрее существенного изменения распределения проницаемости; стабилизация поля скоростей фильтрации наступает практически мгновенно по сравнению со стабилизацией поля концентраций.

Эти предпосылки позволяют рассчитывать поля напоров и скоростей фильтрации, а также поле концентраций растворенного гипса в стационарной постановке. Расчет величин  $k_x$  и  $k_y$  проводится через фильтрационные сопротивления двух зон: загипсованных пород и полного выщелачивания. Полученные значения  $k_x$  или  $k_y$  используются на следующем шаге моделирования. При пересчете проницаемости полагалось, что раскрытие трещины после растворения содержащегося в ней гипса не изменяется.

Расчет коэффициентов фильтрации выполняется на основании модели трещиноватой среды в виде ортогональных систем одинакового раскрытия ( $b$ ) в пределах блока модели. Проницаемость такой среды, например, для трех систем трещин, можно определить как  $k_{II} = b^3 \Gamma / 6$  ( $k_{II} = k \gamma / g$ , где  $k$  – коэффициент фильтрации;  $\gamma$  – коэффициент кинематической вязкости;  $g$  – ускорение силы тяжести).

Зона полного выщелачивания в блоке модели определяются по наибольшему значению величин  $M_C$  и  $M_D$  (т.е. как наиболее “неблагоприятный” вариант). При конвективном переносе по оси  $y$

$$dM_C = q_y (C_m - C) dt, \quad (5)$$

и дисперсионном по  $x$

$$dM_D = D_T (\partial C / \partial y) dt \quad (6)$$

где  $dM_C$  – изменение массы в блоке, пропускающем по  $y$  единичный расход;  $dt$  – интервал времени, меньший для полного растворения всего гипса в элементе;  $C$  и  $C_m$  – текущая и равновесная концентрация растворенного гипса,  $dM_D$  – изменение массы в элементе за счет поперечной гидродисперсии;  $D_T$  – коэффициент поперечной гидродисперсии.

Представленные в докладе основные положения схематизации процесса массообмена загипсованных трещиновато-пористых пород с подземными водами, были использованы при моделировании профильной фильтрации в основании плотины Нижне-Кафирниганского гидроузла. Использовалась схема двухпластового строения: с более проницаемым верхним слоем ( $k = 0.25-1$  м/сут) и нижним ( $k = 0.01-0.05$  м/сут).

Результаты моделирования показали, что при фильтрации подземных вод ненасыщенных гипсом через горизонтально залегающей слой загипсованных трещиновато-пористых пород, выделяются две области последова-

тельного протекания процесса выщелачивания гипса: соответственно, на поверхности кровли и «внутри» слоя. В первой области перенос осуществляется конвекцией и поперечной дисперсией, во второй – преимущественно конвекцией. За расчетный период (100 лет), процесс выщелачивания гипса наиболее интенсивно протекает в области верхнего бьефа, на участках кровли слоя загипсованных пород, в пределах которых перенос осуществляется, главным образом, конвекцией. Увеличение расхода воды в нижнем бьефе весьма незначительно ( $Q=10\div 15\%$ ). В подобных условиях противofiltrационные мероприятия являются средством повышения надежности гидросооружения (а не защитой от фильтрационных потерь), как в случае фильтрации в основании проектируемой плотины Нижне-Кафирниганского гидроузла.

#### Литература

1. Лебедев А.Л. Кинетика растворения гипса в воде // Геохимия. 2015. № 9, с. 828-841.
2. Лебедев А.Л., Лехов А.В. Моделирование изменения проницаемости массива загипсованных трещиновато-пористых пород // Геоэкология. Инженерная геология. Гидрогеология. Геокриология. 2011. № 3, с. 63-74.
3. Лебедев А.Л., Лехов А.В. Процесс массоотдачи загипсованных трещиноватых пород в подземных водах // Водные ресурсы. 1999. Т 26. № 3, с. 312-321.
4. Лебедев А.Л., Лехов А.В., Соколов В.Н., Свиточ Н.А. Скорость выщелачивания гипса из порового пространства песчаников // Геоэкология. Инженерная геология. Гидрогеология. Геокриология. 2003. № 5, с. 438-447.
5. Лехов А.В. Моделирование карстового процесса. 2 Теоретическое исследование модели массопередачи трещин карстующихся пород // Инж.геология. 1981. № 4, с. 70-79.

### ПОДХОД К КОМПЛЕКСНОЙ ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ОЦЕНКЕ УСТОЙЧИВОСТИ ОДЗЕМНОЙ ГИДРОСФЕРЫ ТЕРРИТОРИИ Г. ИРКУТСК

Г.С. Лоншаков, Л.И. Аузина

Иркутский национальный исследовательский технический университет,  
664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова 83. E-mail: rgm-10-1@mail.ru

В XXI в. происходит интенсивная урбанизация во всем мире. По данным ЮНЕСКО, к настоящему моменту более 70% населения Земли проживает в городах развитие которых приводит к значительному изменению экосистем. В связи с этим интенсифицируются природно-техногенные процессы, ухудшается экологическая обстановка в городе, городских агломерациях и прочих техногенно-нагруженных территориях.

Наиболее уязвимая часть городских природно-техногенных систем – это подземная гидросфера. Влиянию роли техногенеза в формировании со-



временного её состояния посвящены работы многих Сибирских ученых гидрогеологов и инженеров-геологов. Выводы, сделанные в их работах, однозначны: техногенное влияние ведет к активизации гравитационных: оползневых, суффозионно-просадочных процессов (в прибрежной части Иркутского водохранилища) и подтоплению территории города, а так же тепловому, бактериальному и химическому загрязнению подземных вод [1,2,3].

Устойчивость подземной гидросферы городских территории обусловлена взаимодействием природных и техногенных факторов, таких как:

- геологическое строение и фильтрационные параметры верхней части разреза;

- дренированность территории и ухудшение условий стока;

- защищенность первого от поверхности земли водоносного горизонта;

- интенсивность дополнительного (техногенного) питания подземных вод;

- условий водообмена первого от поверхности водоносного горизонта;

- влияние барражного эффекта свайных оснований инженерных сооружений.

Одна из наиболее остро стоящих проблем на сегодняшний день – это разработка методов комплексной оценки состояния подземной гидросферы с последующим районированием и оценкой ее устойчивости, прогноз изменения ее состояния и выработка проектных решений, направленных на минимизацию негативных результатов техногенных воздействий [4]. Авторы работы полагают, что устойчивость подземной гидросферы поддается анализу и функциональному описанию через экспертные количественные оценки, определяющих ее факторов.

Решение вышеприведенной проблемы основано на анализе большого объема разнородной геологической информации и невозможно без качественной информационной базы. На современном этапе ГИС-технологии открывают новые пути её решения.

В качестве информационной базы автором работы предлагается электронный атлас геолого-гидрогеологических и техногенных условий территории города Иркутск, который представляет собой векторно-цифровую, послойно отображающуюся, картографическую модель города Иркутска и прилегающих территорий, предоставляющую возможность комплексно анализировать исходную информацию о геологическом строении, гидрогеологических и техногенных условиях с помощью статистических методов и математического моделирования [5].

В качестве обозначенной оболочки была выбрана ГИС программа Quantum GIS, которая предоставляет широкие возможности для отображения, изучения, анализа пространственных данных и выполнения временных и пространственных запросов.

Конечная цель разработки атласа – это районирование территории по степени устойчивости подземной гидросферы в соответствии с комплексным показателем её состояния (КПП) – интегральным показателем, учитывающем

как природную устойчивость подземной гидросферы, так и техногенную нагрузку, действующую в её пределах [6].

Исходные данные для расчета природной устойчивости подземной гидросферы отражены в виде карт, характеризующих площадное распространение тех или иных элементов или характеристик геологической среды.

К настоящему времени в картографический комплекс, отображающий природные условия, вошли:

- Геологическая карта территории г. Иркутск, масштаб 1:50 000, по материалам Рыбакова А.В., 2012;
- Гидрогеологическая карта г. Иркутск и прилегающих территорий, масштаб 1:50 000, по материалам Сироткина Н.В., 1964;
- Геоморфологическая карта территории г. Иркутск, масштаб 1:50 000, Институт географии СО РАН, 2012;
- Схема сейсмического микрорайонирования, ВостСибГИСИЗ, 1989 г.;
- Карта четвертичных образований, ВостСибГИСИЗ, 1989 г.;
- Карта глубин формирования уровней подземных вод, масштаб 1:50 000, Институт географии СО РАН, по материалам Н.И. Демьянович, 2012 г.;
- Карта интенсивности расчлененности современного рельефа, масштаб 1:30 000, по материалам Кононова Е.Е., 2003 г.

Главным отличием разработанного атласа, является то, что в предлагаемом варианте конечные карты сопровождаются, данными по 2500 точкам наблюдения, в том числе – буровым скважинам, колодцам, шурфам, канавам, пройденным на территории города за период с 1989 по 2011 гг. Информация по каждой выработке оценивается по 52 критериям, доступным для статистической обработки. База данных по выработкам открыта для дальнейшего пополнения, с последующим уточнением расчетных характеристик устойчивости, или, например, расширением возможности ретроспективного анализа динамики развития подземной гидросферы.

Каждый векторный слой, представляющий собой отдельную карту, содержит привязанную атрибутивную базу данных, включающую набор значений характеристик для каждого полигона (в соответствии с отображаемым признаком). Наборы отдельных слоев будут приняты в расчет устойчивости подземной гидросферы по отдельным факторам техногенной нагрузки, и собственно, были приняты для расчета самой техногенной нагрузки.

Представить данные о техногенной нагрузке в аналогичной, площадной форме достаточно непросто. Для численной оценки техногенной нагрузки это сделать необходимо, при том, что не все аспекты техногенного влияния могут быть свободно отражены, как, например, схемы подземных коммуникаций. При этом, без учета влияния подземных коммуникаций на развитие подтопления территории города, невозможно достоверно определить комплексный показатель устойчивости.

При обследовании центральной части города в июле 1997 г. в область подтопления попала почти половина территории (47%) [3], а по всем городу эта цифра составляет около 30%. С учетом того, что Иркутск – это город,

расположенный в пределах влияния БРЗ, обуславливающего высокую степень сейсмической опасности, то оценка развития подтопления является острой задачей для нашего города.

Причины развития подтопления различны: развитие процессов подпора подземных вод в районе Иркутского водохранилища, переаглубленные фундаменты и изменение структуры движения потока подземных вод, но наиболее значимая, по мнению многих исследователей – утечки из подземных коммуникации. Усилению роли утечек в развитии подтопления способствует высокая степень тектонической активности территории города и изношенность городских сетей коммуникации.

По данным МУП «Водоканал» для Иркутска около 6% воды подаваемой в водопровод приходится на утечки, что составляет практически 7 млн м<sup>3</sup>/год, при относительно равномерном удельном распределении аварий на единицу длины напорных коммуникации.

В связи со столь значительными объемами утечек логичным будет вывод: области наиболее интенсивного техногенного питания грунтовых вод будут соответствовать участкам, где плотность заложения коммуникаций наиболее высока.

Используя электронный план сетей напорных водонесущих коммуникаций (водопровода и тепловых сетей), была построена цифровая схема плотности подземных коммуникаций. Расчет плотности коммуникаций производился промером длин труб в ячейках сетки 25×25 м для всей территории города с учетом диаметра труб.

Влияние асфальтового покрытия на условия водообмена первого от поверхности земли водоносного горизонта проявляется в нарушении режима эвапотранспирации подземных вод и нарушении режима естественного инфильтрационного питания. На сегодняшний день построена схема плотности улично-дорожной сети с учетом категории автомобильных дорог и заасфальтированных площадей (масштаб 1:50 000, Аузина Л.И., Щербакова Ю.А. и др. Иркутск, 2007 г.).

Техногенная нагрузка обусловленная застройкой отражена генеральным планом застройки города от 2009 г. (ОАО «ИРКУТСКГИПРОДОРНИИ», м-б 1:10000, 2009 г.) и картой плотности застройки центральной части города, основанной на генеральном плане застройки от 2003 г. Данная карта построена с учетом этажности и материала зданий, с целью косвенно оценить глубину заложения фундаментов.

Как суммарный результат взаимодействия природных условий и техногенных нагрузок на территорию города в атласе приведены карты вероятности развития отдельных природных геодинамических и инженерно-геологических процессов, который отражает сегодняшнюю ситуацию, но не предназначен для прогноза развития опасных процессов.

Для этих целей разрабатывается КПП, учитывающий комплекс факторов, включенных в электронный атлас.

Результаты исследований впоследствии могут быть использованы при инженерно-геологических изысканиях и быть востребованы различными ведомствами и службами, обеспечивающими жизнедеятельность города, для:

- контроля и оперативного управления состоянием геологической среды;
- оценки вероятности возникновения, масштабов и интенсивности нежелательных последствий антропогенного воздействия;
- обоснования управленческих и инженерных решений;
- при разработке и реализации планов по развитию города, основанных на принципах рационального использования подземного пространства и природных ресурсов;
- многоаспектного мониторинга;
- применение в образовательных целях.

#### Литература

1. *Тржцинский Ю.Б.* Техногенные изменения геологической среды (на примере Сибирского региона). – Иркутск: ИЗК СО РАН, 2007. – 115 с.
2. *Рыбченко А.А.*, Инженерно-геодинамическая оценка современного состояния геологической среды г. Иркутска. Диссертация на соискание ученой степени кандидата геолого-минералогических наук. – Иркутск: ИЗК СО РАН, 2009. – 148 с.
3. *Шенькман Б.М., Шенькман И.Б.* Эволюция гидрогеологических условий на территории Большого Иркутска // Проблемы оценки и прогноза устойчивости геологической среды г.Иркутска. – Иркутск: Изд-во ИрГТУ, 1997. – С. 39-43.
4. *Аузина Л.И.* Геоэкологическая оценка гидросферы урбанизированных территории. // Город: прошлое, настоящее, будущее: сборник научных трудов «Проблемы развития и управления на пороге III тысячелетия. – Иркутск, 1999. – С. 132 – 138.
5. *Аузина Л.И., Лоншаков Г.С.* Разработка электронного атласа геолого-гидрогеологических и техногенных условий территории г. Иркутск // Известия Сибирского отделения секции наук о Земле РАЕН. Геология, поиски и разведка рудных месторождений. Иркутск: Изд-во ИрГТУ. – С. 64-71.
6. *Аузина Л.И.* Комплексный показатель как основа оценки устойчивости поземной гидросферы // Город: прошлое, настоящее, будущее: сборник научных трудов «Проблемы развития и управления на пороге III тысячелетия. – Иркутск. 2000. – С. 154-158.

## О БУФЕРНЫХ СВОЙСТВАХ ПОДЗЕМНОЙ ГИДРОСФЕРЫ В РАЙОНАХ ПОЛИГОНОВ ПРОМЫШЛЕННЫХ ОТХОДОВ

**Р.Х. Мусин, Н.А. Курлянов, З.Г. Калкаманова**

Казанский федеральный университет, г. Казань. E-mail: Rustam.Musin@kpfu.ru

Неотъемлемой частью современного промышленного производства являются разнообразные отходы. Их ежегодный мировой прирост исчисляется миллиардами тонн, так только в ЕС он составляет около 2 млрд т, а в

России – около 5 млрд т (из них 4,6 млрд т представляют отходы добычи полезных ископаемых). Неутилизируемые отходы, включая ТБО, размещаются на соответствующих полигонах, общая площадь которых в нашей стране к 2012 г. достигла 2,5 тыс. км<sup>2</sup>, при ежегодном отчуждении земель под них – 100 км<sup>2</sup> [1]. Полигоны промышленных отходов с течением времени обычно становятся крупными источниками загрязнения окружающей среды, при этом масштабы распространения загрязнения и его интенсивность определяются как количеством и вещественными характеристиками отходов, так и буферными свойствами геологической среды. Статья посвящена рассмотрению геоэкологических условий подземной гидросферы в районе действующего крупного полигона промышленных отходов ПАО «Нижекамскнефтехим», с 1967 г. являющегося крупнейшей в Европе нефтехимической компанией, специализирующейся на производстве синтетических каучуков, пластиков, этилена и другой продукции (более 100 наименований). Её ежегодный объем превышает 1,5 млн т, в стоимостном выражении – более 100 млрд руб.

Полигон захоронения отходов имеет площадь 0,25 км<sup>2</sup> (0,5\*0,5 км). Он расположен в пределах Волго-Уральской антеклизы Русской платформы, Камско-Вятского артезианского бассейна, в левобережной части р. Камы, в приосевой части залесенного водораздела, в 8 км юго-восточнее г. Нижнекамска. Абсолютные отметки ненарушенной поверхности в районе полигона – 186–199 м, превышение над руслами рек – до 100–120 м. Ближайшие два населенных пункта расположены на удалении 3 км. Количество жителей в них – не более 400. Направление поверхностного стока – юго-западное, уклон земной поверхности – не более 2–3<sup>0</sup>. Верхняя часть геологического разреза (200 м) представлена субгоризонтально залегающими фациально невыдержанными комплексами карбонатно-терригенных пород уржумского и казанского ярусов, в районе полигона перекрывающихся четвертичными суглинками мощностью до 2–4 м и почвенно-растительным слоем. Наиболее верхний гипсометрический уровень – 160–205 м – сложен пестроцветными уржумскими образованиями, характерной особенностью которых является переслаивание песчаников и глин с толщиной отдельных слоев до 3–4 м, реже более. Песчаники обычно полимиктовые, тонко- мелкозернистые, слабоцементированные, а глины характеризуются наличием маломощных прослоев алевролитов и тонкозернистых песчаников, и разноориентированной трещиноватостью. Соотношение пелитовых и псаммитовых пород – примерно 2:1. Близким строением отличается и нижележащая 140–160 м толща казанских отложений, 30–40 м основание которой представлено сероцветными глинами, содержащими 1–3 м прослой карбонатных пород. Комплекс казанских отложений подстилается пачкой так называемых «лингуловых глин», непосредственно под полигоном имеющих мощность 14 м и залегающих в гипсометрическом интервале 2–16 м. Данная глинистая пачка выдержана по простиранию и играет важную гидрогеологическую роль в качестве регионального водоупорного горизонта. Подземные воды (ПВ) охарактеризованного разреза – поровые, трещинные и порово-трещинные. Они формируют отдельные водоносные горизонты, в основном приуроченные к проницаемым

песчаными и карбонатными породами, и объединяемые в уржумский, верхнеказанский и нижнеказанский водоносные комплексы. Разрыв уровней смежных водоносных комплексов может достигать нескольких метров, эти уровни в сглаженной форме повторяют поверхностный рельеф. Направление подземного стока – юго-западное, кроме этого по всему разрезу проявлена нисходящая фильтрация, в связи с чем, отдельные водоносные горизонты и комплексы связаны перетеканием. Выдержанные водоупорные горизонты до уровня «лингуловых глин» отсутствуют. Питание ПВ осуществляется за счет, главным образом, инфильтрации атмосферных осадков и снеготалых вод. Норма осадков – 554,6 мм/год. Состав ПВ в надлингуловой части разреза в естественных условиях преимущественно гидрокарбонатный магниевый-кальциевый (наименование состава воды здесь и далее согласно [4], по которому компоненты перечисляются в порядке увеличения их процент-молярных концентраций) с минерализацией 0,2–0,8 г/дм<sup>3</sup>, общей жесткостью – до 7–8 ммоль/дм<sup>3</sup>. Минерализация и жесткость увеличиваются с глубиной, при этом качество основного объема ПВ соответствует питьевым стандартам. Ниже лингулового водоупора в шешминских отложениях уфимского яруса возможно развитие соленых вод. Данные особенности состава ПВ определяются действием природных факторов, важнейшее значение из которых имеет взаимодействие первичных атмосферных осадков с почвами и породами разреза. Глубина залегания первого от поверхности водоносного горизонта в межленточный период в естественных условиях в районе полигона составляет 3–8 м, при этом свободные гравитационные воды локализованы как в песчаниках, так и глинах уржумского яруса, характеризующихся средними значениями фильтрационной способности, соответственно 1,23 и 0,05 м/сут. Горизонт – безнапорный, в отдельных участках возможно наличие избыточного напора 0,5–1 м [3]. Далее этот водоносный горизонт для удобства будет именоваться грунтовым.

Полигон захоронения промышленных отходов ПАО «Нижнекамскнефтехим» на рассмотренном природном фоне начал функционировать в 1982 г. Он состоит из 48 отдельных карт, имеющих проектные размеры – 50\*70 м и глубины – 3–5 м. Днища и борта карт были выполнены утрамбованной глиной, борта крайних восточных карт – забетонированы. На полигоне происходит захоронение около 250 видов отходов III–V классов опасности в твердой (преобладающая форма), пастообразной и жидкой формах. Это преимущественно отходы катализаторов, полимерных материалов, донные осадки, шламы очистки трубопроводов и емкостей, нефтешламы и др. К 2014 г. ресурсы полигона с проектной вместимостью 816 тыс. т выработаны на 80 %. В его пределах подвергнуто захоронению 504080,7 м<sup>3</sup> разноагрегатных отходов, из них (в м<sup>3</sup>): твердых – 444717,9; пастообразных – 51467,8; жидких – 7895. В ближайшее время планируется проведение реконструкции полигона. Она предполагает заключение отходов в водонепроницаемый резервуар. Создание таких резервуаров (емкостей) планируется за счет выемки отходов из большей части уже полностью заполненных карт, установления в их основании противофильтрационного экрана (ПФЭ), обратной засыпки карт их первич-

ным содержанием и, наконец, перекрытия карт ПФЭ и почвенным грунтом с высевом травянистой растительности. В качестве ПФЭ планируется использовать геосинтетические материалы с крайне низкими фильтрационными свойствами –  $(2-5) \cdot 10^{-11}$  м/с. В качестве рабочих планируется оставить 8 карт, в них будет присутствовать только нижний ПФЭ.

На полигоне сооружены нагорная канава с трубчатым дренажем в основании по внешнему периметру полигона для перехвата поверхностных вод и части грунтового подземного стока; противofильтрационная завеса в виде грунтовой глинистой стены глубиной до 6 м при ширине до 5 м вдоль северной и южной границ объекта; работает насосная станция, перекачивающая дренажные воды и воду части незаполненных карт на очистные сооружения, расположенные за пределами полигона. Вся территория ограждена бетонным забором высотой 2 м. Эксплуатация полигона сопровождается постоянным мониторингом качественного состояния атмосферного воздуха и грунтовых вод; эпизодическим контролем состояния почв в ближайшем его обрамлении, а также качества поверхностных и подземных вод на некотором удалении от площадки захоронения отходов (у ближайших населенных пунктов). Мониторинг грунтовых вод ведется по сети двух поясов наблюдательных скважин. Первый пояс, включающий 12 скважин, непосредственно примыкает к границе полигона, а второй – насчитывает 20 скважин и расположен в 150 м от первого пояса.

Данные гидрогеоэкологического мониторинга свидетельствуют, что максимальному негативному воздействию со стороны полигона подвержены грунтовые воды. Уже в первые 10 лет его эксплуатации непосредственно под картами произошел подъем уровня грунтовых вод на 1–5 м. Их анионный состав трансформировался с гидрокарбонатного на гидрокарбонатно-хлоридный, минерализация увеличилась с 0,2–0,4 до 4–5 г/дм<sup>3</sup>, а общая жесткость – с 4–8 до 40–70 ммоль/дм<sup>3</sup>. В настоящее время минерализация грунтовых вод в пределах полигона и в его ближайшем обрамлении (наблюдательные скважины первого пояса) может достигать 7–12 г/дм<sup>3</sup>; жесткость 70–135 ммоль/дм<sup>3</sup>; концентрации наиболее характерных загрязнителей (мг/дм<sup>3</sup>): нефтепродукты – до 500–982; фенолы – до 13,9; железо общее – до 153 (преобладающий гидрогеохимический тип воды – хлоридно-гидрокарбонатный натриево-кальциевый). Правда, уже на небольшом расстоянии от полигона, в наблюдательных скважинах второго пояса возможно снижение содержаний многих компонентов-загрязнителей на 1–2 порядка. Всеми предшествующими исследованиями инженерно-геологического и экологического плана данные изменения связывались с утечками жидких отходов. Обобщение гидрогеологической информации, проведение гидрогеодинамических и балансовых расчетов [3] позволяют утверждать следующее.

– Подъем уровня грунтовых вод связан с тем, что полигон с самого начала своего функционирования превратился в источник интенсивного питания ПВ. При этом основной объем этого питания приходится не на жидкие отходы, а атмосферные осадки, в разной степени трансформированные. В пределах полигона нарушен поверхностный сток и подавляющая часть ат-

мосферных осадков (за вычетом их испарения) здесь просто аккумулируется. В настоящее время интенсивность общей инфильтрации в картовом поле полигона в 2,8 раз превышает её естественный уровень.

– Загрязнение ПВ связано с инфильтрацией и нисходящей фильтрацией первичных атмосферных осадков, преобразованных процессами взаимодействия в системе “вода-отходы”, и, в меньшей степени, жидких отходов.

– Величина расхода через днища карт интенсивно загрязненного фильтрата составляет 129,98 м<sup>3</sup>/сут, из них на жидкие отходы приходится 8,63 м<sup>3</sup>/сут, все остальное – трансформированные атмосферные осадки. В грунтовом стоке принимает участие 121,67 м<sup>3</sup>/сут фильтрата (остающийся объем фильтратов – 8,31 м<sup>3</sup>/сут – формирует питание нижележащего верхнеказанского водоносного комплекса). Общая величина грунтового стока, выходящего из-под полигона, составляет 172,7 м<sup>3</sup>/сут, из них 64,31 м<sup>3</sup>/сут перехватывается подземным дренажем. Величина не перехватываемого загрязненного подземного стока – 116,7 м<sup>3</sup>/сут (из них 108,39 м<sup>3</sup>/сут – сток грунтовых вод; 8,63 м<sup>3</sup>/сут – глубокий подземный сток).

– Отходы полигона могут быть поставщиками в подземные воды сульфатов, хлоридов, железа, бария (?), а также нефтепродуктов, фенолов, формальдегида, бензола, толуола, ксилола, этилбензола (при этом высокие – более чем в 10 раз – превышения ПДК характерны только для железа и тесно скоррелированных друг с другом органических веществ). Поведение концентраций основной части неорганических микрокомпонентов (Al, B, Ba, Sr, Be, As, F, Br, Fe, Cd, Mn, Cu, Mo, Ni, Hg, Pb, Se, Zn, Cr, Co) находится в обратной зависимости от расстояния до картового поля, при этом превышения ПДК возможны в основном в скважинах первого пояса, уровень превышения ПДК редко когда поднимается до 3-5. Подобный характер распределения наиболее адекватно описывается моделью интенсивного выщелачивания как микрокомпонентов, так и основных катионов из минерального матрикса агрессивными углекислотными водами с концентрациями гидрокарбонатов свыше 800–1000 мг/дм<sup>3</sup> (содержания HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> могут достигать 4-8 г/дм<sup>3</sup>, тогда как в естественных условиях они не превышали 400 мг/дм<sup>3</sup>). Грунтовые воды с такой «гидрокарбонатностью» обычно развиты внутри картового поля и его ближайшего обрамления. Их формирование возможно лишь в условиях повышенной парциальной активности углекислого газа. Увеличение же содержания углекислого газа может быть связано только с деструкцией (окислением) захороняемых органических веществ. Деятельность полигона никак не отражается на содержаниях в грунтовых водах нитратов, нитритов, фосфатов, фторидов, бромидов, также индифферентными являются Co, Cu, Ni, Se, Sr, Zn, Be, к которым можно добавить АСПАВ и пестициды (ДДТ; 2,4-Д; γ-ГХЦГ; HS).

– Снижение минерализации и жесткости грунтовых вод, концентраций в них компонентов-загрязнителей по мере удаления от полигона связано со многими процессами и явлениями. Это сорбция и диффузия, поперечная гидродисперсия, деструкция загрязнителей (особенно нефтепродуктов и фенолов), выпадение в осадок Fe, Mn и др. по мере изменения условий pH и Eh.



Наиболее же мощным фактором уменьшения концентраций загрязнителей является природное разбавление загрязненных вод чистыми (по мере плановой фильтрации в юго-западном направлении на уровень грунтовых вод с каждого квадратного метра земной поверхности приходит как минимум  $1,9 \cdot 10^{-4}$  м<sup>3</sup>/сут (67,6 мм/год) инфильтрационного питания).

– При нисходящей фильтрации и достижении полигонными фильтрами (8,63 м<sup>3</sup>/сут) уровней верхне- и, возможно, нижнеказанского водоносных комплексов они также будут интенсивно разбавляться чистыми подземными водами. По данным геофильтрационного моделирования, проведенного в РМ-5 (Processing Modflow), на проекцию восточного ограничения полигона на указанные комплексы со стороны подземного водораздела, совпадающего с поверхностным, “приходят” плановые потоки с расходами 253 и 131 м<sup>3</sup>/сут, соответственно в верхнеказанском и нижнеказанском комплексах.

– Указанные процессы самоочищения определяют то, что на удалении 3-х км от полигона в районе дер. Клятле не фиксируются изменения состава подземных и поверхностных вод, которые можно было бы связать с функционированием полигона захоронения отходов.

#### Литература

1. Земля против мусора // Раздел «Экология» на сайте Российского Совета по международным делам. 2014. URL: [http://russiancouncil.ru/inner/?id\\_4=3558#top-content](http://russiancouncil.ru/inner/?id_4=3558#top-content) (дата обращения: 12.11.2015).
2. Корпоративный сайт ПАО «Нижнекамскнефтехим». URL: <http://www.nknh.ru> (дата обращения: 20.11.2015).
3. Мусин Р. Х., Мусина Р. З. О влиянии на гидролитосферу полигонов захоронения промышленных отходов // Недропользование XXI век. 2014. № 1 (45). С. 84-87.
4. Отраслевой стандарт. Воды подземные. Классификация по химическому составу и температуре. М.: ВСЕГИНГЕО, 1986. 12 с.

### ПРИМЕНЕНИЕ ГИДРОМЕТРИЧЕСКОГО МЕТОДА ДЛЯ ОЦЕНКИ ЕСТЕСТВЕННЫХ РЕСУРСОВ ПОДЗЕМНЫХ ВОД В ПРЕДЕЛАХ ЦЕНТРАЛЬНОЙ ЧАСТИ ПИТСКОГО ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКОГО МАССИВА

**М.Н. Пинкевич**

Национальный минерально-сырьевой университет «Горный»,  
199106, г. Санкт-Петербург В.О., 21-я линия, 1. E-mail: [marina\\_pinkevich@mail.ru](mailto:marina_pinkevich@mail.ru)

В связи с наращиванием мощностей действующих золотодобывающих фабрик и строительством новых, в пределах Питского гидрогеологического массива (Енисейский кряж), возникает проблема дефицита подземных вод

хозяйственно-питьевого назначения, необходимых для функционирования данных предприятий. И, как следствие, остро встает вопрос поисков новых источников водоснабжения.

Питский гидрогеологический массив сложен метаморфическими породами архея и протерозоя прорванными гранитными интрузиями. С последними связаны трещинно-пластовые напорно-безнапорные воды, распространенные преимущественно до глубины 70-100 м и трещинно-жильные воды разломов и жильных образований, которые распространены на глубину 200-300 м. Питание подземных вод происходит преимущественно за счет атмосферных осадков и имеет резко выраженный сезонный характер. Превышение годового количества осадков над испарением обуславливает значительную обводненность района и высокий поверхностный сток [7].

Для выбора перспективных участков с целью расширения организации хозяйственно-питьевого водоснабжения необходимо провести районирование территории по обеспеченности естественными ресурсами подземных вод. Для этого на исследуемой площади выделяются бассейны стока (области питания) подземных вод (для изучаемого района совпадающие с поверхностными бассейнами стока) и рассчитывается их обеспеченность естественными ресурсами.

Питание подземных вод в пределах частного водосбора реки обычно приравнивается к их естественным ресурсам [2], поэтому оценка естественных ресурсов подземных вод была проведена гидрометрическим методом. Гидрометрический метод основывается на оценке подземного питания реки путем расчленения гидрографа и оценки величины модуля подземного стока 50- и 95%-ной обеспеченности при наличии длительных рядов наблюдений или приведении к ним по объектам-аналогам.

В гидрологическом отношении центральная часть Питского гидрогеологического массива располагается в верховьях левобережной части р. Чиримба и правобережной части р. Тея, бассейнов рек Пит и Вельмо соответственно. Основными водными артериями площади являются водотоки 4-го порядка – реки Еруда и Ломбанча – левые притоки р. Чиримба и р. Енашимо – правый приток р. Тея. В своей крайней западной части площадь охватывает верховья бассейна р. Тырада и верховья ее правых притоков более высоких порядков. Водные артерии площади характеризуются полноводностью и многочисленностью притоков, наиболее протяженными из которых являются ручьи Талая, Титимухта, Бол. Гурахта, Викторовский.

Для определения гидрологических характеристик водотоков использованы материалы гидрометрических изысканий [3], картографические материалы, данные многолетних наблюдений на реках-аналогах.

Расходы воды для водотоков, расположенных в пределах Олимпиадинской площади, были определены методом аналогии по формуле [6]:

$$Q_{p\%} = \frac{KF}{F_a Q_{p\%a}}$$

где  $Q_{p\%a}$  – расход воды различной обеспеченности реки-аналога, м<sup>3</sup>/с; K – поправочный коэффициент, зависящий в данном районе от средней высоты водосбора (чем больше высота, тем больше среднегодовой расход водотока при одинаковой площади бассейна); F – площадь водосбора до замыкающего расчетного створа, км<sup>2</sup>; Fa – площадь водосбора реки аналога, км<sup>2</sup>.

При определении среднегодовых расходов в качестве аналога были приняты р. Тея и р. Большой Пит, по которым имеются длительные ряды наблюдений.

Используя удлинённый ряд среднегодовых расходов воды реки-аналога, построены кривые обеспеченности, с помощью которых по методу Г.А. Алексева [1,5] определены расходы различной обеспеченности аналога с пересчетом на расчетные створы исследуемых водотоков.

В табл. 1 приводятся полученные расчетные значения среднегодовых и минимальных зимних расходов воды различной обеспеченности для водотоков, в пределах водосборных площадей которых расположены разведанные и подлежащие эксплуатации месторождения подземных вод (Досеровское, Енашиминское и Широкинское).

*Таблица 1*

**Расчетные значения среднегодовых и минимальных зимних расходов рек различной обеспеченности**

| Наименование водотока   | Среднегодовые расходы воды обеспеченностью P %, м <sup>3</sup> /с |       | Минимальные зимние расходы воды, Q <sub>зим.мин.</sub> м <sup>3</sup> /с, обеспеченностью |       |
|---|---|-------|---|-------|
|   | 50%   | 95%   | 50%   | 95%   |
| руч. Досеровский (F=14,5 км <sup>2</sup> , K=1,41) (Досеровское месторождение подземных вод)                  | 0,28  | 0,205 | 0,05  | 0,028 |
| руч. Олимпиадинский (F=6,5 км <sup>2</sup> , K=1,39) (Енашиминское месторождение подземных вод)               | 0,14  | 0,098 | 0,022   | 0,012 |
| Приток ручья Широкого без названия (F=7,8 км <sup>2</sup> , K=1,29) (Широкинское месторождение подземных вод) | 0,15  | 0,10  | 0,024   | 0,014 |

Расчётные величины модуля подземного стока зимней межени и рассчитанные по нему естественные ресурсы приведены в табл. 2.

Оценка естественных ресурсов подземных вод по межённому стоку рек, особенно приравнивание их к межённому стоку рек 95%-ной обеспеченности, привело к их существенному занижению из-за неполного дренирования. Более объективной характеристикой подземного стока можно считать среднеголетний межённый расход реки. Но и при такой оценке при не-

полном дренировании подземного стока и существенной величины «скрытой разгрузки» его величина будет в разной степени занижена [2].

Таблица 2

**Расчет естественных ресурсов подземных вод по модулю подземного стока зимней межени**

| Наименование месторождения               | Модуль зимнего стока, Мзим.мин., л/с с 1 км <sup>2</sup> |      | Естественные ресурсы, Q, м <sup>3</sup> /сут, обеспеченностью |      |
|--|--|------|---|------|
|  | 50%  | 95%  | 50%   | 95%  |
| Досеровское месторождение подземных вод  | 3,45   | 1,93 | 4320  | 2419 |
| Енашиминское месторождение подземных вод | 3,06   | 1,67 | 1901  | 1037 |
| Широкинское месторождение подземных вод  | 3,08   | 1,79 | 2074  | 1210 |

Таблица 3

**Расчет естественных ресурсов подземных вод по среднегодовому модулю подземного стока**

| Наименование месторождения               | Среднегодовой модуль подземного стока, М <sub>ср.год.</sub> л/с с 1 км <sup>2</sup> |      | Естественные ресурсы, Q, м <sup>3</sup> /сут, при обеспеченности |      |
|--|---|------|--|------|
|  | 50%   | 95%  | 50%  | 95%  |
| Досеровское месторождение подземных вод  | 6,00  | 4,24 | 7517   | 5314 |
| Енашиминское месторождение подземных вод | 5,83  | 4,08 | 3629   | 2540 |
| Широкинское месторождение подземных вод  | 5,77  | 3,85 | 3888   | 2592 |

В табл. 3 приведены расчётные величины среднегодовых модулей подземного стока и рассчитанные по ним естественные ресурсы.

Для северной части Енисейского кряжа доля подземного стока составляет 30 % от общего речного стока [4]. Модуль подземного стока для данной территории по данным Б.И. Куделина, составляет 4,2 л/с\*км<sup>2</sup>, что сопоставимо с полученными среднегодовыми модулями подземного стока 95%-ной обеспеченности.

В сложных гидрогеологических условиях достаточно надежная оценка обеспеченности ресурсов подземных вод, как и модуля подземного стока, может быть получена по опыту эксплуатации действующих водозаборов. В табл. 4 приведена сравнительная характеристика разведанных и подлежащих эксплуатации месторождений подземных вод в пределах центральной части Питского гидрогеологического массива площади и модули эксплуата-

ции [7]. Естественные ресурсы на стадии разведки рассматриваемых месторождений определялись по расходу подземного потока по долине ручьёв в пределах водозаборных участков.

Таблица 4

**Характеристика разведанных месторождений подземных вод в пределах Олимпиадинской площади**

| Месторождение  | Досеровское | Енашиминское | Широкинское |
|--|-------------|--------------|-------------|
| Естественные ресурсы, м <sup>3</sup> /сут                | 5300        | 3790         | 2560        |
| Запасы подземных вод, м <sup>3</sup> /сут                | 5200        | 2500         | 2560        |
| Допустимое понижение, м                                  | 51,7        | 53           | 42,5        |
| Фактический водоотбор, м <sup>3</sup> /сут               | 5200        | 2500         | 2550        |
| Фактическое понижение, м                                 | 16-23       | 12,9-16,9    | 8-35        |
| Площадь месторождения, км <sup>2</sup>                   | 14,5        | 7,2          | 7,8         |
| Модуль эксплуатационного водоотбора, л/с*км <sup>2</sup> | 4,2         | 4,1          | 3,8         |

Сравнение модуля подземного стока 95%-ой обеспеченности с величиной модуля эксплуатации (Табл. 5) показало, что коэффициент их соотношения равен 1. Из этого следует, что за критерий районирования для оценки естественных ресурсов в пределах центральной части Питского гидрогеологического массива можно принять среднегодовой модуль подземного стока 95%-ой обеспеченности.

Таблица 5

**Соотношение модулей подземного стока различной обеспеченности**

| Наименование месторождения   | $M_{\text{зим.мин}} 50\% / M_{\text{полз}}$ | $M_{\text{зим.мин}} 95\% / M_{\text{полз}}$ | $M_{\text{ср.год}} 50\% / M_{\text{полз}}$ | $M_{\text{ср.год}} 95\% / M_{\text{полз}}$ |
|--|---|---|--|--|
| руч. Досеровский (Досеровское месторождение подземных вод)                   | 0,83  | 0,47  | 1,46                                       | 1,02                                       |
| руч. Олимпиадинский (Енашиминское месторождение подземных вод)               | 0,76  | 0,41  | 1,49                                       | 1,02                                       |
| Приток ручья Широкого без названия (Широкинское месторождение подземных вод) | 0,81  | 0,47  | 1,46                                       | 1,01                                       |

Кроме того, отметим, что естественные ресурсы, рассчитанные по расходу подземного потока, несколько превышают значения таковых при расчете гидрометрическим методом, что объясняется, прежде всего, неравномерной трещиноватостью горных пород. По результатам поисково-разведочных работ, проводимых в пределах рассматриваемой площади, установлено, что в долине ручьёв она более развита, чем на склонах водоразделов. Гидрометрический метод оценки естественных ресурсов позволяет дать осреднённую оценку естественных ресурсов в пределах площади водосбора.

По результатам исследований можно сделать следующие основные выводы:

1. Для оценки естественных ресурсов подземных вод на площади развития трещиноватых пород наиболее точным является их подсчет по модулю эксплуатационного водоотбора при установившемся режиме.

2. Оценка естественных ресурсов подземных вод в пределах Олимпиадинской площади по меженному стоку рек, приравненных к меженному стоку рек 50% и 95%-ной обеспеченности, приводит к их существенному занижению.

3. Среднегодовой модуль подземного стока 95%-ой обеспеченности сопоставим с модулем эксплуатации и может быть принят за критерий при составлении схемы районирования по обеспеченности естественными ресурсами подземных вод.

#### Литература

1. *Алексеев Г. А.* Графоаналитические способы определения и приведения к длительному периоду наблюдений параметров кривых распределения // Тр. ГГИ. 1960. Вып. 73. С. 90-140.
2. *Боревский Б.В., Марков М.Л.* Является ли меженный расход рек мерой питания подземных вод или общего подземного стока? // Разведка и охрана недр. 2014. №5. С 10-16.
3. *Егорников В.И.* Технический отчет по комплексным инженерным изысканиям. Книга 2. Инженерно-гидрометрические изыскания. Красноярск. ОАО «КрасноярскГИСИЗ». 2006. 33 с
4. *Куделин Б.И.* Подземный сток на территории СССР. Из-во МГУ, г. Москва, 1966. 330 с.
5. Методические рекомендации по определению расчетных гидрологических характеристик при недостаточности данных наблюдений. СПб: Рота-принт ГНЦ ААНИИ, 2007. 66 с.
6. Определение основных расчетных гидрологических характеристик. СП 33101-2003. – М.: Госстрой России, 2004. 72 с.
7. *Пинкевич Е.В.* Отчет геологоразведочной партии ЗАО «Золотодобывающая компания «ПОЛЮС» с подсчетом запасов по участкам «Досеровский» и «Малая Тырыда» по состоянию на 01.12.2006 г.). Красноярск, 2006. 166 с.

## 6. ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКИЕ И ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ В КРИОЛИТОЗОНЕ

---

---

### СТРОЕНИЕ И ЗАКОНОМЕРНОСТИ РАСПРОСТРАНЕНИЯ МНОГОЛЕТНЕМЕРЗЛЫХ ПОРОД В СЕВЕРНОЙ ГЕОКРИОЛОГИЧЕСКОЙ ЗОНЕ (НА ПРИМЕРЕ г. САЛЕХАРД)

**И.В. Абатурова, Л.А. Стороженко, И.Г. Петрова, И.А. Савинцев**

ФГБОУ ВПО «Уральский государственный горный университет» г. Екатеринбург.  
E-mail: [gingeo@mail.ru](mailto:gingeo@mail.ru)

В историческом развитии многолетнемерзлых пород (ММП) севера Западной Сибири выделяют 4 этапа, которые в целом характеризуются как промерзание – промерзание – протаивание – промерзание. Отложения севера Западной Сибири промерзли спустя длительное время после их накопления, и приуроченные к ним ММП носят эпигенетический характер.

Однако необходимо отметить, что влияние современных специфических особенностей поверхностных условий чаще всего не соответствует состоянию мерзлых пород и общей тенденции их развития.

Одним из основных критериев, характеризующих ММП и имеющих важное значение при их инженерно-геологической оценке, является криогенное строение, которое обусловлено типом промерзания пород, их литологическим составом, а также степенью увлажненности до начала промерзания.

По литологическому составу в пределах изучаемой территории выделяют песчаные, глинистые, органические и органо-минеральные грунты, которые активно фациально замещают друг друга. При промерзании в грунтах формируются подземные льды, отличающиеся по способу их образования, – это либо текстурообразующие, формирующиеся в результате кристаллизации подземных вод (лед-цемент, сегрегационный лед и частично жильный), либо повторно-жильные, являющиеся продуктами кристаллизации поверхностных вод в пустотах мерзлых пород [1].

Сочетание литологического состава и степени увлажненности пород к началу промерзания в пределах северной криолитозоны привело к формиро-

ванию 8 характерных типов криогенного строения в вертикальном разрезе ММП. В пределах же г. Салехарда установлено 6.

*I тип.* Песчаная водонасыщенная толща характеризуется массивной криогенной текстурой. Этот тип свойствен практически для всех песчаных разрезов различных геоморфологических уровней.

*II тип.* Песчаная водонасыщенная толща, при промерзании которой возник напор грунтовых вод, характеризуется шлировой криогенной текстурой. Ледяные шлиры достигают толщины 5–8 см и расположены горизонтально или наклонно. Лед обычно загрязнен частицами грунта. Шлировая криогенная текстура в песчаной толще встречается редко и характерна преимущественно для органических грунтов.

*III тип.* Мощная литологически однородная глинистая толща имеет по вертикали так называемое нормальное криогенное строение, основные закономерности которого охарактеризованы А. И. Поповым [2].

*IV тип.* Пески подстилаются мощной толщей глинистых грунтов. Глинистые породы имеют нормальное криогенное строение с присущими ему закономерностями изменения криогенной текстуры и льдистости по разрезу. Пески обладают массивной криогенной текстурой. На контакте песка и глинистых грунтов встречаются крупные прослои (0,2–0,3 м) льда. Этот тип криогенного сложения приурочен к участкам надпойменных террас и озерно-аллювиальных равнин.

*V тип.* Разрез представлен чередующимися прослоями песка и глинистых пород. Криогенное строение подчиняется нижеследующим закономерностям. Мерзлая толща имеет толстошлировую, часто слоисто-сетчатую криогенную текстуру. Ледяные шлиры встречаются как в глинистых, так и в песчаных слоях. Такая криогенная текстура вскрыта в верхних частях разрезов многих бугров пучения и бугристых торфяников на площади распространения нерасчлененных средне-верхнечетвертичных прибрежно-морских и озерно-аллювиальных отложений.

*VI тип.* Толща глинистых грунтов соприкасается по вертикальному (или близкому к вертикали) контакту или быстро замещается по простиранию преимущественно песчаными породами, водонасыщенными к моменту промерзания. В таких условиях происходит интенсивное миграционное и инъекционное льдовыделение и пучение. Криогенная текстура глинистых отложений таких разрезов преимущественно сетчатая, массивная или встречаются единичные прожилки льда.

Органические грунты не имеют определенной криогенной текстуры. Своеобразие льдовыделения в них определяется длиной торфяных частиц-волокон, их эластичностью и, как правило, беспорядочной ориентировкой. В органических грунтах встречаются как массивная, так и своеобразные виды шлировых криогенных текстур.

При анализе разрезов изучаемой территории авторами установлено, что наиболее часто встречаются I, IV и V типы криогенного строения, реже II, III и VI типы.



Территория г. Салехарда в геокриологическом плане относится к зоне сплошного развития многолетнемерзлых пород с редкими островами талых зон.

Вариации глубин залегания кровли обусловлены наличием с поверхности разных типов покровов (растительного, снежного, торфяного и др.), которые играли теплоизолирующую роль при протаивании ММП в современный период. Степень влияния покровов на “сохранность” мерзлоты зависит от их мощности и вариантов сочетания.

На исследуемой территории на основе анализа материалов бурения скважин, инженерно-геологической документации керна, термометрических наблюдений, геофизических исследований, по строению толщи многолетнемерзлых пород в вертикальном разрезе можно выделить два типа: однослойного и двухслойного строения, с развитием современных и реликтовых ММП (рис. 1). Здесь же условно выделяется третий тип – это таликовые зоны, включающие сквозные талики под руслом рек Оби, Полуя, а также несквозные подрусловые талики малых рек и термокарстовых озер.

К I типу относятся мерзлые породы, которые начинаются сразу от слоя сезонного протаивания и непрерывно прослеживаются до подошвы (к нему относятся и участки, где произошло незначительное оттаивание пород с поверхности). В нем могут быть выделены два подтипа:

а) подтип характерен для более древних элементов рельефа; мощность непрерывного разреза мерзлых пород достигает 70,0-182,0 м;

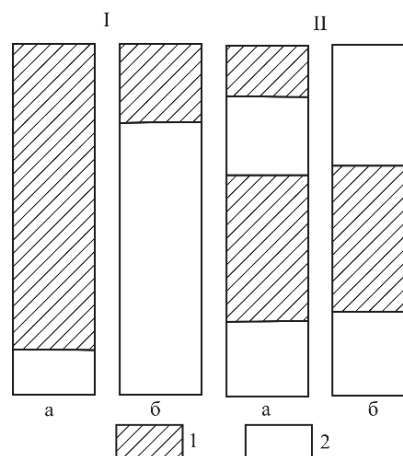
б) подтип характерен для молодых элементов рельефа, где промерзание пород началось сравнительно недавно (пойма и частично первая надпойменная терраса рек, молодые хасыреи и т. д.); мощность непрерывного разреза мерзлых пород достигает 16,0-40,0 м.

II тип характеризуется существованием слоя реликтовых мерзлых толщ, залегающих на глубинах свыше 65,0 м. Он также делится на два подтипа:

а) многолетнемерзлые породы начинаются от слоя сезонного протаивания и прослеживаются до глубины 16,0-40,0 м, затем до глубины 65,0-120,0 м лежат талые породы, которые ниже по разрезу вновь сменяются мерзлыми (реликтовая мерзлая толща);

б) мерзлые породы залегают только на глубинах свыше 65,0 м (реликтовая мерзлая толща).

Развитие таликов обусловлено отепляющим влиянием поверхностных вод, как сквозных, так и несквозных. Сквозные – приурочены к руслам рек. Вскрытая мощность талых пород в русловой части р. Оби составила 181 м.



**Рис. 1. Типы строения многолетнемерзлой толщи [3]:**

I – первый тип: а, б – подтипы;

II – второй тип: а, б – подтипы;

1 – мерзлые породы; 2 – талые породы

Границы талых пород являются вертикальными и в плане практически совпадают с границами водной поверхности рек либо удалены от них на расстояние до 150-250 м и обусловлены границами речных долин и их меандрированием (рис. 2).

Несквозные подрусовые талики свойственны небольшим рекам, а также крупным термокарстовым озерам. Такие талики характеризуются небольшой шириной, ограниченной, как правило, руслом рек и контуром термокарстовых озер. Мощность их достигает 90 м.

Температурный режим ММП в пределах г. Салехарда крайне неравномерный. Установлено, что в целом территория характеризуется мягкими значениями температур на подошве слоя годовых колебаний в спектре отрицательных значений. На участках распространения ММП их значения составляют (-3) до 0°C, на участках распространения талых пород от 0 до 8°C. Около 30% изучаемой площади характеризуется температурами пород от 0 до 2°C. Это участки поймы и залесенные территории водораздельного пространства.

Наиболее пестрый температурный режим характерен для пойменных участков рек. Здесь температуры составляют от (-0,5) до 0°C. На участках с густой кустарниковой растительностью температура пород повышается. Талые породы, лежащие под руслами водотоков, приуроченные к береговым валам и протягивающиеся вдоль протоков, имеют температуру от 0 до 2°C.

Около 40% принадлежит участкам с температурами 0 – (-1)°C. Это преимущественно безлесные тундровые участки, которые распространены как на водоразделах, так и в долинах рек.

Участки с температурами пород (-1) – (-3)°C приурочены к низким заболоченным районам преимущественно II, III надпойменных террас, а также к открытым участкам V морской террасы. Специфика теплообмена горных пород с атмосферой здесь определяется постоянным избыточным увлажнением поверхности и, как следствие, значительными потерями тепла на испарение и повсеместным развитием влаголюбивой (и прежде всего моховой) растительности. Температура пород заболоченных участков изменяется от (-1 до (-3)°C и зависит от степени их увлажненности, микрорельефа поверхности и характера растительного покрова.

Наиболее высокая температура отложений (близко к 0°C) характерна для травяно-сфагновых и травяных топей.

Особого внимания заслуживает температурный режим пород городских территорий. Он характеризуется наиболее пестрым характером распространения температур пород на подошве слоя годовых колебаний. Амплитуда изменения температуры пород в пределах городского пространства составляет 8-10°C, значения температур изменяются от (-2) до 8°C.

Таким образом, установленные закономерности развития ММП в вертикальном разрезе и в плане позволяют определить инженерно-геологические условия строительства и обосновать тип и глубину заложения фундамента.

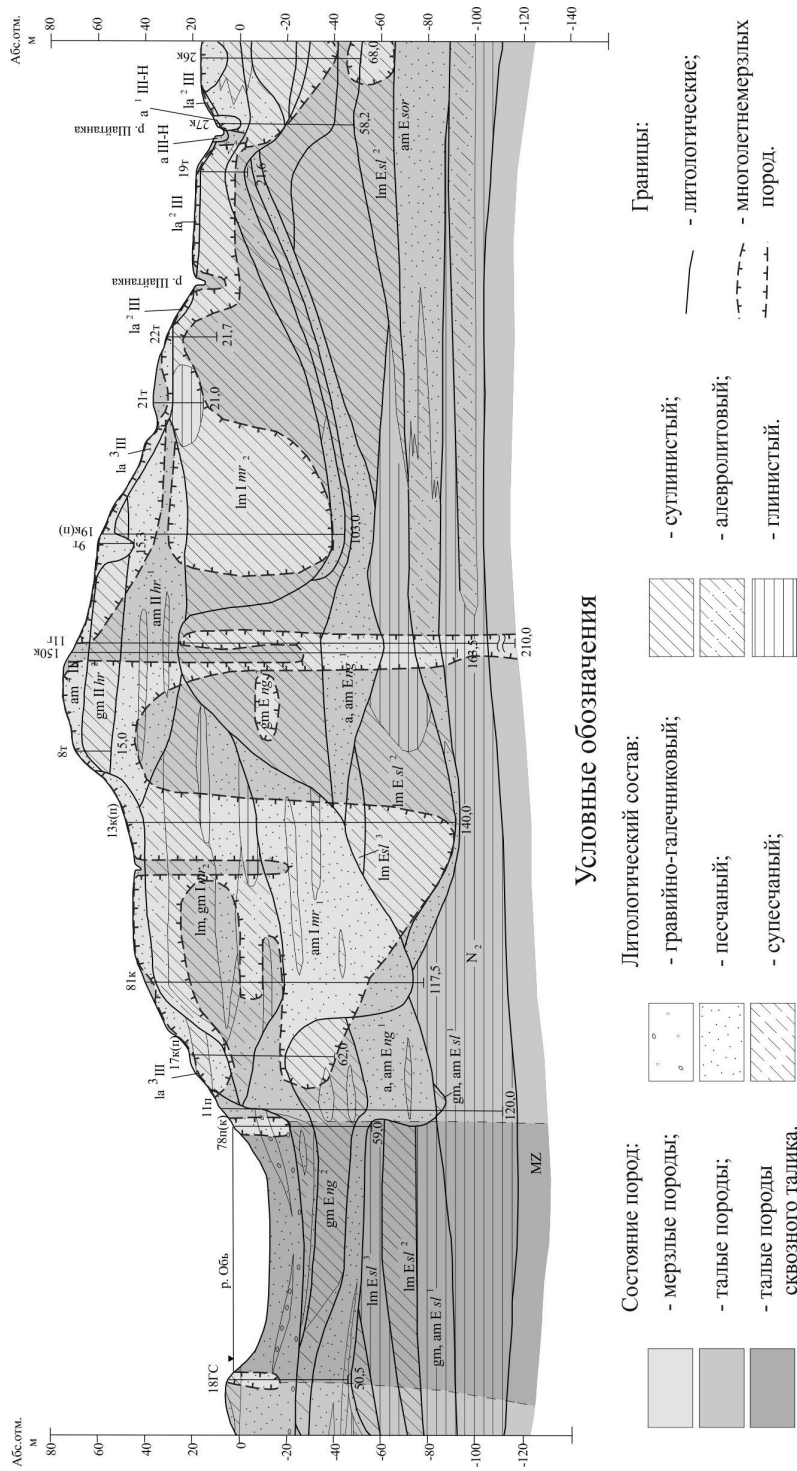


Рис. 2. Схематический геологический разрез Салехардской площади [3]

### Литература

1. *Абатурова И.В., Стороженко Л.А.* и др. Прогноз изменения компонентов инженерно-геологических условий при разработке месторождений полезных ископаемых в криолитозоне // Горный журнал. Руда и металлы. № 9. Москва. 2015. С. 22-27. DOI: 10.17580/gzh.2015.09.04
2. Прогноз изменения природных условий Западной Сибири / под ред. А. И. Попова, В. Т. Трофимова. М.: Изд-во МГУ. 1988. 236с.
3. *Савицьев И. А.* Геокриологические условия Обь-Надымского междуречья // Лито-сфера. Вып. 4. Екатеринбург, 2009. С. 119-123.

## ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ ГРАДОСТРОИТЕЛЬСТВА В ЮЖНОЙ КРИОЛИТОЗОНЕ (НА ПРИМЕРЕ г. ЧИТА)

**Л.А. Васютин**

Забайкальский государственный университет, 672039 г. Чита, ул. Александрово-Заводская, д. 30.  
E-mail: lyudmila-vasyuti@mail.ru

Освоение территорий, расположенных в криолитозоне, имеет более чем столетнюю историю. По результатам геокриологических исследований опубликовано огромное количество теоретических, методических и учебных трудов. Теоретические вопросы теплового, химического и механического взаимодействия инженерных сооружений в криолитозоне изучались М.И. Сумгиным, П.И. Мельниковым, В.А. Кудрявцевым, А.В. Павловым, Н.А. Цытовичем, Э.Д. Ершовым, В.И. Осиповым, Л.Н. Хрустальевым, В.В. Докучаевым, Б.А. Савельевым, И.А. Тютюновым, С.М. Фотиевым, Д.М. Шестерневым, И.И. Железняком, Г.П. Пустовойтом, Л.Т. Роман, О.М. Языниным и др.

Анализ и обобщение опыта освоения урбанизированных территорий в криолитозоне даны в работах Н.И. Быкова, Р.М. Каменского, П.Д. Бондарева, Р.В. Чжана, В.Р. Алексева, Ю.А. Александрова, Г.Ф. Биянова, Ю.М. Велли, Г.В. Порхаева, В.А. Орлова, В.П. Солоненко, М.М. Шаца, В.Н. Макарова, П.И. Сальникова, И.И. Железняк, Г.В. Крылова, Д.Д. Шестернева и др. Все авторы указывают на изменения температурного и влажностного режимов многолетнемерзлых грунтов под влиянием различных видов освоения территории. С переходом мерзлых пород в талое состояние изменяются их свойства, прочность и несущая способность, что приводит к недопустимым деформациям зданий и сооружений. Проектирование, строительство, эксплуатация инженерных сооружений в криолитозоне базируются на представлениях о закономерностях формирования и развития геокриологической обстановки территории освоения.

Изучению формирования геологической и геокриологической среды для обеспечения безопасности функционирования урбанизированных территорий посвящены работы Е.М. Сергеева, В.И. Осипова, В.Т. Трофимова, П.И. Мельникова, В.П. Мельникова, Э.Д. Ершова, В.А. Королева, Г. К. Бондарика, Л.С. Гарагули, Г.А. Голодковской, Ф.В. Котлова, В.Н. Макарова, Л.Н. Хрусталёва и многих других исследователей. Ими внесён основополагающий вклад в разработку методологических и методических основ изучения и анализа изменения инженерно-геокриологических условий урбанизированных территорий. Однако участвовавшие случаи деформации зданий и сооружений, снижение экологической безопасности урбанизированных территорий криолитозоны, происходящие на фоне изменения климата и увеличения техногенного прессинга на окружающую среду, обосновывают необходимость продолжения этих исследований. Особенно это относится к выявлению влияния урбанизации на изменения состава, строения и свойств геокриологической среды, от которых зависит эффективность использования элементов инфраструктуры урбанизированных территорий.

Город Чита сформировался как агломерация из четырёх административных районов: Центрального, Ингодинского, Железнодорожного и Черновского в пространстве радиусом 14-20 км под воздействием сложного комплекса градообразующих факторов, основными из которых являлись наличие природных ресурсов и необходимость их разработки, расширение промышленных предприятий, в основном, добывающего и перерабатывающего характера, развитие машиностроения, транспортного и энергетического узлов. Площадь территории города составляет 534 км<sup>2</sup>, население на 01.01.2015 г – 339,45 тыс. человек. Планировочную структуру города в значительной степени формирует линия Транссибирской железнодорожной магистрали, проходящая с запада на юго-восток по всем четырём административным районам г. Чита. В пределах города выделено пять групп функциональных зон: промышленные, селитебные, сельскохозяйственные, рекреационные, земли, занятые объектами специального назначения, в том числе объектами министерства обороны и режимных территорий министерства внутренних дел. Доминирующей промышленностью является энергетика, представителем которой в г. Чита является компания ОАО «ТГК-14», в неё входят Читинские ТЭЦ-1 и ТЭЦ-2. Эти же производственные объекты на протяжении многих лет являются одними из основных загрязнителей окружающей среды. Антропогенные ландшафты города включают также многочисленные дачные кооперативы, несколько озёр техногенного происхождения на территории шахтного поля Черновского бурогоугольного месторождения и отработанных карьеров по добыче стройматериалов [1, 3].

На территории г. Чита выделены следующие типы природно-технических систем (ПТС): селитебные природно-технические системы; природно-технические системы сельскохозяйственного назначения; промышленные природно-технические системы (включая линейно-транспортные). Изменения геокриологической среды основных типов ПТС функциональных зон г. Чита приведены в табл. 1.

Таблица 1

**Изменения геокриологической среды, основных типов природно-технических систем (ПТС) функциональных зон (ФЗ) г. Чита**

| <b>ФЗ</b>    | <b>Типы ПТС</b>                      | <b>Механизмы воздействия на геокриологическую среду</b>                                     | <b>Результат воздействия на геокриологическую среду</b>   |
|--------------|--------------------------------------|---|---|
| Селитебная   | Кварталы зданий 5 эт. и выше         | Площадные интенсивная и экстенсивная формы воздействия. Механическое уплотнение             | Трансформация геокриологической среды в постгеокриологическую. Многолетняя осадка грунтов   |
|              | Кварталы 2–4 эт. зданий              |   | Трансформация геокриологической среды в постгеокриологическую. Многолетние или сезонные пучения и осадка грунтов  |
|              | Зоны одноэтажных зданий              | Точечные интенсивная и экстенсивная формы воздействия. Механическое уплотнение              | Локальная трансформация геокриологической среды в постгеокриологическую. Сезонные и многолетние пучения и осадка грунтов  |
| Промышленная | Теплоэнергетический комплекс         | Точечные интенсивная и экстенсивная формы воздействия. Механическое уплотнение              | Локальная трансформация геокриологической среды в постгеокриологическую. Многолетняя осадка грунтов   |
|              |                                      | Площадная интенсивная форма воздействия. Тепловое, механическое и геохимическое воздействия | Трансформация геокриологической среды в постгеокриологическую. Изменение фильтрационных свойств грунтов, загрязнение гидросферы и наледообразование                 |
|              | Горнопромышленный комплекс           | Площадная интенсивная форма механического и гидродинамического воздействия                  | Трансформация геокриологической среды в постгеокриологическую. Подтопление, заболачивание   |
|              | Комплекс транспортной инфраструктуры | Линейная экстенсивная форма воздействия. Механическое уплотнение                            | Трансформация геокриологической среды в постгеокриологическую. Формирование локальной транспортной системы загрязнения геологической среды. Осадок, пучение, наледи |

Формирование особенностей и закономерностей изменений строения и свойств грунтов на различных этапах урбанизации определяется величиной и кинетикой экстенсивных (внешних) и интенсивных (внутренних) факторов. Первые факторы влияют на параметры верхних граничных условий воздейст-

вия теплообмена на криолитозону путем изменений значений параметров в структуре радиационно-теплового баланса, вторые – на интенсивность и транспортировку теплового и химического загрязнений при строительстве и эксплуатации ПТС [4]. Геокриологическая среда, с одной стороны, подвержена активному преобразованию в результате глобального изменения климата, с другой – является основанием или вмещающей средой для большинства объектов городского хозяйства: фундаментов зданий, подземных коммуникаций. В зависимости от функциональных особенностей сооружений и направленности естественного хода изменений природных условий, а также техногенных воздействий геокриологическая среда (при строительстве сооружений по Принципу I) и геологическая среда (при строительстве по Принципу II) может иметь два основных варианта трансформации. Первый вариант возможен при понижении температуры воздуха до значений, достаточных для начала промерзания геологической среды в основаниях сооружений. Это способствует возникновению и длительному существованию геокриологической среды. Второй вариант характерен для трансформации геокриологической среды в условиях повышения температуры до положительных значений в основаниях сооружений. Этот вариант наиболее развит в пределах южной криолитозоны. Его особенность и опасность для сооружений заключается в том, что после деградации вечной мерзлоты формируется постгеокриологическая среда [5, 6].

Для разработки административных управленческих решений выполнена оценка инженерно-геологических условий территории г. Чита на основе учета комплекса факторов, затрудняющих производство массовой застройки при развитии градостроительства. В качестве основных элементов, формирующих геокриологическую среду, выбраны рельеф, геологическое строение, подземные воды, многолетнемерзлые породы, геологические, инженерно-геологические и криогенные процессы и явления. Выполненное инженерно-геологическое районирование территории г. Чита показывает, что 20% территории пригодно для любого вида строительства без ограничений; 33% – пригодно с ограничениями, обусловленными развитием островной криолитозоны, а также наличием склонов крутизной более 8-12 градусов; 23% территории города при строительстве требуются максимальные затраты на инженерную подготовку; 24% – территории рекреационных зон. Инженерно-геологическое районирование городского округа «Город Чита», учитывающее региональные особенности трансформации геокриологической среды позволило предложить методическую схему организации мониторинговых инженерно-геокриологических исследований и обосновать мероприятия для обеспечения технической и экологической безопасности процессов урбанизации [2].

## Литература

1. *Васютнич Л.А.* Инженерно-экологические особенности функционирования природно-технических систем на урбанизированных территориях южной криолитозоны (на примере г. Чита) // Безопасность жизнедеятельности предприятий в промышленно развитых регионах: Материалы X Междунар. науч.-практ. конф. (Кемерово, 28–29 ноября 2013). Кемерово: КузГТУ, 2013. С. 302–305.
2. *Васютнич Л.А.* Особенности организации инженерно-геокриологического мониторинга на урбанизированных территориях (на примере г. Чита) // Кулагинские чтения: техника и технология производственных процессов: XIV Межд. науч.-практ. конф.: сб.ст. Чита: ЗабГУ, 2014. Ч. 1. С. 329–334.
3. *Васютнич Л.А.* Особенности трансформации геологической среды южной криолитозоны (на примере г. Чита) // Сергеевские чтения. Вып. 16: Мат. годичной сессии Научного совета РАН по проблемам геоэкологии, инженерной геологии и гидрогеологии (Москва, 21 марта 2014). М.: РУДН, 2014. С. 377–380.
4. *Шестернев Д.М., Васютнич Л.А.* Тепловое загрязнение геологической среды криолитозоны урбанизированных территорий Забайкалья (на примере г. Чита) // Вестн. ЗабГУ. Чита, 2012. № 1. С. 43–51.
5. *Шестернев Д.М., Васютнич Л.А.* Трансформация геолого-геокриологической среды в процессе урбанизации г. Чита // Вест. ЗабГУ. Чита, 2014. № 3. С. 57–67.
6. *Shesternev D.M., Vasyutich L.A.* Influence of urbanization on engineering properties of soils in the geocryological environment under climate change and tech technical loading // Journal of Engineering of Heilongjiang University Vol. 5 No. 3, 2014. P. 78–90.

## ДЕГРАДАЦИЯ МЕРЗЛЫХ ПОРОД И ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ ОСВОЕНИЯ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ЗАБАЙКАЛЬЯ

**А.Г. Верхотуров**

Забайкальский государственный университет, 672039 Чита, ул. Александрово-Заводская,  
д. 30, кафедра гидрогеологии и инженерной геологии.  
E-mail: weral0606@yandex.ru

Происходящее в последние два десятилетия глобальное потепление климата существенным образом изменяет мерзлотно-гидрогеологические условия горноскладчатых областей юга криолитозоны, где многолетнемерзлые породы имеют прерывистое и островное распространение. Это влияет на условия водоснабжения, развитие опасных экзогенных процессов, ритмичность работы промышленных предприятий. Особенно это актуально для районов центрального и юго-восточного Забайкалья, где на месторождениях мощности многолетнемерзлых пород (ММП) не превышают 50–100 м, а температуры  $-0,5$  –  $-2,5^{\circ}\text{C}$  (табл. 1). В результате техногенеза и глобального потепления климата (тренд повышения средней годовой температуры, по данным Росгидромета, в среднем составляет  $0,52^{\circ}\text{C}/10$  лет) происходит деградация много-



летнемерзлых пород, резко изменяются качественные характеристики состояния горно-геологической среды.

Таблица 1

**Характеристика многолетнемерзлых пород на некоторых рудных месторождениях центрального и южного Забайкалья [3]**

| Месторождение                     | Геокриологическая область | Кровля ММП | Подшва ММП, м | Температура, °С |
|-----------------------------------|---------------------------|------------|---------------|-----------------|
| Березовское железорудное          | Шилкинско-Аргунская       | 3,9-7,9    | >12           | -0,2 – -0,4     |
| Балейское золоторудное            |                           | 2,8-20,3   | 8,0 – 50 м    | нет сведений    |
| Тасеевское золоторудное           |                           | 1,5-13     | 15-40         | -0,1 – -0,5     |
| Золотореченское полиметаллическое |                           | 1,4-15     | 23-43         | нет сведений    |
| Быстринское полиметаллическое     |                           | 2-9        | 23-50         | -0,5 – -1,0     |
| Култуминское полиметаллическое    |                           | 3,2-8      | 17-65         | нет сведений    |
| Бугдинское полиметаллическое      |                           | 1,8-15     | 80            | нет сведений    |
| Амазар, россыпное                 | Нерча-Олекминская         | 1,5-8,5    | 30-100        | -0,5 – -2,5     |

При деградации ММП, в первую очередь, резко изменяются гидрогеологические условия, исчезают криогенные водоупоры, надмерзлотные воды переходят в грунтовые, быстро понижаются уровни подземных вод на участках, где грунты имеют хорошую проницаемость (трещиноватые зоны, водоносные разломы). Этот процесс идет в настоящее время на большинстве месторождений юго-западной части Забайкальского края. Мощность зоны интенсивной экзогенной трещиноватости здесь в глубину составляет от 60 до 80 м, (Быстринское полиметаллическое и др.). Там, где мерзлые породы полностью деградировали, грунтовые воды получают связь с водами глубокого стока.

В результате деградации многолетнемерзлых пород нарушается устойчивость массивов дисперсных и трещиноватых горных пород, что приводит к образованию зон разуплотнения пород, появлению трещин отрыва, вывалам, обрушениям, сдвигению, оползанию бортов карьеров.

Изменение геокриологических условий при разведке и эксплуатации месторождений полезных ископаемых Забайкалья происходит уже на стадии геологоразведочных работ. Процесс разведки месторождения начинается с проходки горных выработок: канав, шурфов, геологоразведочных скважин, густота размещения которых определяется стадией разведки. Причем чем более поздняя стадия, тем выше сеть сгущения выработок в контуре место-

рождения и тем больше скважин пересекают рудные тела, изменяя, при определенных условиях, тепловое поле в контуре месторождения.

Начало эксплуатации месторождения (доразведка) через некоторый интервал времени приводит к существенному изменению ранее существовавших мерзлотных условий. Если разведочная скважина в криолитозоне пройдена в породах, температура ниже минус  $1^{\circ}\text{C}$ , то со временем в скважинах образуются ледяные пробки, и они перестают влиять на деградацию ММП. При температурах многолетнемерзлых грунтов от  $-0,5^{\circ}\text{C}$  и выше, вдоль стенок скважины практически всегда происходит деградация ММП. В случаях, когда скважины находятся вблизи таликов или вскрываются зоны обводненных разломов, деградация ММП происходит наиболее быстро. Начало деградации многолетнемерзлых пород в юго-восточном и центральном Забайкалье приходится на этап поисковой и оценочной стадий разведки месторождения. Завершение разведочной стадии и опытно-промышленных работ обуславливает появление несливающихся многолетнемерзлых пород, как результат нарушения почвенно-растительного слоя и проходки горных выработок. В период эксплуатации в контуре месторождения многолетнемерзлые породы, как правило, деградируют, остаточные острова ММП могут отмечаться только под заболоченными, слабодренированными участками.

При открытой разработке месторождений полезных ископаемых существует зависимость деградации ММП от площади рудных тел и их обнаженности. Интенсивность деградации зависит от ряда факторов: тектонической нарушенности массива, тепловых аномалий из-за окисления сульфидов, обнаженности рудных тел, зональности геокриологических и климатических условий, объемов геологоразведочных и добычных работ и других. Скорость деградации обычно сопоставима со временем освоения месторождения. В первую очередь, трубообразные сквозные талики образуются на наиболее богатых участках – в карьерах, траншеях, где отсутствуют противofильтрационные экраны из водонепроницаемых глинистых пород. В зонах разуплотнения в бортах карьеров активизируются процессы криогенного выветривания, которые изменяют физические свойства пород и руд, в частности: прочность на одноосное сжатие, плотность, пористость. По данным Ю.Г. Сайтова (1999), это приводит и к изменению качественно-количественных параметров руд [2].

При подземной разработке МПИ влияние горизонтальных горных выработок вначале несущественно. Процессы деградации ММП резко активизируются при проходке вертикальных выработок к поверхности земли, которые обеспечивают естественную вентиляцию выработок и обеспечивают доступ теплого воздуха летом. Формирование талика начинается вдоль восстающих, а затем и вдоль горизонтальных выработок. Высокие фильтрационные характеристики горных пород, особенно вдоль вертикальной выработки обеспечивают поглощение поверхностных вод и дальнейшее растепление массива.

Широкое распространение многолетнемерзлых пород, характеризующихся неустойчивым термодинамическим равновесием, в центральном и

юго-восточном Забайкалье приводит к тому, что любое нарушение существующего природного равновесия, обусловленное хозяйственным освоением территории, вызывает изменение инженерно-геологических условий. Развитие инженерно-геологических процессов, которые сопровождают эти изменения, является следствием изменения температурного режима горных пород. На начальном этапе освоения месторождений это проявляется на локальных участках, а со временем приобретает региональный характер.

Криогипергенез, протекающий в приповерхностных зонах месторождений Забайкалья, является одной из главных причин активного окисления сульфидов в сезонноталом слое [3]. Это, в первую очередь, связано с дезинтеграцией обломочного материала в результате циклического его замораживания и оттаивания. При этом резко возрастают удельные поверхности обломков, по поверхности которых и происходит окисление сульфидных минералов, перенос сульфатов в растворе их осаждение и образование минералов. Процесс идет дискретно, а не по всей поверхности сезонноталого слоя. По мере сезонного оттаивания кровля мерзлых пород опускается вниз, соответственно, понижаются и уровни надмерзлотных вод, являющихся основным агентом, транспортирующим растворенные сульфаты. На участках курумов процесс окисления сульфидов наиболее активно протекает в нижней части разреза – в зоне гольцовых льдов, по поверхности которых движутся талые воды и атмосферные осадки. В верхних частях курумов непосредственный контакт обломков с водой существует только во время выпадения атмосферных осадков и проседания подтаявшего снега в пространство между обломками. Опускание снега в толщу курума, в зависимости от его высотного положения и экспозиции, происходит в период с апреля месяца по начало июня, когда фирнизированный снег достигает поверхности гольцовых льдов или зоны максимальной дезинтеграции. Она представлена крупнообломочными или массивными трещиноватыми породами, поры и трещины которых заполнены щебнем и дресвой.

Появление водопритоков из зоны аэрации, которая ранее находилась в мерзлом состоянии, на сульфидных месторождениях при деградации ММП приводит к изменению минерализации и агрессивности подземных рудничных вод, как правило, к некоторому снижению этих характеристик, если подмерзлотные воды на участке месторождения существовали до его разработки, а зона аэрации представлена вмещающими породами. Консервация месторождения, прекращение откачек, ведет к резкому росту минерализации и агрессивности рудничных вод за счет процессов окисления сульфидов [1]. После прекращения водопонижения в контуре месторождения, где деградировали ММП, происходит повышение уровней подземных вод. Загрязнение рудничных вод и поднятие уровней является причиной загрязнения прилегающих к рудникам территорий, как это наблюдалось на отработанном руднике Вершина Шахтамы в 2013 г.

К инженерно-геологическим проблемам освоения угольных месторождений Забайкалья, которые появляются при деградации ММП и влияют на

безопасность работы разрезов, относятся такие процессы, как оползни, овражная эрозия, суффозия.

### **Выводы.**

1. Мерзлое состояние пород повышает стоимость извлекаемого полезного ископаемого, так как разработка проводится при обязательном применении буровзрывных работ, поэтому деградация ММП является положительным моментом, позволяющим снизить производственные издержки.

2. Деградация ММП нарушает устойчивость горных пород в зонах криогенеза, поэтому прогноз устойчивости бортов карьеров следует делать с учетом изменения теплового состояния горных пород.

2. Одной из причин резкого падения уровней грунтовых вод, наряду с деградацией ММП, является низкая влагообеспеченность региона в последнее десятилетие [1]. Совокупное влияние деградации ММП и засух приводит к существенным изменениям в ландшафтах, проблемам с водоснабжением в этих районах, лесным пожарам.

### **Литература**

1. *Верхотуров А.Г.* Воздействие динамики криолитозоны на горно-геологическую среду Забайкалья // Горный информационный аналитический бюллетень. 2014. № 6. М.: «Горная книга». С. 357–361.
2. *Саитов Ю.Г.* Закономерности изменения геологических параметров золоторудных месторождений Восточного Забайкалья на разных этапах их освоения: автореф. дис. канд. геол.-минерал. наук 04.00.11. Чита. 1999. 24 с.
3. *Шестернев Д.М., Верхотуров А.Г.* Горно-геологическая среда месторождений полезных ископаемых Забайкалья в условиях изменения климата: монография. Чита: ЗабГУ. 2014.

## **МЕТОДИКА ОЦЕНКИ УСТОЙЧИВОСТИ ПОДЗЕМНЫХ РЕЗЕРВУАРОВ В МНОГОЛЕТНЕМЕРЗЛЫХ ПОРОДАХ**

**А.В. Воронова, А.А. Скворцов, Т.Ю. Журавлева**

ООО «Газпром геотехнологии», 123290, г. Москва, ул. 1-я Магистральная, д. 11/2.  
E-mail: a.voronova@gazpromgeotech.ru

При бурении газодобывающих скважин на Бованенковском газоконденсатном месторождении образуется большой объем буровых отходов. Традиционные методы утилизации буровых отходов не применимы для территории Бованенковского НГКМ по экологическим и экономическим причинам. ООО «Газпром геотехнологии» было предложено использовать скважинные

подземные резервуары, сооруженные в массиве многолетнемерзлых пород (ММП) для захоронения буровых отходов [1]. Подземный резервуар (ПР) строится методом водно-теплого оттаивания многолетнемерзлых пород с последующей откачкой получившейся водно-песчаной смеси. В построенный резервуар закачиваются отходы бурения и резервуар консервируется.

Учитывая неоднородность массивов многолетнемерзлых горных пород и разнообразие горно-геологических условий, которые достаточно сложно описать строгими математическими закономерностями, для геомеханики характерно широкое использование методов моделирования, позволяющих выявить и оценить в исследуемых процессах роль различных действующих факторов и получить значения необходимых параметров даже при невозможности строгого решения задач аналитическими методами.

Для численного решения задачи по оценке устойчивости рассматривается породный массив, в котором имеются выработки, расположенные на некотором расстоянии от поверхности земли. Задача решается методом конечных элементов (МКЭ) с применением программного комплекса ABAQUS. Полученные значения сопоставляются с предельно допустимыми величинами, задаваемыми разработанными критериями устойчивости.

Используемая методика оценки устойчивости подземных резервуаров в многолетнемерзлых породах подробно показана на примере одной из кустовых площадок резервуаров Бованенковского НГКМ. На кустовой площадке было построено 4 подземных резервуара.

После окончания строительства была проведена звуколокационная съемка резервуаров, на основе которой были построены осесимметричные формы резервуаров для численного моделирования (рис. 1).

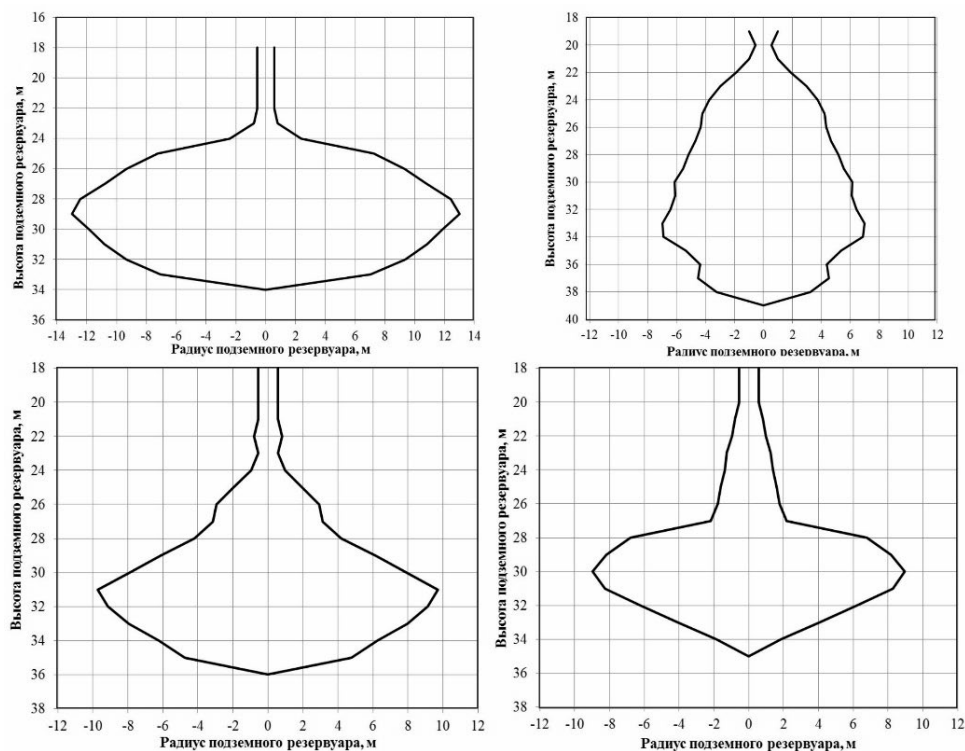
Ввиду технологических сложностей по осуществлению контроля процесса строительства ПР, построенные формы могут существенно отличаться от проектных, что несомненно скажется на устойчивости резервуаров.

Авторами была разработана методика оценки длительной устойчивости подземных резервуаров в многолетнемерзлых породах. Результатом данной оценки является категория устойчивости подземного резервуара, исходя из которой определяются технологические параметры дальнейшей эксплуатации. Для определения категории устойчивости ПР используются следующие расчетные схемы:

– первая категория устойчивости – ПР является устойчивым, если по результатам расчета допускается его консервация сроком на три года без заполнения;

– вторая категория устойчивости – ПР является условно устойчивым, если по результатам расчета допускается его консервация сроком на три года с заполнением ПР водой до устья скважины или газом под избыточным давлением, определяемым по результатам дополнительных расчетов или равным давлению столба воды от устья;

– третья категория устойчивости – ПР является неустойчивым, если по результатам расчета он является неустойчивым при его консервации сроком на три года по любой из выше предложенных технологий консервации.

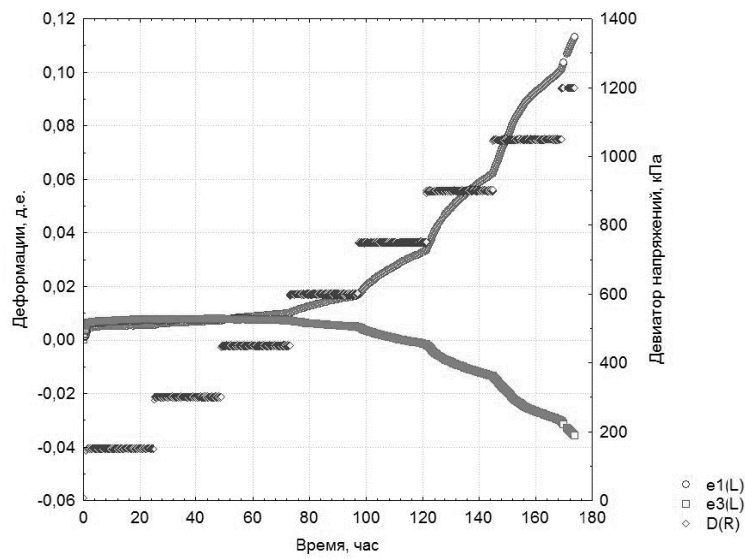


**Рис. 1. Формы подземных резервуаров 54-PP-1, 54-PP-2, 54-PP-3, 54-PP-4 по результатам звуколокации**

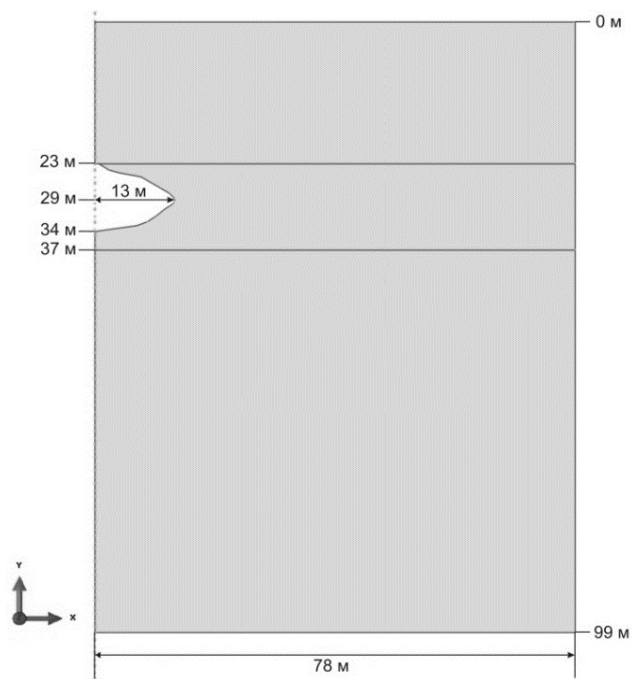
Для упрощения задачи в расчете использовались осесимметричные модели, построенные по результатам усреднения радиусов выработки на каждой глубинной отметке. Принятое допущение позволяет существенно сократить расчетное время без ущерба точности расчетов.

Физико-механические свойства многолетнемерзлых пород и параметры упруго-вязко-пластичной модели Друккера-Прагера, используемые при расчетах, определялись по результатам лабораторных испытаний. Пример реологических испытаний многолетнемерзлого суглинка при ступенчатом нагружении на рис. 2. При испытании боковая нагрузка составляла 200 кПа, а осевая нарастала с шагом 150 кПа и действовала до достижения критерия стабилизации деформаций.

Пример расчетной схемы представлен на рис. 3. Верхняя горизонтальная граница расчетной области соответствует дневной поверхности, нижняя горизонтальная граница области располагаются на расстоянии  $2,5L$  от поверхности выработки, где  $L$  – наибольший её пролет. Вертикальная граница области располагается на расстоянии  $3L$  от оси выработки. Вводится система координат  $X, Y$ . Ось  $y$  направлена перпендикулярно поверхности земли и совпадает с осью скважины ПР.



**Рис. 2. Изменение осевой и поперечной деформаций во времени при проведении трехосных ступенчатых испытаний многолетнемерзлого суглинка**



**Рис. 3. Расчетная схема для оценки устойчивости подземного резервуара ПР-1**

При численном решении задачи в окрестности полости выделяется некоторая весомая область  $D$ , на границах которой задано граничное условие, запрещающее перемещение грани массива параллельной оси  $Y$  в направлении  $X$ , и граничное условие, запрещающее перемещение нижней границы массива, параллельной оси  $X$  – вдоль оси  $Y$ .

При расчете заполненного водой в процессе консервации подземного резервуара учитывалось растепление приконтурного массива. На основе звукокационной съемки производился термодинамический расчет максимального растепления приконтурного массива, которое может возникнуть в процессе эксплуатации подземных резервуаров.

На основании проводимых ранее исследований, литературных данных и с учетом опыта эксплуатации подземных резервуаров в многолетнемерзлых породах были приняты следующие критерии устойчивости:

- не весь контур выработки находится в области растягивающих напряжений;
- не вся поверхность выработки находится в области чрезмерных деформаций;
- величина оседаний поверхности не превышает  $0,025h$  (где  $h$  – глубина заложения выработки, т.е. башмака обсадной колонны);
- размер области  $l$  по нормали к контуру выработки в окрестности кровли, где величина общей деформации превышает 20%, не должен превышать  $n$  ( $n$  – расстояние от кровли подземного резервуара до вышележащих горных пород, т.е. перекрывающих рабочую толщу), в случае, если расстояние до границы рабочей толщи существенно, то  $l$  должно быть не более  $\Omega$ ;
- зона растягивающих напряжений на контуре выработки не должна превышать величин  $n$  и  $\Omega$ .

Под термином чрезмерная деформация подразумевается суммарная составляющая компонентов деформаций по характеру деформирования вмещающих горных пород превышающая 20%, т.е.

$$\varepsilon_o = \varepsilon_{elastic} + \varepsilon_{plastic} + \varepsilon_{creep} > 20\%, \quad (1)$$

где  $\varepsilon_{elastic}$  – упругая деформация, д.е.;  
 $\varepsilon_{plastic}$  – пластическая деформация, д.е.;  
 $\varepsilon_{creep}$  – деформация ползучести, д.е.

Параметр  $\Omega$  является обобщающим для геометрических размеров подземного резервуара, и был получен на основе анализа опыта строительства и эксплуатации подземных резервуаров различного назначения в ММП и характеризует устойчивость его формы и степень подработки вышележащего массива.

$$\Omega = 0,04 \cdot \frac{H}{R} \cdot h, \quad (2)$$

где  $H$  – высота выработки, м;  
 $R$  – максимальный полупролет выработки (радиус), м;



$h$  – глубина заложения кровли выработки, т.е. башмака обсадной колонны, м.

В соответствии с предлагаемыми расчетными схемами первоначально проводился расчет длительной устойчивости осесимметричного резервуара в незаполненном состоянии. Временной интервал расчета составляет три года. В случае если результаты расчета удовлетворяют принятым критериям устойчивости, резервуару присваивается первая категория устойчивости.

В случае если результаты расчета не удовлетворяют критериям устойчивости, производится модификация геомеханической модели. В модель вносятся изменения формы резервуара в результате растепляющего воздействия вмещающей жидкости на многолетнемерзлые породы и учитывается технологическое давление внутри резервуара. Результаты данного расчета также сопоставляются с критериями устойчивости. В случае удовлетворения критериям устойчивости, подземному резервуару присваивается вторая категория устойчивости, в противном случае – третья категория.

Подземный резервуар ПР-1 при численном моделировании по данной методике относится к третьей категории устойчивости – он является неустойчивым при его консервации сроком на три года по любой из предложенных технологий консервации.

Подземный резервуар ПР-2 относится к первой категории устойчивости – по результатам расчета допускается его консервация сроком на три года без заполнения, т.е. при атмосферном давлении.

Подземные резервуары ПР-3 и ПР-4 относятся ко второй категории устойчивости – они являются условно устойчивыми, по результатам расчета допускается их консервация сроком на три года с заполнением ПР водой до устья скважины или газом под избыточным давлением.

В случае изменения режима эксплуатации ПР и резкого изменения его состояния требуется выполнять дополнительные расчеты по оценке его устойчивости с учетом появившихся обстоятельств или данных наблюдений. Исходя из оценки устойчивости ПР, формируются рекомендации по эксплуатации, темпам их заполнения, срокам проверки на отклонения от проектных решений и т.п.

#### Литература

1. Аксютин О.Е., Казарян В.А., Ишков А.Г., Хлопцов В.Г., Теплов М.К., Хрулев А.С., Савич О.И., Сурин С.Д. Строительство и эксплуатация резервуаров в многолетнемерзлых осадочных породах. – М.-Ижевск: Институт компьютерных исследований, 2013. – 432 с.

## МОДЕЛИРОВАНИЕ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ЗАГРЯЗНЕНИЙ НА РЕКАХ КРИОЛИТОЗОНЫ

**Е.И. Дебольская, А.В. Остякова**

Институт водных проблем РАН, 119333 Москва, ул. Губкина, 3  
E-mail: e\_debolskaya@yahoo.com

В криолитозоне протекают все сибирские реки, бассейны которых представляют собой сложную многопараметрическую систему планетарного масштаба, находящуюся под непрерывным влиянием естественных и антропогенных воздействий, таких как низкая способность биоты как к самовосстановлению, так и к самоочищению, свойственная криолитозоне, наличие устойчивых геохимических аномалий, создающих под влиянием криогенных процессов ореолы концентрации от залегающих на глубине рудных тел, разработка месторождений и транспортировка полезных ископаемых, заготовка леса, речной транспорт, попадание загрязнений в воды рек, в том числе путем поступления токсичных веществ из мест захоронения химических и радиоактивных отходов. Изменение химического состава речных вод, транспорта органического вещества и биогенных элементов в результате таяния вечной мерзлоты может нарушить стратификацию вод, теплообмен и сложившееся экологическое равновесие. Кроме того, возрастает техногенная нагрузка на экосистему при повышенном риске техногенных катастроф. Например, трасса нефтепровода Восточная Сибирь – Тихий океан (ВСТО) расположена в бассейне реки Лены и пересекает 115 водотоков.

Исследования по изучению влияния потепления на гидрологический режим реки Лена [4] подтвердили, что с середины прошлого века изменился ряд ключевых параметров. Температура воды в реке в паводковый период повысилась на 2°C по сравнению с показателями за 1950 г. Поскольку во время ледохода подъем уровня воды и повышение ее температуры вызывают термальную и механическую эрозию берегов, изменения параметров паводков изменяют характер и этих процессов. Увеличение темпов термоэрозии с начала 80-х гг. полностью соотносится с ростом температуры водного потока вследствие потепления. На некоторых участках скорость отступления берегов достигает 20-40 м в год, а вымываемые породы уносятся по течению и создают трудности судоходству.

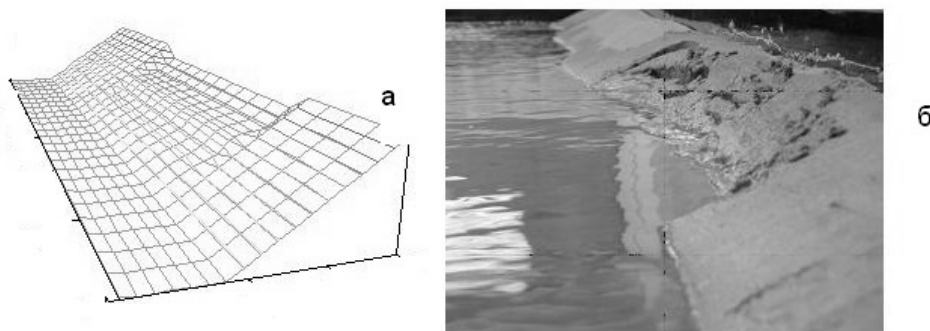
Проведенные лабораторные эксперименты и натурные наблюдения показали, что термоэрозия играет существенную, а подчас и более значительную роль, чем механическая эрозия в процессе деформирования русел, сложенных многолетнемерзлыми породами с включением пластов льда. Проведение лабораторных и натурных экспериментов для исследования процесса распространения загрязнений при условии деформирования русла, вызванного термоэрозией, связано с большими трудностями. Прежде всего эти трудности обусловлены разными временными масштабами исследуемых процес-

сов и сложностью выделения основных факторов, на них влияющих. Математическое моделирование позволяет преодолеть эти сложности. Предлагаемая модель объединяет разработанные ранее трёхмерные математические модели деформаций русла в нижних бьефах ГЭС, расположенных в криолитозоне [2], и термоэрозии береговых склонов рек [1] с моделью распространения примеси.

#### Постановка задачи

В наклонном береговом откосе на разной глубине расположены две ледяные пластины равной толщины. Под воздействием водного потока ледяные пластины начинают таять, образуя полости, в которых возникают малые потоки, неоднородные по сечению и длине полости. Теряющие твердую основу в виде льда, слои грунта, расположенные между и над ледяными пластинами, начинают оседать под действием силы тяжести. Кроме того, неоднородность потоков в полостях вызывает деформации их стенок, размывая их. Постановка модельной задачи осуществлялась в соответствии с параметрами лабораторного эксперимента в лотке [3]. Длина рассчитываемого участка – 1,5 м, правый берег – вертикальный, левый – наклонный, ширина по урезу воды – 0,5 м, ширина по дну – 0,3 м, глубина – 0,1 м. Толщина каждой из двух пластин льда, помещенных в береговой откос, – 2 см. Расход воды постоянный  $Q = 3,9$  л/с. Температура воды увеличивалась от  $7^{\circ}\text{C}$  до  $17^{\circ}\text{C}$  в течение 4 часов.

На рис. 1а представлен рельеф берегового склона через 60 минут после начала численного эксперимента. На рис. 1б представлена фотография того же склона после проведения лабораторного эксперимента при тех же параметрах, что и в численном эксперименте. Оценки изменения наклона берега, полученные в лабораторном [3] и численном эксперименте, совпадают с достаточной степенью точности.



**Рис. 1. Рельеф берегового склона, через 60 минут после начала численного эксперимента – а, фотография склона через 60 минут после начала лабораторного эксперимента – б**

При численном моделировании источник загрязнения с условной концентрацией, равной 100 ед., задавался или в одной из расчетных ячеек основного потока, в этом случае он был постоянно действующим, или в одной из ледяных пластин, тогда он начинал действовать по мере прохождения границы фазового перехода через ячейку, в которой он был задан. При проведении лабораторного эксперимента была осуществлена вторая схема. В ледяные пластины вмораживалось пятно с красителем, представляющим из себя пассивную примесь с плотностью, близкой к плотности воды (рис. 2).



**Рис. 2. Закладка ледяной пластины с пятном примеси в береговой откос при проведении лабораторного эксперимента**

#### **Описание модели**

Математическая модель состоит из следующих блоков: теплого – для моделирования таяния ледяных пластин, гидродинамического – для расчетов течения в основном русле и в протаявших полостях, деформационного – для моделирования оседания грунта и переноса наносов в протаявших полостях и блока для расчетов переноса примеси. Первые три из вышеперечисленных блоков описаны в работах [1, 2]. Объединенная модель позволяет варьировать пористость грунта, как основной параметр степени его замерзания, что было сделано в работе [2]. В настоящем исследовании основное внимание было уделено исследованию процесса распространения примеси в условиях русловых деформаций, вызванных термоэрозией.

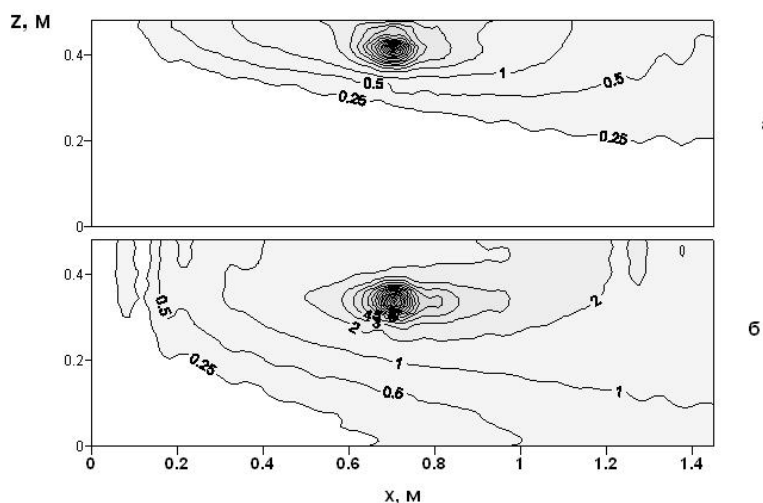
#### **Верификация модели и результаты расчетов**

В результате расчетов получены трехмерные распределения горизонтальных скоростей и концентраций примеси в открытом потоке и в таликах,

двухмерные распределения отметок дна и твердых поверхностей таликов (деформации берегов).

Воздействие термической и механической эрозии на распространение примеси в русле было исследовано с помощью численного моделирования сценариев без наличия ледяных пластин и с таянием двух ледяных пластин, помещенных в береговой откос. Источник примеси помещался в центре потока выше по течению от места размещения пластин. В результате формирования таликов, заполняемых потоком, переносящим примесь, условия равномерности потока нарушались, приводя к нестационарности распространения примеси. При этом увеличение объема исследуемого участка русла на 3% через 30 минут модельного времени за счет появления полостей в береговом откосе привело к увеличению суммарной концентрации примеси на этом участке на 8%.

Динамика распространения загрязнений при оттаивании источников, находящихся в мерзлых берегах, исследовалась с помощью задания места расположения источника в одной из двух ледяных пластин. Отличия в процессе распространения примеси при положении источника в верхней и нижней пластинах демонстрирует рис. 3. При действии постоянного источника в верхней пластине (рис. 3а) через одно и то же время суммарная концентрация примеси на исследуемом участке в 2 раза ниже, чем при действии источника в нижней пластине (рис. 3б). Средняя по объему рассматриваемого участка реки концентрация более чем в 2 раза ниже. Это может свидетельствовать о том, что накопление концентраций происходит более интенсивно в нижней части потока из-за меньших значений скорости течения.



**Рис. 3. Распределение осредненных по глубине концентраций примеси в продольно-поперечной плоскости потока при начальном положении источника в верхней – (а) и нижней – (б) ледяных пластинах**

### **Заключение**

Разработанная математическая модель распространения примеси в потоках с деформируемыми руслами, сложенными многолетнемерзлыми породами, позволяет адекватно описывать происходящие процессы и давать прогностические оценки их динамики в условиях изменения климата.

Повышение температур воды и воздуха, приводящие к изменениям в русловых деформациях за счет таяния мерзлых грунтов, и пластов льда, включенных в грунт, вносят изменения и в динамику переноса примесей водными потоками.

В результате формирования таликов, заполняемых потоком, переносимым примесью, условия равномерности потока нарушаются, приводя к нестационарности распространения примеси. Интенсивность распространения загрязняющих примесей в случае нахождения источника в оттаивающих участках берега в значительной степени зависит от глубины залегания источника в грунте и высоты расположения относительно дна потока. Накопление концентраций происходит более интенсивно в нижней части потока из-за меньших значений скорости течения.

*Работа выполнена при поддержке Российского Фонда Фундаментальных исследований. Проект № 15-05-00342.*

### **Литература**

1. Дебольская Е.И., Дебольский В.К., Грицук И.И., Масликова О.Я., Ионов Д.Н. Моделирование деформаций русел, сложенных мерзлыми породами, при повышении температуры окружающей среды // Лёд и снег. 2013. № 1 (121). С. 104-110.
2. Дебольская Е.И., Масликова О.Я., Исаенков А.Ю. Математическое моделирование деформаций русла в нижних бьефах ГЭС, расположенных в криолитозоне, при катастрофических наводнениях в условиях ледовых затруднений // Природообустройство. № 3. 2010. С. 51-58.
3. Котляков А.В., Грицук И.И., Масликова О.Я., Пономарёв Н.К. Экспериментальное исследование влияния льдистости грунтов, слагающих русло рек, на динамику берегового склона // Лёд и снег. 2011 № 2 (114). С. 92-99.
4. Coastard F., Gautier E., Brunstein D., Hammadi J., Fedorov A., Yang D. Impact of the global warming on the fluvial thermal erosion over the Lena River in Central Siberia // Geophysical Research letters. Vol.34, L14501, doi:10.1029/2007GL030212, 2007

## НОРМАТИВНЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ И СВЯЗЬ ХАРАКТЕРИСТИК ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ПЕСКОВ КРИОЛИТОЗОНЫ ЯКУТИИ

Л.Г. Нерадовский, Д.М. Шестернёв, А.В. Литовко,  
А.Н. Фёдоров, П.Я. Константинов

Институт мерзлотоведения им. П.И. Мельникова СО РАН  
677010, г. Якутск, Республика Саха (Якутия), ул. Мерзлотная, 36  
E-mail: leoner@mpi.ysn.ru

**Введение.** Одной из слабо разработанных проблем современного грунтоведения остаётся проблема петрофизики криолитозоны, охватывающая широкий круг вопросов изучения характеристик физических свойств мёрзлых дисперсных, полускальных и скальных грунтов, используемых в качестве оснований фундаментов зданий и сооружений промышленно-гражданской и сельскохозяйственной инфраструктуры освоенных и осваиваемых холодных и труднодоступных районов России. Эта проблема, хотя и является ответвлением проблем общего грунтоведения, обозначенных в статье В.А. Королёва [3], но в силу своей сложности и планетарного масштаба имеет право на самостоятельное существование.

Основные физико-механические и химические свойства (плотность, влажность, засоленность и др.) мёрзлых грунтов достаточно хорошо изучены в прошлом веке применительно к решению задач строительной индустрии. Однако среди них по-прежнему остаются слабо изученными характеристики физических свойств мёрзлых литотипов грунтов в искусственно создаваемых электромагнитных полях. Речь идёт об эффективном электрическом сопротивлении грунтов и их способности рассеивать и поглощать энергию электромагнитных волн, выражаемую, как известно, в коэффициенте затухания их амплитуды. В представленных материалах научных исследований показаны результаты, полученные по дисперсным грунтам песчаного состава в освоенных и осваиваемых районах сплошной криолитозоны Якутии методом дистанционно-дипольного среднечастотного индуктивного зондирования (далее, метод индукции).

**Объект и предмет исследований.** Объект исследований – массивы мёрзлых и немёрзлых дисперсных грунтов песчаного состава. Их выбор объясняется тем, что, хотя они и просты в петрографическом отношении, но неоднозначным образом реагируют на электромагнитное возбуждение в зависимости от соотношения в их минеральном скелете количества порового воздуха, льда и связанной незамёрзшей воды. Предмет исследований – обобщённые (нормативные) по каждому генетическому типу песков статистические показатели характеристик электрических свойств, представленных двумя характеристиками: эффективным электрическим сопротивлением (далее, сопротивление) и коэффициентом затухания амплитуды электромагнитных волн (далее, затухание), представленных сигналами индукции.

**Район и участки исследований.** Полевые исследования характеристик электрических свойств песчаных массивов грунтов выполнялись в рамках проектно-исследовательских работ и проектов фундаментальных исследований СО РАН в освоенных районах Центрально-Якутской равнины. Нормативные показатели сопротивления и затухания по пескам естественного сложения и гидронамыва определялись по фактическому материалу, полученному на шести участках (табл. 1).

Таблица 1

**Список участков петрофизических исследований**

| <b>Краткая характеристика участков до глубины бурения скважин</b>   |
|---|
| 1. Июль 2010 г. Немёрзлые пески острова “Тимошка” р. Лены. Влажность песков 5-20%, температура на глубине 3,2 м около $+(0,3-0,5)^{\circ}\text{C}$ .  |
| 2. Июль 2010 г. Немёрзлые насыщенные водой пески на отмели острова “Тимошка”. Влажность 70-80%, температура ниже 3 м $+(1-7)^{\circ}\text{C}$ .   |
| 3. Июль 2010 г. Немёрзло-мёрзлые пески острова “Эсселях” р. Лены. Сверху до 1-2 м супеси. Влажность 20-50%, температура на 3,2 м от $+0,3$ до $-2,4^{\circ}\text{C}$ .  |
| 4. Сентябрь 2011 г. Ст. “Н-Бестях” ж/д “Беркакит-Томмот-Якутск”. Маловлажные мёрзлые пески Бестяхской террасы р. Лены. Влажность не более (10-15)%, температура на 10 м чаще всего, равна $-(0,1-0,3)^{\circ}\text{C}$ .      |
| 5. Октябрь 2012 г. Трасса автодороги “Виллой”. Мёрзлые пески Мыранновой гряды левой части долины р. Лены. Средняя влажность песков с прослоями супесей и суглинков 20-28%, температура на 10 м $-(0,6-3,7)^{\circ}\text{C}$ . |
| 6. Май 2013 г. Застройка кв. №203 в г. Якутске на промерзающей толще намывных песков стариц р. Лены. Температура на 10 м $+(0,1-1,1)^{\circ}\text{C}$ .   |

**Метод и методика исследований.** Электрические свойства песков изучались в точках скважин методом индукции с применением уникальной отечественной аппаратуры “СЭМЗ”. В ходе зондирований через 2-5 м на частоте 1,125 МГц измерялись вертикальная ( $H_z$ ) и горизонтальная ( $H_r$ ) составляющие магнитного поля. При этом приёмная антенна, начиная с 4-6 м, удалялась от неподвижно установленной в точке скважины излучающей антенны на расстояние до 30-50 м. Генерация поля осуществлялась по схеме поляризации вертикальным магнитным диполем. Подробное описание методики измерений дано в инструкции по электроразведке за 1984 г. и в руководстве В.И. Иголкина и др. [2].

Вычисление сопротивления и построение графиков его изменения по глубине, т.е. в зависимости от разноса АО (расстояния между антеннами), выполнялось по  $H_z/H_r$  с использованием программы А.Е. Каминского. Коэффициент затухания оценивался по показателю степенной функции, которая точнее, чем все иные функции описывала закономерное уменьшение амплитуды сигналов индукции в интервале АО от 4-6 до 30-50 м.

Сопоставление данных зондирований с литолого-криогенным описанием разреза скважин, графиками температуры и свойств песчаных грунтов по-



казало, что максимальные значения АО в большинстве случаев соответствуют глубине зондирования до 10-15 м. Этого достаточно для использования полученных результатов при решении задач проектно-изыскательских и мониторинговых работ.

**Результаты петрофизических исследований.** Статистический анализ результатов зондирований выполнен программой “Stadia” [4]. В анализе принимали участие средние значения сопротивления и затухания (по двум наиболее информативным показателям), характеризующие электрические свойства песчаных массивов до изученной глубины 10-15 м. Анализ выполнялся в двух метриках: арифметической и медианной, а полученный результат усреднялся (табл. 2, 3). Номера участков даны по Табл. 1.

Таблица 2

**Вариативные показатели песков**

| Номер<br>уч-ка | $\rho_{эф}$ , омметры |      |             | $k_{Hz/Hz}$ , м <sup>-1</sup> |        |             | $k_{MOD}$ , м <sup>-1</sup> |        |             |
|----------------|-----------------------|------|-------------|-------------------------------|--------|-------------|-----------------------------|--------|-------------|
|                | MIN                   | MAX  | VAR         | MIN                           | MAX    | VAR         | MIN                         | MAX    | VAR         |
| 1              | 120                   | 193  | 22.8        | -0.962                        | -1.44  | 14          | -3.187                      | -2.571 | 17.7        |
| 2              | 41                    | 123  | 40.6        | -1.418                        | -2.592 | <b>65.1</b> | -5.148                      | -9.410 | <b>26.7</b> |
| 3              | 171                   | 452  | 39          | -0.695                        | -1.479 | 31          | -2.097                      | -2.947 | 11.8        |
| 4              | 254                   | 3615 | <b>91.3</b> | -0.118                        | -0.891 | 31.4        | -2.218                      | -2.956 | 8.3         |
| 5              | 223                   | 810  | 33.3        | -0.962                        | -1.44  | 13.3        | -2.571                      | -3.187 | 6.8         |
| 6              | 345                   | 824  | 19.7        | -0.865                        | -1.514 | 15.1        | -2.751                      | -3.099 | 3.2         |

Примечание: VAR – коэффициент вариации, в %.

Таблица 3

**Нормативные значения песков**

| Номер<br>участка | $\rho_{эф}$ | $k$ , м <sup>-1</sup> |        |
|------------------|-------------|-----------------------|--------|
|                  | омметры     | Hz/Hz                 | MOD    |
| 2                | 89          | -1.867                | -6.532 |
| 1                | 149         | -1.297                | -3.429 |
| 3                | 246         | -1.042                | -2.514 |
| 6                | 541         | -1.181                | -2.883 |
| 5                | 569         | -1.161                | -2.764 |
| 4                | 679         | -0.721                | -2.528 |

Данные табл. 2 говорят о разнообразии вариативности сопротивления ( $\rho_{эф}$ ) и коэффициента затухания ( $k$ ) в криолитозоне Центрально-Якутской равнины. Этот факт наследует в себе и дополняет знание о давно известном свойстве – высокой изменчивости по латерали состава и свойств дисперсных грунтов. С одной стороны, указывая на существование в пределах обширной

Центрально-Якутской равнины благоприятных физических предпосылок применения методов наземной геоэлектрики с целью изучения песков, отличающихся по генезису, минералого-гранулометрического составу и условиям их промышленной эксплуатации. С другой стороны динамичность поведения  $\rho_{эф}$  и  $k$  затрудняет применение методов геоэлектрики при решении задач прогноза на региональном уровне, не обеспечивая достоверность результатов при перенесении физико-геокриологической модели (ФГКМ) интерпретации с изученного участка на неизученный участок.

Во всех случаях сопротивление, в отличие от него зависящего затухания, более чувствительно к изменению генезиса песков и всего того, что от него происходит в последующем геологическом времени в ходе совокупного действия процессов седиментации, тепло-массообмена, криогенного метаморфизма и др. процессов.

Ухудшение чувствительности объясняется ослаблением опосредованного влияния состава и свойств песков на затухание сигналов индукции через промежуточные звенья причинно-следственной связи – базовые характеристики электрофизических свойств: электрическую проводимость и диэлектрическую проницаемость.

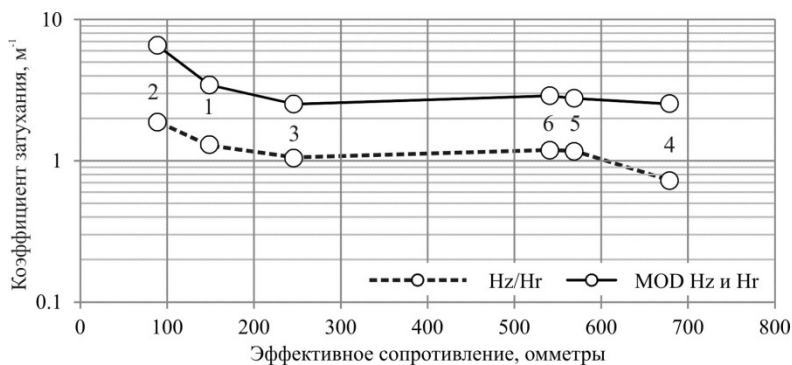
Максимум вариативности  $\rho_{эф}$  (91,3%) отмечается на Бестяхской террасе долины р. Лены в районе г. Якутска (участок 4). Природа высокой вариативности обусловлена неравновесной термодинамикой хорошо отсортированных по грансоставу маловлажных и высокотемпературных мёрзлых песков в слое годовых теплооборотов. Малейшие изменения в ту или иную сторону соотношения в поровом пространстве минерального скелета количества льда, незамёрзшей воды, воздуха приводит к сдвигу текущего теплового состояния мёрзлого песчаного массива.

Относительные максимумы вариаций  $k$  наблюдаются в русле р. Лены на отмели острова “Тимошка” (участок №2), разрез которого сложен песками, насыщенными водой. Причём, по отношению  $H_z/H_r$  вариации выше (65,1%), нежели по модулю  $H_z$  и  $H_r$  (26,7%). Казалось бы, какие могут быть вариации затухания в такой простой грунтовой среде? Да ещё при уступающей ему изменчивости сопротивления. Однако факт остаётся фактом и требует ответа на поставленный вопрос. У нас для этого нет точных данных по гидрогеологии острова “Тимошка”. Поэтому ничего не остаётся, как сделать предположение о неравномерном распределении по глубине скорости фильтрации воды через слоистую толщу песков. Результаты её зондирования методом индукции делают это предположение вполне правдоподобным. К сожалению, ограниченный объём публикации результатов исследований не даёт дополнить сказанное иллюстративным материалом. Тем не менее, стоит отметить, что в точках зондирования высокие значения  $k$  амплитудных графиков сигналов индукции, достигающие  $-(6\div 9) \text{ м}^{-1}$ , в отдельных слоях с ориентировочной мощностью 0,5-0,7 м резко снижаются до  $-(2\div 4) \text{ м}^{-1}$ . Тем самым, фиксируя интервалы песков с затруднённой фильтрацией.

В Табл. 3 приведены обобщённые значения  $\rho_{эф}$  и  $k$ . Такая информация всегда важна для практической деятельности геофизиков, работающих в об-

ласти инженерной геологии, мерзлотоведении и грунтоведении. Особую ценность она приобретает при построении обобщённых ФГКМ, в частности, ФГКМ немёрзлых и мёрзлых массивов песчаных грунтов. Без них, как известно, невозможно принимать по данным геофизики правильные интерпретационные решения по строению и составу грунтов и количественные оценки по показателям их свойств.

Содержимое Табл. 3 обнаруживает снижение затухания сигналов индукции в зависимости от средних значений сопротивления толщи мёрзлых и немёрзлых песчаных грунтов (Рис. 1), подтверждая в частном порядке одно из положений электродинамики [1]. Мера относительной изменчивости коэффициентов затухания мало чем отличается по показателю отношения амплитуд ( $H_z/H_r$ ) и модулю ( $MOD H_z$  и  $H_r$ ) составляющих магнитного поля. Поэтому, любую из этих характеристик можно использовать при более детальном изучении их связи не только с  $\rho_{эф}$ , но и температурой.



**Рис. 1. Зависимость затухания от сопротивления песков Центрально-Якутской равнины.**

Цифры на графиках – номера участков по табл. 1

**Заключение.** В ряду участков петрофизических исследований, отсортированных в порядке убывания значений  $\rho_{эф}$ , на первом месте стоит молодой не промёрзший остров “Тимошка”. В его толще песков, насыщенных пресной водой, затухание сигналов индукции максимально. На последнем месте по минимуму затухания находится площадка ст. “Н-Бестях” с маловлажными мёрзлыми песками Бестяхской террасы. Промежуточное положение по затуханию с почти неизменным его значением в диапазоне  $\rho_{эф}=(246-569 \text{ Ом.м.})$  занимают промерзающие пески острова “Эсселях” и намывные пески кв. №203, а также мёрзлые пески Мыранновой гряды по трассе автодороги “Виллой”. В целом, в метрике нормативных значений  $\rho_{эф}$  оказывает закономерное влияние на затухание в толще песков разного генезиса, состава и влажностно-температурного состояния. Этот обобщённый образ связи характеристик

электрических свойств дисперсных грунтов служит научным обоснованием применения методов геоэлектрики в качестве инструментов наземного мониторинга в освоенных и осваиваемых районах криолитозоны Центральной Якутии на строящихся и эксплуатируемых объектах энергетики, транспорта, ЖКХ и др.

Цель мониторинга – ресурсосберегающей, экологически чистый контроль и прогноз тенденций тепловой динамики мёрзлых песчаных оснований фундаментов зданий и сооружений в промежуточной цепочке криогенных событий между двумя крайними состояниями: мёрзлым и талым.

#### Литература

1. Альпин, Л.М. Теория полей, применяемых в разведочной геофизике: Учебник для вузов / Л.М. Альпин, Д.С. Даев., А.Д. Каринский. М.: Недра, 1985. 407 с.
2. Иголкин, В.И. Аппаратура электромагнитных (индуктивных) методов переменного гармонического тока и эффективность её применения в рудной и инженерной геологии / В.И. Иголкин, М.Ф. Хохлов, О.А. Тронин, А.М. Алешечкин. Красноярск: Сибирский Федеральный Университет, 2011. 110 с.
3. Королёв, В.А. Актуальные научные проблемы современного грунтоведения / В.А. Королёв // Грунтоведение. 2013. № 1. С. 4-10.
4. Кулаичев, А.П. Методы и средства комплексного анализа данных. 4-е изд., перераб. и доп. М.: Изд-во ФОРУМ: ИНФРА-М, 2006. 512 с.

### ПРОГНОЗ ИЗМЕНЕНИЙ КРИОЛИТОЗОНЫ ШЕЛЬФА ЗАПАДНОЙ ЧАСТИ МОРЯ ЛАПТЕВЫХ В XXI в.

С.О. Разумов

Институт мерзлотоведения им. П.И. Мельникова СО РАН, 677010, Якутск, ул. Мерзлотная, 36.  
E-mail: razum55@mail.ru

По данным межправительственной группы экспертов (IPCC) и оценочных докладов Росгидромета, в XXI в. глобальная температура повысится на 1–2°C, а среднегодовая температура воздуха на территории криолитозоны России к 2060 г. возрастет на 1.9–3.3°C. Максимальное повышение температуры воздуха ожидается в арктическом регионе. По мере изменения климатических условий вечная мерзлота, скрытая под поверхностью Земли, будет приносить не менее глубокие проблемы, чем таяние арктических льдов. Возможна резкая активизация деструктивных криогенных процессов на обширных площадях распространения ледового комплекса Российской Арктики, Северной Канады и Аляски, а также деградация мерзлоты на шельфе сибирских морей.

Многолетнее оттаивание мерзлоты, вероятно, будет одним из главных последствий изменения климата Арктики и одновременно важным фактором влияния на климат. Данные расчетов некоторых исследователей [6] показывают, что на арктическом шельфе содержание газовых гидратов эквивалентно примерно 3600 млрд. тонн газообразного метана. Эксперты ИРСС оценивают содержание метана в атмосфере Земли около 4 млрд. тонн. То есть, деградация 1% запасов шельфовых газовых гидратов может привести к росту содержания метана в атмосфере на порядок и к значительному усилению парникового эффекта.

Современная среднегодовая температура в верхних горизонтах мерзлоты сибирского шельфа близка к температуре придонного слоя воды и изменяется в пределах  $-0,5 \dots -2^\circ\text{C}$ . Морское засоление верхних горизонтов мерзлых осадков при указанных или более высоких температурах может инициировать их масштабное оттаивание. Важно предсказать какие гидрологические условия могут сложиться на шельфе в результате климатического потепления и, каким образом на эти условия отреагирует подводная мерзлота. В этих целях разработана двухмерная прогностическая физико-математическая модель формирования мерзлотных условий в прибрежно-шельфовой зоне западной части моря Лаптевых в течение XXI в. Постановка задачи моделирования включает следующее.

1) Нестационарные уравнения тепло- и массопереноса в однородной изотропной среде каждого выделяемого  $j$ -того слоя геологического разреза при отсутствии источников тепла и конвективных факторов:

$$\partial T_j / \partial t = \alpha_j (\partial^2 T_j / \partial z^2 + \partial^2 T_j / \partial x^2), \quad (1)$$

$$\partial S_j / \partial t = D_j (\partial^2 S_j / \partial z^2 + \partial^2 S_j / \partial x^2). \quad (2)$$

2) Начальные условия на внутреннем шельфе западной части моря Лаптевых (начало XXI в.):

$$T(x, z) = T_i(x, 0) + q \cdot z / \lambda_j, \quad t = 0, \quad z_i < z \leq z_{i+1}, \quad i = 0, 1, 2, \dots, \quad j = 1, 2, \dots,$$

$$T(x, z) = T(x, 0) + r(x) \cdot z, \quad 0 < x \leq 200 \text{ км},$$

где  $T_i(0, x)$  – среднемноголетняя годовая температура на поверхности и границах слоев в конце XX – начале XXI вв.,  $i, j$  – границы раздела и номера слоев от поверхности.  $T(z, x)$  – температура осадков на глубине  $z$  и на расстоянии от берега  $x$ ,  $q = 0.06 \text{ Вт/м}^2$  – плотность глубинного потока тепла,  $\lambda_j$  – коэффициент теплопроводности осадков  $j$ -того слоя,  $\alpha$  и  $D$  – коэффициенты температуропроводности и диффузии солей,  $\text{м}^2/\text{с}$ .

Начало координат располагается на береговой линии, ось  $Z$  направлена вниз, ось  $X$  – в сторону моря.  $r$  – коэффициент, величина которого зависит от координаты  $x$ . По нашим оценкам, среднемноголетняя годовая температура

поверхности в исследуемом районе побережья за последние 18 тыс. лет изменялась в пределах от  $-20$  до  $-4^\circ\text{C}$  [3] и составляет в среднем  $-13.5^\circ\text{C}$ . В интервале с 1970-х до начала XXI в. она возросла на  $1^\circ\text{C}$ . Применялись реальные [5] и расчетные вертикальные распределения температуры осадков в конце XX – начале XXI вв. на разном расстоянии от берега, на разных глубинах моря.

Начальную соленость поровых вод континентальных осадков (до затопления их морем,  $t = 0$ ,  $x = 0$ ) примем неизменной по глубине  $S(z) = S_z = 0.5\%$  в верхнем 70-метровом слое. Оценки теплофизических свойств осадков соответствуют геологической модели исследуемого района шельфа [3].

3) Краевые условия сформулированы как зависимости температуры и солености придонных вод от пространственно-временных координат в пределах внутреннего шельфа западной части моря Лаптевых. Изменения среднегодовой температуры придонной воды  $T(x, t)$  в течение XXI в. можно представить в виде:

$$T(x, t) = T(x, 0) + b(x) \cdot t, \quad z = 0,$$

где  $x$ , км – расстояние от береговой линии,  $z$ , м – глубина от поверхности дна,  $T(x, 0)$  – среднегодовая температура придонной воды (дна) в начале XXI в., вычисленная по данным [1, 4]. Ее изменения в зависимости от  $x$  при однородном геотермическом потоке в нижнем пограничном слое мерзлоты можно описать уравнением линейной регрессии:

$$\partial T(x, 0) / \partial x = a_n, \quad T(x, 0) = a_n x + T_n(0),$$

$$a_n, T_n(0) = \begin{cases} x < 0.7, & a_1 = 25, & T_1(0) = -12.5 \\ 0.7 \leq x < 20, & a_2 = -0.06, & T_2(0) = -0.25, \\ x \geq 20, & a_3 = -10^{-3}, & T_3(0) = -1.2 \end{cases}$$

$T_n(0)$  – среднегодовая температура придонной воды (дна) на границах выделяемых зон  $n = 1, 2, 3$ . Аналогично для солености воды:  $\partial S(x, t) / \partial x = c'$ ,  $S(x, t) = S(0) + c' \cdot x$  вне зоны смерзания припайного льда с дном,  $S(0)$  – среднегодовая соленость воды на внешней границе зоны смерзания припайного льда с дном (в среднем  $26\%$ ),  $c' = 0.02$ . В зоне смерзания припайного льда с дном соленость воды составляет в среднем  $45\%$ .

$b(x)$  – коэффициент линейного тренда среднегодовой температуры придонной воды на внутреннем шельфе исследуемого района вне зоны смерзания припайного льда с дном в 1980-х – 2000-х гг. Этот коэффициент тренда принят нами в качестве сценария предполагаемых изменений в течение XXI в. Его зависимость от  $x$  сформулирована по данным [4]:

$$b(x) = -1.1 \cdot 10^{-4} x + 0.025.$$

В зоне смерзания (глубина моря 0–2 м) коэффициент тренда среднегодовой температуры дна изменяется от 0.055 °С/год на уресе моря до 0.15 °С/год у внешней границы зоны смерзания.

Глубина нижней границы криолитозоны на удалении  $x$  от береговой линии вычислялась с помощью уравнения баланса тепла на этой границе:

$$h(x, t) = 0.5 \left( h(0) + T(0)^* / \kappa h(0) \right) + \sqrt{0.25 \left( h(0) - T(0)^* / \kappa h(0) \right)^2 - \left( T(0)^* - T(x, t) \right) / \kappa},$$

$$\kappa = L_{\phi} \rho (w - w_H) / \lambda_M t.$$

Глубина нижней границы ММП на побережье:  $x = 0$ ,  $h(0) = -\lambda_M T(0)^* / q$ ,  $T(0)^*$  – среднесуточная годовая температура земной поверхности,  $L_{\phi}$  – удельная теплота фазовых переходов,  $\lambda_M$  – коэффициент теплопроводности мерзлых осадков.

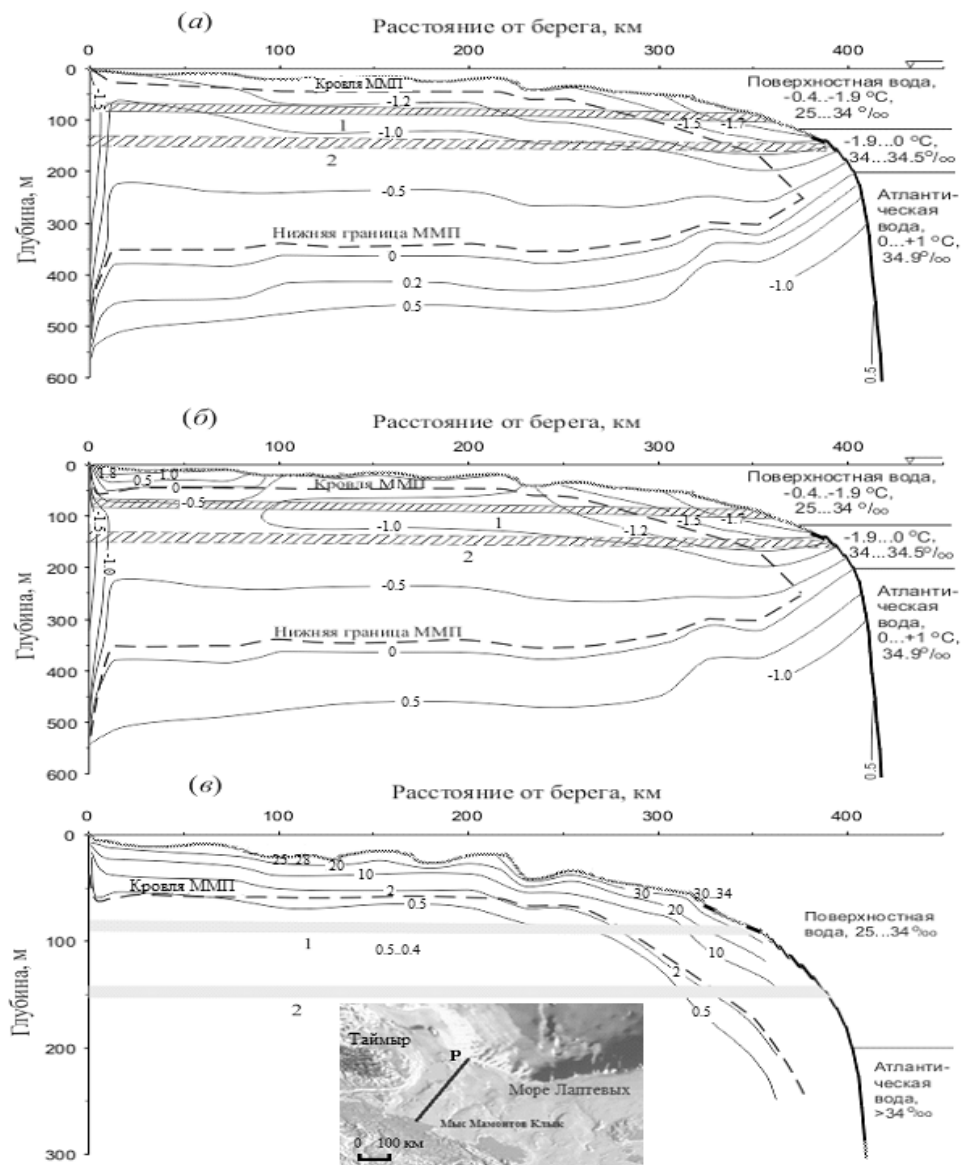
Решения уравнений (1) и (2) в полуограниченном пространстве, удовлетворяющие начальным и краевым условиям по температуре и солености, имеют вид:

$$T(x, z, t) = T(x, t) + (T(x, z) - T(x, t)) \cdot \operatorname{erf} \left( z / \sqrt{4\alpha t} \right),$$

$$S(x, z, t) = S(x, t) + (S(x, z) - S(x, t)) \cdot \operatorname{erf} \left( (z - z') / \sqrt{4Dt} \right),$$

$z'$  – мощность аккумулярованных морских наносов в конкретный момент времени,  $\operatorname{erf}(\dots)$  – интеграл вероятностей. Коэффициент диффузии солей  $D$  равен  $10^{-9} \text{ м}^2/\text{с}$ , что соответствует результатам расчетов по данным бурения в море Лаптевых  $(0.8 \div 1.14) \cdot 10^{-9} \text{ м}^2/\text{с}$  [5] и экспериментальным значениям коэффициента диффузии хлористого натрия  $(0.6 \div 1) \cdot 10^{-9} \text{ м}^2/\text{с}$  [2].

Расчеты проводились способом прогонки, т.е. текущее столетие разбивалось на 10 интервалов по 10 лет. Для каждого интервала вычислялась средняя температура дна и начальные условия по распределению температуры осадков. Результаты прогнозирования в рамках принятой геологической схемы и сценария климатических и гидрологических изменений показывают (рис. 1), что в течение XXI в. катастрофических разрушений многолетнемерзлых пород на шельфе моря Лаптевых не предвидится.



**Рис. 1.** Двухмерная прогностическая модель мерзлотных условий на шельфе западной части моря Лаптевых (профиль Р). Мерзлотные условия (температура осадков и границы твердомерзлых пород), сложившиеся к началу XXI в. (а). Прогнозируемые на 2100 г. температура осадков, °C (б) и соленость поровых вод, ‰ (в). Горизонты с морским засолением, сформированные в результате трансгрессий Полярного бассейна:

1 – в начале позднего плейстоцена (вскрытый бурением); 2 – в конце раннего – начале среднего плейстоцена (предполагаемый). Сплошные линии – изотермы и изогалины. Пунктирная линия – границы твердомерзлых пород



В пределах внутреннего шельфа глубина нижней границы мерзлоты в течение XXI в. изменится не более чем на 2–3 м. В верхних горизонтах она потеплеет на 1–3°C в интервале глубин моря от 3–4 до 25–30 м и на 5–7°C у внешней границы зоны смерзания припайного льда с дном. Прогнозируемые темпы ежегодного оттаивания верхних горизонтов твердомерзлых пород в течение XXI в. в среднем не превышают 20 см: от 2–10 см на глубинах моря более 5 м до 30–40 см на мелководье с глубинами моря менее 5 м (табл. 1).

Таблица 1

**Расчетная глубина залегания многолетнемерзлых пород от поверхности дна и темпы их оттаивания в западной части моря Лаптевых**

| Расстояние от берега, км | Глубина моря, м | Глубина залегания кровли мерзлоты в начале XXI в., м [3] | Глубина залегания кровли мерзлоты в 2100 г., м | Скорость оттаивания, м/год |
|--------------------------|-----------------|--|--|----------------------------|
| 0.7                      | 2               | 0  | 18   | 0.18                       |
| 0.7–1.5                  | 2–3             | 7–8  | 38–39  | 0.3                        |
| 4–5                      | 4.4–5           | 20–22  | 62   | 0.4                        |
| 10–11                    | 6.5–7           | 44–45  | 54–55  | 0.1                        |
| 20–70                    | 10–12           | 30–34  | 45–47  | 0.11–0.17                  |
| 75–85                    | 14–16           | 30–32  | 43–45  | 0.11–0.15                  |
| 100–220                  | 20–30           | 30–32  | 34–35  | 0.02–0.05                  |

По солености поровых вод осадков ситуация существенно не изменится. Однако предполагаемое повышение температуры осадков при мало изменяющемся содержании солей вызовет понижение кровли мерзлоты, особенно до изобаты 5 м. Здесь кровля твердомерзлых пород опустится на 20–40 м относительно ее положения в начале XXI в. На преобладающей площади внутреннего шельфа понижение кровли не превысит 2–10 м.

**Литература**

1. Григорьев М.Н., Разумов С.О., Куницкий В.В., Спектор В.Б. Динамика берегов восточных арктических морей России: основные факторы, закономерности и тенденции // Криосфера Земли. 2006. Т. X. № 4, с. 74–94.
2. Коротков А.И., Павлов А.Н., Юровский Ю.Г. Гидрогеология шельфовых областей. Л., Недра, 1980.
3. Разумов С.О., Спектор В.Б., Григорьев М.Н. Модель позднекайнозойской эволюции криолитозоны шельфа западной части моря Лаптевых // Океанология. 2014. Т.54. № 5, с. 679–693. DOI: 10.7868/S0030157414040091.
4. Dmitrenko, I. A., Kirillov S. A., Tremblay B. et al. Recent changes in shelf hydrography in the Siberian Arctic: Potential for subsea permafrost instability // J. Geophys. Res. 2011. V. 116, C10027, doi:10.1029/2011JC007218.
5. Rachold V., Bolshiyarov D. Y., Grigoriev M. N., et al. Nearshore Arctic Subsea Permafrost in Transition // Eos, Transactions, American Geophysical Union. 2007. V. 88. № 13, p. 149–156.
6. Semiletov I., Shakhova N., Pipko I., Romanovsky V. Methane Climate Forcing and Methane Observations in the Siberian Arctic Land-Shelf System // World Resource Review. 2004. V. 16/4, p. 503–542.

## **ОЦЕНКА СТОИМОСТИ СОДЕРЖАНИЯ ИНФРАСТРУКТУРЫ НА ТЕРРИТОРИИ КРИОЛИТОЗОНЫ В СВЯЗИ С РАЗВИТИЕМ ГЕОКРИОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ**

**Д.О. Сергеев, И.В. Чеснокова, О.В. Борсукова, А.В. Морозова,  
Е.М. Макарычева, А.С. Войтенко**

Институт геоэкологии им. Е.М. Сергеева РАН, 101000, Россия, Москва, Центр,  
Уланский пер., 13, стр. 2, sergueevdo@mail.ru  
Институт водных проблем РАН, 119333, г. Москва, ул. Губкина, д. 3, ichesn@rambler.ru,  
nazarich@yandex.ru  
Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, 119991, г. Москва,  
Ленинские горы, Географический факультет, aleksandra-v-morozova@ya.ru

В последние годы всё более очевидной становится проблема содержания инфраструктуры на территории криолитозоны. В стране существует нормативная база, регламентирующая строительство на территории криолитозоны. Соблюдение правил в целом обеспечивает снижение риска принятия неоптимальных конструктивных и процедурных решений и повышает надёжность сооружений. Однако на этапе эксплуатации сооружения на протяжении десятков лет инженерно-геологические условия меняются как в результате климатических изменений, так и в результате взаимодействия сооружения с геологической средой. В результате сооружение оказывается в условиях, не предусмотренных в материалах изысканий. Ведение геотехнического и экологического мониторинга не решает проблему, поскольку эти виды регулярных наблюдений дают информацию о деформациях и базовых характеристиках окружающей среды, не предоставляя данные о природе и причинах текущих геологических процессов.

Принято считать, что первые несколько лет после строительства происходит затухание геокриологических процессов, которые были активизированы техногенными воздействиями и нарушениями геологической среды. Однако, в ряде случаев, затухания процессов не происходит долгие годы, и, к тому же, возникают новые очаги их активности (рис. 1). Это связано с постепенными изменениями фоновых геокриологических условий, а также с медленно текущими процессами, такими как формирование таликов. Интересно, что потепление климата обуславливает активизацию одних процессов (термокарст), а похолодание – других (пучение, наледеобразование).

Авторы разработали базу данных по негативным результатам развития геокриологических процессов, описанных в материалах научных академических, университетских и отраслевых конференций, прошедших в течение десяти последних лет. В этих материалах освещается период активности названных процессов продолжительностью 28 лет. Каждый случай сопровождается комплексным описанием природных условий и отраслевыми особенностями техногенных воздействий. Для этого были разработаны классификаторы для группировки информации и создания тематических картографиче-

ских покрытий. Главными информационными полями базы данных служат: тип картографического объекта, геокриологический процесс, отрасль хозяйства, элемент объекта (реципиент воздействия), стадия жизненного цикла объекта, месяц/сезон и год фиксации ущерба, период развития процесса (в течение одного года или многих лет), географические координаты, описание ущерба, величина ущерба (денежный эквивалент), библиографическая ссылка. Используемая структура обеспечивает мультидисциплинарный характер накапливаемой информации и её унифицированность. База может быть расширена за счёт дополнительных полей и продолжает пополняться актуальной информацией после каждой очередной конференции.



**Рис. 1. Провисание неэксплуатируемого железнодорожного полотна в результате многолетней осадки насыпи**

Пространственная привязка данных позволила создать тематические карты, позволяющие выполнить анализ различных аспектов ущерба объектам хозяйства от экзогенных геологических процессов на территории криолитозоны России (рис. 2). В результате предварительного анализа обнаружено широкое географическое распространение проблем, связанных с активностью геокриологических процессов, что доказывает неприоритетный характер потепления климата в ряду причин ущерба хозяйству. Установлено также, что значительное количество проблем связано не со строящимися, а с эксплуатируемыми объектами.



**Рис. 2. Макеты легенд тематических карт для анализа последствий развития геокриологических процессов**

Линейные сооружения являются наиболее сложными сооружениями для оценки возможного экономического и экологического ущерба от геокриологических процессов. Значительная протяжённость транспортной инфраструктуры обуславливает разнородность условий и разнонаправленные тенденции их изменения; всё это, к тому же, меняется со временем эксплуатации. Поэтому для каждой отдельно взятой трассы затруднительно разработать рекомендации по инженерной защите без районирования трассы по условиям развития геокриологических процессов и по изменению со временем этих условий. По мере развития геокриологических процессов затраты на поддержание нормального функционирования инженерного сооружения могут расти или уменьшаться, но они входят в себестоимость инфраструктуры, накапливаясь со временем. Сумма этих затрат, по сути, является накопленным ущербом, который авторы интерпретируют в узком смысле экономиче-

ской суммы прямых убытков от проведения защитных или компенсирующих мероприятий. В широком смысле накопленный ущерб от геокриологических процессов обусловлен усложнением инженерно-геологических условий, обусловленным многолетним взаимодействием инженерного сооружения и геокриологических объектов (ледяных тел, таликовых зон, зонами теплообмена, массивами грунтов, содержащих криопеги или газогидраты), что фиксируется через активность геокриологических процессов. Выбор масштаба оценки зависит от детальности исходной геологической и климатической информации и может различаться для разных регионов.

Авторы планируют дальнейшее пополнение и развитие созданной базы пространственно привязанных данных для анализа временных, пространственных и отраслевых закономерностей распределения экономического ущерба для обеспечения систем поддержки управленческих решений во всех секторах Арктики. Для этого предлагается её совместное использование с пространственными моделями геокриологического прогноза, подобными GIPL[1].

*Работа выполняется при поддержке грантов РФФИ (проекты 13-05-00462, 16-05-00200).*

#### **Литература**

1. *Marchenko, S., Titenko, G., Romanovsky, V., Sazonova, T., Sergueev, D., and V. Groshev, GIPL – Spatially Distributed Model of Permafrost Dynamics, Workshop on Spatially Distributed Modeling and Remote Sensing of Permafrost/Frozen Ground, University of Alaska Fairbanks, October 17-20, ORAL, 2004.*

### **ИЗМЕНЕНИЕ ТЕПЛООВОГО СОСТОЯНИЯ ГРУНТОВ НА ТРАССАХ ЛИНЕЙНЫХ СООРУЖЕНИЙ ЦЕНТРАЛЬНОЙ ЯКУТИИ**

**П.Н. Скрябин, С.П. Варламов**

Институт мерзлотоведения им. П.И. Мельникова СО РАН  
677010, г. Якутск, ул. Мерзлотная, 34. E-mail: vsp@mpi.ysn.ru

Оценка теплового состояния грунтов при изменении климата и антропогенных воздействиях является приоритетной проблемой геокриологии. В Центральной Якутии все шире развивается строительство трубопроводов, автомобильных дорог, линий электропередач и т.д., которое неизбежно сопровождается нарушениями природных условий. Антропогенные воздействия различного типа и масштаба (вырубка леса, пожары, отсыпка насыпи и т.д.) приводят к изменению геокриологических условий, в том числе тепло-

вого состояния грунтов, развитию негативных криогенных процессов и ухудшению экологической обстановки. Геокриологическое обеспечение строительных работ на линейных сооружениях предусматривает оценку термического состояния грунтов. Исследования выполнены в полосе проложения железнодорожной линии Томмот – Якутск, водовода Нижний Бестях – Майя, федеральной автодороги Лена.

Прилегающая к линейным сооружениям территория характеризуется сложными геокриологическими условиями: распространением многолетнемерзлых пород, наличием водоносных таликов, развитием подземных льдов [1, 2].

Объектами исследований являются грунты слоя годовых теплооборотов до глубины 10-15 м. Основными критериями тепловой реакции криолитозоны на антропогенные воздействия являются мощность сезоннопротаивающего слоя ( $\xi$ ) и среднегодовая температура на подошве слоя годовых теплооборотов ( $t_0$ ). Работы проводятся методом природных аналогий на основе организации длительных натуральных исследований [5].

Наблюдательная сеть геотемпературного мониторинга организована в природно-технических системах и охватывает более 130 естественные и нарушенные ландшафты, в том числе с удаленным напочвенным покровом – 5, на вырубках – 28, на горячих – 12, на горячих с вырубкой – 14, на насыпях – 9. Натурные наблюдения проводятся 4 раза в холодный и теплый периоды года. Полевые работы предусматривают повторное обследование нарушенных ландшафтов, проведение наблюдений за факторами, определяющими термический режим грунтов (высота и плотность снега, строение, свойства, протаивание и температура грунтов, теплопроводность напочвенных покровов, криогенные процессы).

Со второй половины 60-х годов прошлого века в Центральной Якутии наблюдается один из наиболее высоких в России трендов повышения среднегодовой температуры воздуха [4]. Прогнозная оценка изменения среднегодовой температуры приземного воздуха в г. Якутске, составленная в Институте мерзлотоведения СО РАН показывает превышение к 2050 г. достигнутого климатического уровня не более чем на 0,7-1,0 °С [3].

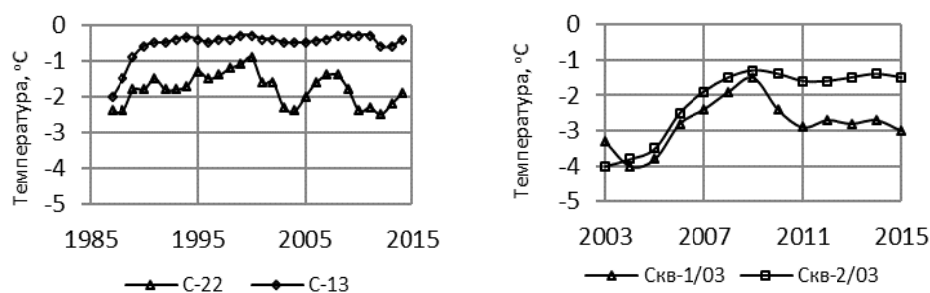
Экспериментальные исследования позволили количественно оценить влияние антропогенных воздействий на тепловой режим грунтов в различных ландшафтных условиях.

*1. Удаление напочвенного покрова.* В районе 1080 км федеральной автодороги Лена в межрядово-низинном типе местности на мари в июле 1990 г. был удален мохово-торфяной слой мощностью 0,15-0,25 м. На третий год по сравнению с естественными условиями среднегодовая температура грунтов повысилась на 4 °С. Спустя 20 лет интенсивное зарастание нарушенного участка ерниково-березовым молодняком сократило разницу среднегодовой температуры до 1,8 °С, мощность сезонноталого слоя сохранился на таком же уровне (1,4-1,5 м), т.е. отмечается стабилизация теплового состояния грунтов.

В межлассном типе местности в 1992 г. при строительстве водовода Нижний Бестях-Мая на просеке был вырублен лиственный лес с последующим нарушением напочвенного покрова. Через 18 лет на просеке по сравнению с естественными условиями температура грунтов на глубине 10 м повысилась на  $2^{\circ}\text{C}$ , глубина сезонного протаивания увеличилась на 1,4 м и превышала 3 м. Такие изменения теплового состояния грунтов при залегании повторно-жильных льдов на глубине 2-2,5 м обусловили просадку поверхности до 0,6 м и более, развитие полигональной формы рельефа, угрожающей устойчивости водовода.

В районе пикета (ПК) 7309 при прокладке лесовозной дороги на склоне межлассья в 1989 г. был удален напочвенный покров и поверхностный слой грунтов. В июне 1990 г. вдоль дороги началось развитие термоэрозии и, как следствие, – формирование оврага. Через 5 лет размеры оврага оказались следующими: длина – 340, ширина – 10-16, глубина до 6 метров. За 20 лет в интервале глубин 3,4-3,8 и 4,2-5,5 м сформировались талые прослойки грунтов, ослабляющие устойчивость мерзлых пород [2].

2. *Рубка леса.* На сплошной вырубке соснового леса по сравнению с естественными условиями отмечается резкое увеличение глубины сезонного протаивания на 0,8 м и повышение температуры грунтов на  $0,4^{\circ}\text{C}$ . Понижение  $t_0$  на  $0,9^{\circ}\text{C}$ , сокращение  $\xi$  на 0,3 м отмечается на старой вырубке, где идет восстановление лиственныйно-соснового леса.



**Рис. 1. Динамика среднегодовой температуры грунтов на глубине 10 м в сосняке (С-22) и на гари с вырубкой (С-13) в песчано-грядовом и в лиственныйном лесу (Скв-1/03) и на гари с вырубкой (Скв-2/03) в межлассном типах местности**

В районе ПК 7810 на песчано-грядовом типе местности при сплошной рубке редкостойного соснового леса на стадии развития молодняка (10-30 лет) тепловое состояние грунтов было близко к исходному. В районе ПК 7303 в межлассном типе местности при выборочной рубке лиственныйно-соснового леса на березово-кустарниковой стадии развития растительности (10-20 лет)  $t_0$  понижается на  $0,3-0,6^{\circ}\text{C}$ . В районе ПК 7309 постепенная рубка лиственныйного леса на травяной (3-8 лет) и березово-кустарниковой стадиях

(10-20 лет) развития приводит к повышению  $t_0$  на 0,5-1,2° С. В районе ПК 7270 на старой вырубке, на стадии восстановления березово-лиственничного молодняка (чаща) возрастом 10-30 лет  $t_0$  понижается в среднем на 1° С. Мало-снежные зимы 2009-2010 гг. привели к понижению  $t_0$  (рис. 1).

Выборочные, постепенные и сплошные рубки лесов в различных типах местности сопровождаются повышением  $t_0$  на 0,2-0,8°С, увеличением  $\xi$  на 0,3-0,6 м.

3. *Лесные пожары.* Влияние пирогенеза на температурный режим грунтов изучено наиболее детально в песчано-грядовом типе местности на 10 участках. В районе ПК 7810 пожар в сосновом лесу в июне 1987 г. уничтожил маломощный травяно-толокнянковый напочвенный покров и в последующем стал причиной вывала молодого соснового древостоя. В течение первых 2 лет после пожара отмечается резкое повышение температуры грунтов на глубине 10 м (примерно на 1,5°С). Начиная с 4-го года, на гаревом участке при постепенном самовосстановлении березово-кустарниковой растительности наблюдалась стабилизация температуры грунтов, и ее значения не выходили за пределы -0,3...-0,4°С.

Для количественной оценки влияния гари и вырубки леса на термический режим грунтов в низкотеррасовом типе местности в районе 1075 км автодороги Лена были организованы наблюдения в лиственничнике и на участке, где после пожара 1986 г. проведена сплошная вырубка горелого лиственничного леса. Пирогенное воздействие и вырубка леса привели через год к повышению  $t_0$  на 0,5°С и увеличению  $\xi$  на 0,15 м, а через 3 года – соответственно на 0,8°С и 0,43 м. Через 20 лет после пожара в связи с самовосстановлением березово-лиственничной чащи понижение  $t_0$  составило 0,5°С, но сохранилось увеличение  $\xi$  на 0,5 м.

Изменения теплового состояния грунтов нарушенных ландшафтов через 25 лет в других типах местности также показывают понижение температуры грунтов, обусловленное самовосстановлением растительности и ее затеняющим эффектом.

В районе ПК 7314 выборочная рубка леса с нарушением напочвенного покрова после пожара 1986 г. спустя 5 лет способствовали повышению  $t_0$  на 0,3-0,5°С. В дальнейшем естественное возобновление травяно-мохового покрова и березово-лиственничной чащи на 2-3 стадиях сукцессионного развития через 25 лет сократило поступление солнечной радиации на поверхность грунта, привело к постепенному понижению  $t_0$  на 1°С.

4. *Насыпи.* В системе железнодорожное полотно – окружающая среда в 2007-2010 гг. на участке распространения пород ледового комплекса была организована наблюдательная сеть, включающая 9 поперечных профилей, привязанных к пикетам (ПК) дороги: межгала (ПК 7088, 7089, 7175 и 7179), ложбины стока (ПК 6926 и 7087), склоны (ПК 6924, 6932 и 6934).

Вырубка просек трассы проведена в зимние месяцы 2006-2008 гг., возведение насыпей – с апреля 2009 г. по сентябрь 2010 г., укладка шпало-



рельсов в конце теплого периода 2010 г. Процессы отсыпки насыпей были произведены круглогодично.

В теплый сезон 2010 г. строителями сооружены из скального грунта насыпи разных конструкций в районе пикетов: ПК 6924 – насыпь на выемке; ПК 6926 – насыпь высотой 7 м с установкой на бермах сезонно действующих охлаждающих устройств (СОУ) до глубины 4 м; ПК 6932 – насыпь высотой до 2,5-3,0 м с установкой на бермах СОУ и укладкой на основании бермы и насыпи теплоизоляционного материала из пеноплекса толщиной 5 см и шириной 8 м; ПК 6934 – насыпь высотой 7 м; ПК 7087 - насыпь высотой 2,5 м с субвертикальными охлаждающими откосами; ПК 7088 – насыпь высотой 2,5-3,0 м с консольным солнцезащитным и снегоудерживающим навесом на откосах; ПК 7089 - насыпь высотой до 2,5 м с установкой на бермах СОУ и укладкой на основании бермы и насыпи теплоизоляционного слоя пеноплекса; на ПК 7175 сооружено земляное полотно сложной конструкции. Насыпь высотой 2-2,5 м отсыпана с частичным удалением грунта деятельного слоя. Слева насыпи отсыпана высокая берма высотой до 5 м, справа – берма высотой до 3 м. Под бермами и насыпью уложены гофрированные трубы для дренажа и охлаждения грунтов основания насыпи; на ПК 7179 сооружена нулевая насыпь из скального грунта мощностью 2,2 м с заменой грунта сезоннопротаивающего слоя.

Глубина сезонного протаивания грунтов на просеках увеличивается ежегодно, местами достигает верхнюю кровлю подземных льдов, где начинается оттаивание многолетнемерзлых пород.

В районе ПК 6932, начиная с 2010 г. отмечается четкая тенденция к охлаждению грунтов основания насыпи. Наблюдения в скважинах показали, что теплоизоляционная эффективность пеноплекса зависит от глубины его укладки, чем ближе к поверхности насыпи тем охлаждающий эффект выше. Применение СОУ и утеплителя из пеноплекса в теле земляного полотна способствовало охлаждению, сохранению и расширению многолетнемерзлых грунтов его основания. Здесь тепловое состояние земляного полотна оценивается как устойчивое.

В районе ПК 6934 в 2015 г., судя по температурным данным, верхняя кровля многолетней мерзлоты существенно приподнята, чем на естественной поверхности и находилась выше основания тела земляного полотна.

В районе ПК 7088 в первые две зимы консольные навесы на откосах не дали нужного охлаждающего эффекта. В третий год верхняя кровля многолетнемерзлых пород отмечена почти на уровне естественной поверхности. Здесь на каменной отсыпке слева у основания откоса насыпи отмечена деградация мерзлоты.

В районе пикета 7179 при отсыпке нулевой насыпи с удалением грунтов сезоннопротаивающего слоя в её основании формируется чаша протаивания.

На основе выполненных исследований можно сформулировать следующие выводы.

1. Многолетняя изменчивость теплового состояния грунтов при антропогенных воздействиях свидетельствует об их относительной устойчивости в песчано-грядовом и слабой устойчивостью в межгрядовых типах местности.

2. Рекомендуется установить у более открытого основания левой части железнодорожной насыпи дополнительные сезонные охлаждающие устройства (СОУ) – термостабилизаторы, использовать метод тепловой мелиорации: регулярное удаление или уплотнение снежного покрова.

3. Результаты исследований теплового состояния грунтов можно экстраполировать на аналогичные нарушенные ландшафты, прилегающие к линейным сооружениям.

4. Экспериментальные данные будут полезны для оценки устойчивости осваиваемых территорий к антропогенным воздействиям и разработке природоохранных мероприятий.

#### Литература

1. *Варламов С.П.* Льдистость грунтов северного участка проектируемой железной дороги Томмот-Кердем (ст. Олень – ст. Кердем) // Теория и практика оценки состояния криосферы Земли и прогноз ее изменения: Материалы международной конференции. Тюмень, 2006. Т. 2. С. 212-214.

2. *Варламов С.П., Скачков Ю.Б., Скрябин П.Н.* Температурный режим грунтов мерзлотных ландшафтов Центральной Якутии. Якутск: Изд-во Института мерзлотоведения СО РАН, 2002.

3. *Нерадовский Л.Г., Скачков Ю.Б.* Прогноз температуры воздуха в Якутии до 2050 г. // Проблемы инженерного мерзлотоведения: материалы IX Международного симпозиума (Мирный, 2011 г.). Якутск, 2011. С. 389-393.

4. *Скачков Ю.Б., Скрябин П.Н., Варламов С.П.* Изменчивость температуры грунтов слоя годовых теплооборотов в окрестностях г. Якутска за последние 40 лет // Современные проблемы теплофизики и теплоэнергетики в условиях Крайнего Севера: Материалы X научно-технической конференции памяти профессора Н.С.Иванова (Якутск, 2011 г.). Якутск. 2013. С. 113-122.

5. *Скрябин П.Н.* Развитие наблюдательной сети термического мониторинга в Центральной Якутии // Криосфера Земли. 2001. Т. V, № 3. С. 56-62.

**ОПЫТ ОЦЕНКИ СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКОГО УЩЕРБА,  
ОБУСЛОВЛЕННОГО РАЗВИТИЕМ ГЕОКРИОЛОГИЧЕСКИХ  
ПРОЦЕССОВ  
(НА ПРИМЕРЕ ЖЕЛЕЗНОЙ ДОРОГИ ЧАРА-ЧИНА)**

**И.В. Чеснокова, Д.О. Сергеев, О.В. Борсукова**

<sup>1</sup> Институт водных проблем РАН, 119333, г. Москва, ул. Губкина, д. 3  
E-mail: ichesn@rambler.ru, nazarich@yandex.ru

<sup>2</sup> Институт геоэкологии им. Е.М. Сергеева РАН, 101000, Россия, Москва, Центр,  
Уланский пер., 13, стр. 2. E-mail: sergueevdo@mail.ru

В результате многолетних исследований была создана база данных по развитию основных опасных геологических процессов на территории РФ, уточнены и пересчитаны значения социально-экономических ущербов от опасных процессов для всех субъектов РФ. Особое внимание было уделено геокриологическим процессам (пучению, термокарсту, солифлюкции, просадкам и др.). Анализ ущербов от опасных геологических и геокриологических процессов в экономических районах России показал, что геолого-геокриологические условия территории являются важнейшей составляющей при такой оценке. Эти условия формировались и изменялись под влиянием региональных и локальных факторов. Результаты такого взаимодействия отражены в современном геологическом и геокриологическом строении территорий, составе и свойствах пород, а также в различных проявлениях опасных процессов, которые существенно влияют на качество территории. Анализ показывает, что размеры ущербов зависят от класса инженерно-геологических и геокриологических характеристических массивов, от интенсивности характера техногенного воздействия [1]. Авторами отмечено, что принципиальной позицией при проведении такой работы является дифференциация территории по степени социально-экономической ценности. Последовательность действий при такой оценке территории представлена в следующем виде: общая геокриологическая оценка территории – социально-экономическая оценка территории – экономическая оценка территории – оценка ущербов от отдельных опасных процессов – оценка территорий по суммарному риску – определение страхового индекса территорий.

Рассматривая экзоморфодинамические и геокриологические условия территорий, значения риска для промышленных фондов и населения, набор наиболее ущербобразующих процессов, можно говорить о страховом индексе территории, который показывает степень риска и величину страховой ставки [2]. Он же и определяет очередность территорий, нуждающихся в обеспечении ее безопасности и в проведении страхования от наиболее ущербобразующих геокриологических процессов. Авторами проводился анализ и оценка риска необратимого изменения геокриологических условий. В зависимости от ситуации, масштаба исследований и потребностей освоения тер-

ритории выбран акцент в характеристике изменений геокриологических условий, определяемый криостратиграфией, температурным режимом грунтов и динамикой геокриологических процессов. При оценке геокриологического риска главной задачей, по нашему мнению, является определение двух ведущих факторов, по одному из «пространственного» и «временного» рядов, по которым выстраивается основная линия геокриологического прогноза, необходимого для определения вероятности наступления необратимого изменения геокриологических условий. Такое изменение затем увязывалось с ущербом хозяйственному объекту.

Хорошо известно, что практически любое изменение геокриологических условий приводит к активизации опасных процессов [3]. Так, относительное потепление благоприятно для термокарста, а похолодание – для активизации пучения. Социально-экономический ущерб, который возникает при строительстве и дальнейшей эксплуатации хозяйственных объектов на территории распространения многолетнемерзлых пород может быть связан с экзогенными процессами, специфически протекающими в областях развития многолетнемерзлых пород. К таким процессам можно отнести заболачивание, опустынивание, дефляцию, наводнения, сели и оползни.

Геокриологические процессы выступают источником непосредственной опасности для инженерных сооружений (термокарст, криогенное пучение и растрескивание, наледообразование, термоэрозия). Опасность заключается в прямом динамическом воздействии на элементы технологических конструкций. Одновременно формируется опосредованный ущерб, обусловленный формированием геокриологических явлений, меняющих условия водного стока и других свойств ландшафта, определяющих условия удобного ведения хозяйства и функционирования объекта. Всё это, в конечном счёте, приводит к экономическому ущербу, ежегодная величина которого со временем может нарастать или уменьшаться, в зависимости от характера изменения геокриологических условий.

Транспортная инфраструктура является одним из наиболее уязвимых компонентов народного хозяйства, поскольку, вследствие своей протяжённости, транспортные объекты (автомобильные и железные дороги, трубопроводы, линии электропередач) вынуждены пересекать разнообразные, в том числе и неблагоприятные в геокриологическом отношении, ландшафты, которые по-разному реагируют на климатические изменения. Изменения климата приводят к эволюции геокриологических условий, и, в этом случае, объект оказывается в условиях, не предусмотренных проектом. На разных отрезках протяжённых транспортных систем разными оказываются и история прошлой эксплуатации технических систем, и изменения климата, и динамика природных процессов.




Локальные проблемы эксплуатации транспортной системы приводят к изменениям условий устойчивого развития глобальных транспортных систем, что приводит к умножению числа реципиентов риска (т.е. незапланированный ущерб и недополучение прибыли грозят не только фирмам, эксплуати-

рующим транспортную систему, но и людям, живущим в её окрестности, территориальному и государственному бюджетам и т.д.).

В работе проведён анализ уникального массива данных о суммарном воздействии геокриологических процессов на 75-километровую трассу Чара-Чина (Коларский район Забайкальского края) при отсутствии ремонтных работ, защитных и компенсирующих мероприятий в течение длительного отрезка времени (13 лет).

Таблица 1

**Данные о факторах развития и признаках явлений, связанных с опасными геокриологическими процессами вдоль трассы железной дороги Чара-Чина (2014 г.)**

| Номер точки | Пикет | Координата  | Ж/д полотно  | Зона землеотвода  | Прилегающая местность                                   | Растительность, примечания   |
|-------------|-------|---|--|---|---|--|
|             |       |   |  |   |   |  |
| 7           | 5     | Серед. просадки.<br>56,495418 118,666865 Н=1553м. | Глубокая просадка насыпи и ж/д путей. Синусообразная. Кривые столбы, длина просадки 100м. фото 0082, 0083, 0084, 0080.<br>          | Слева размыто и заболочено<br>Справа заболочено<br> | Справа озеро в него идет сток из заболоченной местности | Слева от ж/д – около дороги низинное болото ивово-пушицево-осоковое (с осокой черной). Справа от ж/д озеро с осоковой окраиной   |
| 8           | 9     | 56,495182 118,664653 Н=1549м.                     | Место разъезда. Китайский метод. Два пути. Фото 0085, 0086. Длина 200м. деформация пути синусоида. С глубинами 160, 140, 95 см.<br> | Заболочено все. Фото 0087, 0088   |   | Слева от ж/д комплекс ерниково-осоково-пушицево-сфагновых (осокой шаровидной) кочек в сочетании с пушицево-осоковыми понижениями |

В ходе полевых исследований 2014-2015 гг. в маршрутах по ж/д Чара-Чина проводились наблюдения за сменой типов местности, растительности, заболоченности, характеристикой водных объектов, их интенсивности, фиксировались проявления современных криогенных процессов. Были задокументированы также все деформации на ж/д насыпи, на самой дороге и на прилегающей территории. Полученная информация представлена базой данных, фрагмент которой отражен в табл 1.

В работе применён оригинальный подход, заключающийся в районировании трассы линейного сооружения по комплексам геокриологических процессов, набор которых обусловлен высотными поясами, особенностями рельефа, водного стока с территории, геологического строения, историей геокриологического развития, характеристиками инженерного сооружения и современной динамикой техногенеза и климата.

Авторами рассчитаны величины социально-экономического ущерба: максимального для каждого очага развития процесса и удельного – для каждого ареала, соответствующего таксону инженерно-геологического районирования трассы железной дороги. Значения экономического ущерба от проявления опасных процессов на трассе Чара-Чина с учетом геоморфологического деления трассы представлены в табл. 2.

Таблица 2

**Значения экономического ущерба от проявления опасных геокриологических процессов на трассе Чара-Чина с учетом геоморфологического расположения участков**

| Тип рельефа          | Значение экономического ущерба (руб., в ценах 2009г.) |          |          |
|----------------------|---|----------|----------|
|                      | Мин.  | Средний  | Макс.    |
| Долина реки Чара     | 3230800   | 5264400  | 6736628  |
| Шлейфы предгорий     | 16390400  | 26707200 | 34176064 |
| Сортанская морена    | 5299300   | 8634900  | 11049713 |
| Нагорный участок     | 4363550   | 7110150  | 9099556  |
| Внутригорный участок | 24239950  | 39595350 | 50668480 |

Районирование территории с проявлениями геокриологических процессов позволило оценить роль различных факторов, регулирующих интенсивность суммарного (максимального или конечного) воздействия на техногенный объект за рассмотренный период времени. В частности, проанализированы роль рельефа, гидрологического режима, суровости геокриологических условий, парагенетического сочетания геокриологических процессов. Полученная информация рекомендуется к использованию в качестве методической основы для экстраполяции на другие виды аналогичных объектов, расположенных в горных регионах с континентальным холодным климатом.

Авторами разработана географическая информационная система для учёта и оценки ущерба протяжённому объекту, инфраструктуры от экзогенных геологических процессов, развивающихся в условиях многолетней мерзлоты.

*Работа выполняется при поддержке гранта РФФИ (проект 16-05-00200).*

#### Литература

1. Чеснокова И.В., Кофф Г.Л. Природные риски – анализ социо-экономических последствий // Сб. научных трудов «Исследования литосферы». М.: ИЛРАН, 2000. С. 89-92.
2. Чеснокова И.В. Экономическая оценка и вопросы страхования последствий опасных геологических и геокриологических процессов // Сейсмостойкое строительство Безопасность сооружений. № 6, декабрь. С. 10-14.
3. Чеснокова И.В., Борсукова О.В., Сергеев Д.О. Развитие неблагоприятных природных процессов в различных геокриологических условиях. Научное обеспечение реализации «Водной стратегии РФ на период до 2020 г.» // Сб. науч. тр. Т. 2. Петрозаводск. КНИЦ РАН, 2015. С. 58-64.

### **ВЛИЯНИЕ СУММАРНОЙ ВЛАЖНОСТИ НА ХАРАКТЕРИСТИКИ ДЕФОРМАЦИЙ ОТТАИВАЮЩИХ ПЕСЧАНЫХ ГРУНТОВ**

**Д.М. Шестернев, И.С. Вахрин**

ФГБУН Институт мерзлотоведения им. П.И. Мельникова СО РАН, г. Якутск.  
E-mail: Kloydspir@rambler.ru

Начало истории исследований осадок мерзлых грунтов при оттаивании относится к 1933 г. В это время был разработан специальный прибор для определения общей осадки при оттаивании грунтов под нагрузкой. Этот способ еще не предусматривал разделять общую осадку на составляющие [4]. Актуальность этих исследований была обусловлена началом интенсивного инженерного освоения территорий вечной мерзлоты в 1930-1940 гг. Особый вклад в совершенствование методики исследований оттаивающих грунтов в этот период внесли работы Г.И. Лапкина (1939 г.); А.Е. Федосова (1942 г.); М.Н. Гольдштейна (1942 г.); Н.А. Цытовича (1941, 1952 гг.) и других ученых. В результате был разработан метод оценки стабилизированных осадок фундамента на оттаивающих грунтах с учетом разделений на осадку оттаивания, независимую от внешнего давления, и осадку уплотнения, функционально зависящую от нормального давления. Однако, архив публикаций об исследованиях песчаных грунтов до сих пор весьма незначителен. По-видимому, это объясняется тем, что осадка этих грунтов при оттаивании имеет небольшую

величину и не представляет опасности для строительства и эксплуатации инженерных сооружений.

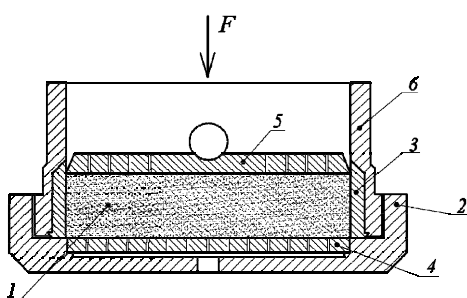
Результаты экспериментальных исследований осадок оттаивающих песчаных грунтов, выполняемых в лабораторных условиях ТИСИЗами, часто весьма противоречивы. При одной и той же влажности и плотности песчаных грунтов нередко величина коэффициента оттаивания меньше или больше коэффициента уплотнения, что, по-видимому, можно объяснить качеством проведенных экспериментов или причинами, которые еще не известны. Данный аспект проблемы и являлся целью наших исследований.

### Методика исследований

Экспериментальные исследования были выполнены с использованием аллювиальных грунтов надпойменных террас Чульминской впадины. Для испытаний отбирались монолиты мерзлого грунта ненарушенного сложения диаметром 112 мм. Отбор монолитов был согласован при проведении изысканий для строительства линейных сооружений. Вид грунта и основные физические характеристики (суммарная влажность, плотность естественного сложения) представлены в табл. 1. Другие характеристик получены расчетным методом.

В процессе подготовки грунтов для экспериментальных исследований с использованием макроскопического метода нами было изучено криогенное строение песчаных грунтов. В результате установлен подтип неполно поровых криогенных текстур, характерный для массивных криогенных текстур во всем диапазоне изменения суммарной влажности песчаных грунтов.

Подготовка к экспериментальным исследованиям грунтов включала вырезание образцов мерзлого грунта из монолита по форме рабочего кольца прибора высотой 25 мм и диаметром 87 мм при температуре минус 6 °С. Далее образцы в рабочих кольцах помещались в камеру холодильной установки и выдерживались в течение 12 часов при заданной температуре минус 1 °С. После этого образцы загружались в одометр и помещались на установку компрессионного сжатия ГТ 2.0.5 (рис. 1).



**Рис. 1.** 1 – образец грунта; 2 – поддон корпуса; 3 – рабочее кольцо; 4 – перфорированный нижний штамп; 5 – перфорированный верхний штамп; 6 – корпус;  $F$  – нагрузка



Экспериментальные исследования проводились по стандартной методике компрессионного сжатия мерзлых грунтов при оттаивания [1] на измерительно-вычислительном комплексе «АСИС», разработанном научно-производственным предприятием «ГЕОТЕК».

### Результаты исследований

Установленный вид грунта и массив количественных характеристик при проведении экспериментальных исследований сведены в табл. 1.

Таблица 1

#### Физико-механические характеристики песчаных грунтов

| № п/п | Глубина отбора, м | Вид грунта | $w_{tot}$ | $\rho_f$ | $e$  | $A_{th}$ | $m$   | к/т.  |
|-------|-------------------|------------|-----------|----------|------|----------|-------|---|
| 1     | 5,5               | п.с/кр.    | 0,192     | 2,02     | 0,57 | 7,2      | 6,03  | неполно поровые массивные криогенные текстуры |
| 2     | 5,25              | п.м.       | 0,168     | 2,08     | 0,49 | 4,2      | 6,26  |   |
| 3     | 8,9               | п.м.       | 0,184     | 2,02     | 0,55 | 4,9      | 6,17  |   |
| 4     | 7,4               | п.м.       | 0,132     | 2,16     | 0,45 | 3,4      | 5,4   |   |
| 5     | 5,1               | п.м.       | 0,218     | 1,97     | 0,64 | 6,4      | 7,56  |   |
| 6     | 4,6               | п.м.       | 0,282     | 1,87     | 0,86 | 11,7     | 10,86 |   |
| 7     | 14,6              | п.с/кр.    | 0,195     | 2,03     | 0,57 | 7,5      | 6,05  |   |
| 8     | 15,1              | п.с/кр.    | 0,144     | 2,08     | 0,47 | 3,1      | 5,5   |   |
| 9     | 6,5               | п.с/кр.    | 0,150     | 2,13     | 0,43 | 4,7      | 6,1   |   |

*Примечание:* п.с/кр. – песок средней крупности; п.м. – песок мелкий;  $w_{tot}$  – суммарная влажность, д.е.;  $\rho_f$  – плотность мерзлого грунта г/см<sup>3</sup>;  $e$  – коэффициент пористости, д.е.;  $A_{th}$  – коэффициент оттаивания 10<sup>-3</sup>, д.е.;  $m$  – сжимаемость при оттаивании 10<sup>-2</sup>, МПа<sup>-1</sup>; к/т. – криогенная текстура.

Для определения коэффициентов оттаивания  $A_{th}$  и уплотнения  $m$  было проведено 9 испытаний песчаных грунтов. Результаты статистической обработки [5] физико-механических характеристик песчаных грунтов представлены в табл. 2.

Таблица 2

#### Результаты статистической обработки

| Параметры  | $w_{tot}$ | $\rho_f$ | $A_{th}$ | $m$      |
|------------|-----------|----------|----------|----------|
| $\bar{x}$  | 0,185     | 2,04     | 0,0059   | 0,066588 |
| $\sigma$   | 0,0408    | 0,0777   | 0,0024   | 0,0151   |
| $\sigma^2$ | 0,001665  | 0,00604  | 0,000006 | 0,000229 |
| $V$        | 0,221     | 0,038    | 0,407    | 0,227    |

*Примечание:*  $\bar{x}$  – среднееарифметическое значение;  $\sigma$  – среднеквадратичное отклонение;  $\sigma^2$  – дисперсия;  $V$  – коэффициент вариации; далее см. под табл. 1.

Статистическая обработка результатов экспериментальных исследований позволила получить линейные модели для количественной оценки влияния суммарной влажности (льדיстости) и плотности ненарушенного сложения грунтов на параметры осадок оттаивающих песчаных грунтов (рис. 2, 3).

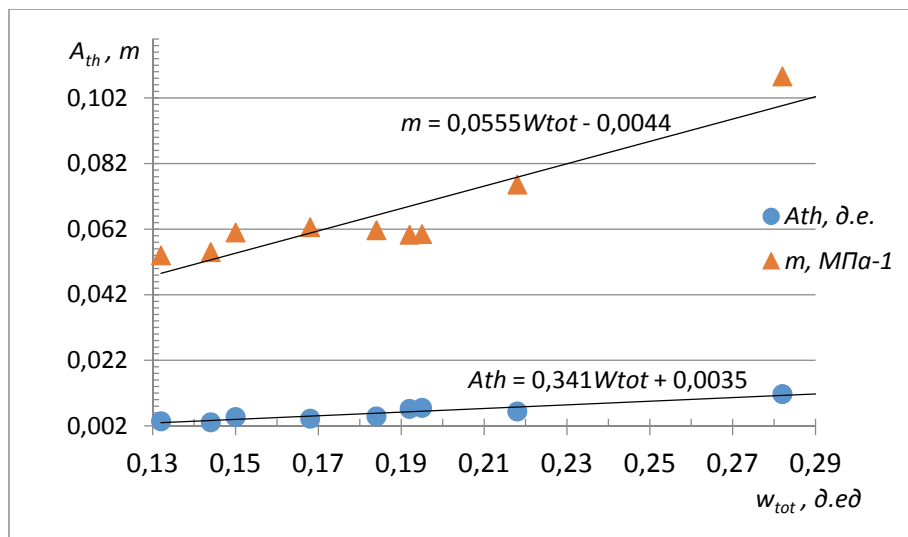


Рис. 2. Зависимости коэффициентов оттаивания  $A_{th}$  и уплотнения  $m$  песка от различной суммарной влажности  $w_{tot}$

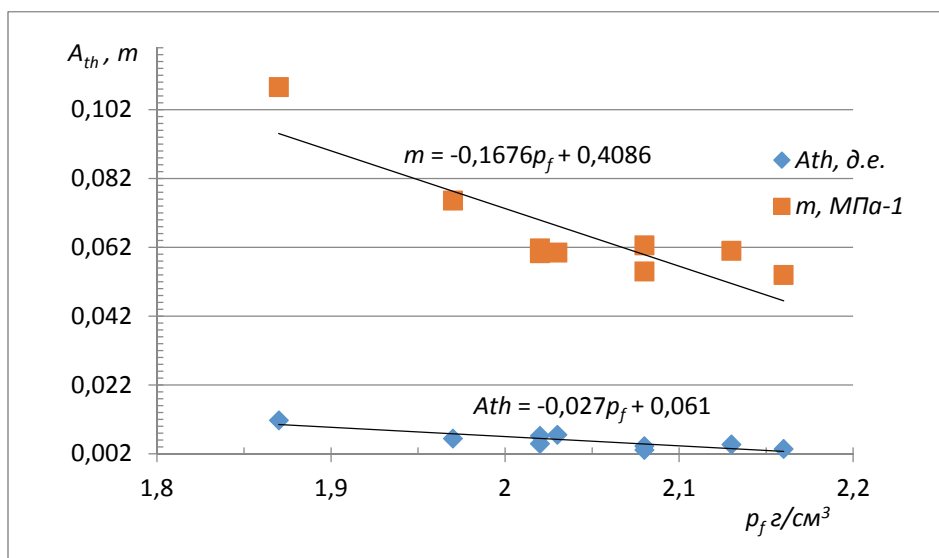


Рис. 3. Зависимости коэффициентов оттаивания  $A_{th}$  и уплотнения  $m$  песка от различной плотности мерзлого грунта  $\rho_f$

Анализ полученных статистических моделей показывал на тесную связь между значениями коэффициентов оттаивания и уплотнения грунтов в зависимости от изменения суммарной влажности (соответственно коэффициенты корреляции 0,94 и 0,92 д.е.) и плотности (соответственно 0,87 и 0,86 д.е.).

Анализируя статистические зависимости, следует отметить, что коэффициенты оттаивания в песчаных грунтах в диапазоне изменения суммарной влажности при наличии неполно поровых криогенных текстур значительно меньше коэффициента уплотнения, что противоречит известным утверждением [4,2,3]. Однако, на наш взгляд справедливость этих зависимостей подтверждаются тем, что, по-видимому, формирование неполно поровых криогенных текстур в песчаных грунтах не приводит их к распучиванию. В связи с этим вытаивание ледяных включений в них практически не обуславливает процесс перестройки структуры грунта. В то же время на контактах между песчинками существует локально ослабленные зоны, формировавшиеся при циклическом изменении температур и бытовой нагрузки, что при оттаивании приводит к перекомпоновке посткриогенной структуры песчаных грунтов. В результате этого коэффициенты сжимаемости значительно больше, чем коэффициенты оттаивания. В тоже время, по-видимому, в случае наличия полно поровых и особенно базальных типов массивных криогенных текстур, выявленная тенденция может измениться, и величина коэффициентов оттаивания будет больше величины коэффициента уплотнения.

### **Выводы**

Экспериментальные исследования позволили:

1. Установить зависимости изменения деформационных характеристик оттаивающих песчаных грунтов от показателей физических свойств (суммарной влажности и плотности грунта).
2. Получить статистические модели для прогноза параметров осадок оттаивающих песчаных грунтов с неполно поровыми подтипами массивной криогенной текстуры песчаных грунтов в диапазоне изменения суммарной влажности (0,132 до 0,282 д.е.).
3. Полученные результаты не являются окончательными и требуют дальнейших исследований в расширенных диапазонах изменений суммарной влажности и типов криогенных текстур в песчаных грунтах.

### **Литература**

1. ГОСТ 12248 – 2010. Грунты. Методы лабораторного определения характеристик прочности и деформируемости. М.: МНТКС, 2011. 156 с.
2. *Киселев М.Ф.* К расчету осадок фундаментов на оттаивающих грунтах основаниях. М.: Госстройиздат, 1957. 40 с.
3. *Роман Л.Т.* Механика мерзлых грунтов. М.: МАИК «Наука/Интерпериодика», 2002. 426 с.
4. *Цытович Н.А.* Основы механики грунтов. Стройиздат, 1934.
5. *Шестернев Д.М.* Статистическая обработка инженерно-геологической информации: учеб. пособие. Чита: ЧитГУ, 2008. 321 с.

## 7. РАЗВИТИЕ МЕТОДОЛОГИИ И МЕТОДОВ ИССЛЕДОВАНИЙ В ГЕОЭКОЛОГИИ И ИНЖЕНЕРНОЙ ГЕОЛОГИИ

---

---

### ОЦЕНКА ЗАВИСИМОСТИ РЕЗУЛЬТАТОВ РАСЧЁТОВ УСТОЙЧИВОСТИ СКЛОНОВ ОТ ПРИМЕНЯЕМОЙ МОДЕЛИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ СВОЙСТВ ГРУНТОВ И МЕТОДА РАСЧЁТА

**Ф.К. Буфеев<sup>1</sup>, И.К. Фоменко<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> МГРИ-РГТРУ им. Серго Орджоникидзе, Москва ул. Миклухо-Маклая д. 23.  
E-mail: fbufeev@hotmail.com.

<sup>2</sup> Научно-производственный центр по инженерным изысканиям, Москва,  
Звездный бульвар д. 3А, стр. 1. E-mail: ifolga@gmail.com.

Одним из главных этапов при количественной оценке устойчивости склонов является схематизация математической модели. Этот тезис может служить также основой для математической постановки задачи. Обоснование схематизации является одной из важнейших задач при выполнении расчетов устойчивости склонов.

Результаты количественной оценки устойчивости склонов зависят от исходной инженерно-геологической информации, выбора модели распределения свойств грунтов в массиве и используемых методов расчёта устойчивости. Качество информации, получаемой в результате инженерно-геологических изысканий, зависит от применяемых методов изучения свойств геологической среды, которые, в свою очередь, определяются в процессе составления программы работ, с учётом технического задания, на основании требований нормативной документации.

По результатам изысканий составляются инженерно-геологические разрезы, которые служат основой для построения геотехнических моделей. При этом объективным, т.е. независимыми от сознания и воли субъекта, является выделение границ между различными литолого-генетическими комплексами и данные по определению свойств грунтов (полевые и лабораторные). Далее, в процессе построения геомеханической модели и выполнения на ее основе количественной оценки устойчивости склонов всё сильнее

возрастает влияние фактора субъективности. Такого рода схематизация может быть обобщенной и специальной.

Под обобщенной схематизацией, в данном контексте, следует понимать процесс упрощения реального природного объекта, обладающего бесконечной степенью сложности, до концептуальной модели, с одной стороны, ограниченной рамками научного познания, а, с другой стороны, степенью информационной обеспеченности, достигнутой при выполнении инженерно-геологических работ

Специальная схематизация предполагает упрощение концептуальной модели до специализированной (геомеханической) схемы, способной в рамках поставленной задачи сохранить в должной мере адекватность полученной схемы и исходной концептуальной модели, а в конечном итоге – обеспечить с требуемой детальностью описание реального природного объекта. Цель специальной схематизации может быть выражена в виде следующего тезиса: максимальное упрощение при минимальной потере адекватности. Этот тезис может служить также основой для математической постановки задачи. Обоснование схематизации является одной из важнейших задач при описании процесса построения математической модели. Такие задачи нередко приходится решать при инженерных изысканиях.

Собственно выполнение специальной схематизации можно разделить на несколько взаимосвязанных этапов:

- схематизацию структуры склонового массива;
- схематизацию свойств грунтов и особенностей их распределения в исследуемом массиве.

Последнему виду схематизации в отечественном оползневедении уделяется неоправданно мало внимания.

В данном докладе будут рассмотрены некоторые примеры, которые вносят определенную долю неопределённости в результаты количественной оценки устойчивости склонов, такие как:

1. Влияние выбора модели распределения свойств грунтов на результаты расчета;
2. Влияние методов расчета на величину коэффициента устойчивости и масштабности проявления оползневого процесса.

Рассмотрим четыре принципиально отличающихся подхода к составлению модели возможного распределения свойств грунтов в оползневом массиве:

1. Принятый в отечественной практике подход – в пределах выделенных расчётных геологических элементов (РГЭ) задаются расчетные характеристики свойств грунтов.

2. Принятый на западе подход – в пределах выделенных РГЭ задаются нормативные характеристики свойств грунтов.

Предлагаемые к рассмотрению подходы: значения свойств грунтов задаются дискретно:

3. В пределах выделенных РГЭ дискретно задаются значения свойств грунтов;

4. В пределах всего массива, без учёта литологических границ задаются значения свойств грунтов.

Консервативные, детерминистические методы расчетов устойчивости склонов, применяемые в отечественной практике, учитывают изменчивость свойств грунтов лишь опосредованно, через использование в математических моделях их расчетных (в статистической терминологии) значений, по выделенным инженерно-геологическим элементам (ИГЭ). Полученные на основании подобных расчетов коэффициенты устойчивости склонов в действительности не определяют фактический уровень опасности, поскольку невозможно установить взаимосвязь между ними и вероятностью развития оползневой процесса. Также стоит отметить, что данный подход не позволяет решить основную задачу при выполнении оценки устойчивости склонов – нахождение критической поверхности скольжения (ПС) с минимальным коэффициентом устойчивости ( $K_v$ ). Это связано с тем, что закладываемые в расчет, формально уменьшенные, прочностные характеристики грунтов предопределяют не только заниженные значения  $K_v$  в итоге, но совсем другую «расчетную» ПС. Очевидно, что для однородных склонов уменьшение величины сцепления грунтов будет приводить к уменьшению глубины ПС, что, в свою очередь, скорее всего, приведёт к ошибкам при проектировании.

Рядом описанных выше недостатков лишен второй подход, при котором в пределах выделенных РГЭ задаются нормативные характеристики свойств грунтов. Основным преимуществом данного подхода является возможность использования вероятностного анализа при оценке устойчивости склонов, который приобретает актуальность в мировой практике, и все больше применяется с ростом понимания дискретности (по существу, случайности) имеющихся в распоряжении рядов значений физико-механических характеристик грунтов, полученных в ходе инженерно-изыскательских работ [1]. Сущность такого анализа заключается в определении вероятностной функции распределения коэффициента устойчивости в зависимости от вероятностных функций распределения физико-механических характеристик грунтов, слагающих склон, или иных факторов, влияющих на оползневой процесс. Однако и данный подход к составлению модели не лишен недостатков. В частности, в нем невозможно учесть один из основных принципов активизации оползневой процесса – «где тонко там и рвется».

Поле распределения прочностных свойств грунтов в массиве позволяет учесть принцип «где тонко там и рвется». В его основе лежит следующая идея: по известным, фактически замеренным величинам свойств грунтов строится поле распределения свойств в массиве. Важным преимуществом данного подхода является возможность использования различных методов интерполяции свойств грунтов внутри массива. Однако, по этой же причине, существенно повышается сложность выполнения анализа по оценке устойчивости, так как возникает необходимость в выборе и обосновании метода интерполяции свойств грунтов. Недостатком случайного распределения свойств грунтов по массиву в целом является то, что данный подход не позволяет учитывать геологическое строение.

В настоящее время существует большое количество методов расчётов устойчивости склонов. Каждый из них обладает определёнными преимуществами и недостатками. При расчётах, на основании которых написана данная статья, были использованы упрощённые методы Бишопа и Янбу, а также метод Morgenштерна-Прайса. Методы Бишопа и Morgenштерна-Прайса рекомендованы нормативными документами для расчётов устойчивости склонов (СП 11-105-97, ч. II [2]), а метод Янбу является наиболее близким к методу горизонтальных сил Маслова-Берера, также рекомендованного в СП 11-105-97, ч. II [2].

Упрощённый метод Бишопа, созданный в середине прошлого века в Англии. Его отличительной особенностью является общее удовлетворение равновесию моментов при неудовлетворении равновесию горизонтальных сил.

Упрощённый метод Янбу похож на метод Бишопа, но в отличие от него он удовлетворяет полному равновесию горизонтальных сил и не удовлетворяет полному равновесию моментов.

Метод Morgenштерна-Прайса, в отличие от перечисленных выше методов полностью удовлетворяет и равновесию сил и равновесию моментов.

Оценка зависимости результатов численного анализа опасности развития оползневых деформаций от выбранной модели распределения свойств грунтов проводилась на примере расчета устойчивости склона, выполненного авторами в составе ООО «ИГИТ» в пределах сферы взаимодействия юго-восточного участка стен и башен XVIII в. Свято-Боголюбского монастыря. Работы проводились для разработки проекта противоаварийных мероприятий по сохранению объекта культурного наследия – Боголюбского монастыря. В административном отношении участок работ расположен по адресу: Владимирская обл., Суздальский р-н, пос. Боголюбово, Свято-Боголюбский женский монастырь.

В структурном отношении территория проведения изысканий относится к центральной части Московской синеклизы, где с размывом четвертичные отложения залегают на пермских отложениях. В геологическом строении рассматриваемого склона сверху вниз принимают участие современные техногенные накопления ( $tQ_{IV}$ ), современные озерно-болотные отложения ( $lhQ_{IV}$ ), современные аллювиальные (пойменные) отложения ( $aQ_{IV}$ ), нерасчлененные средне-верхнечетвертичные аллювиально-флювиогляциальные отложения первой надпойменной террасы р. Клязьмы ( $a, fQ_{II-III}$ ), нерасчлененные средне-верхнечетвертичные флювиогляциальные и озерно-ледниковые отложения ( $f, lgQ_{II-III}$ ) и отложения северодвинского горизонта татарского яруса пермской системы ( $P_{2sd}$ ).

Известно, что 20 мая 1851 г. во время крестного хода в результате оползня обрушился мост. Тогда погибло около 160 человек. В настоящее время активно развивается суффозионный процесс, который наиболее активно проявился 7 лет назад в образовании провала, увеличивающегося размерах на протяжении этого времени. Также периодически происходит сильное замутнение воды в каптированном роднике и, как следствие, заиливание дна

купели под этим родником. На поверхности склона присутствуют трещины, поверхность неровная, бугристая. В основании склона разгружаются подземные воды.

На этапе изысканий изучение свойств грунтов проводилось стандартными методами на образцах, отобранных в скважинах, пробуренных на склоне и за его пределами.

Сравнение результатов оценки устойчивости, полученных на дискретных моделях распределения прочностных свойств грунтов с разделением на РГЭ и по массиву в целом, показало, что выделение границ приводит к повышению  $K_u$  и увеличению потенциального объема оползневого тела.

В целом, влияние моделей распределения свойств грунтов по своему эффекту на оценку устойчивости склона сопоставимо с влиянием оптимизации поверхности скольжения.

#### Литература

1. СП 11-105-97 Инженерно-геологические изыскания для строительства. Часть II. Правила производства работ в районах развития опасных геологических и инженерно-геологических процессов.

2. Пендин В.В., Фоменко И.К. «Методология оценки и прогноза оползневой опасности». – М.: ЛЕНАНД, 2015. – 230 с.

## МЕТОДИЧЕСКИЕ ПОДХОДЫ К СОЗДАНИЮ ПРОГРАММНОГО СРЕДСТВА ОЦЕНКИ ПРИРОДНЫХ РИСКОВ

**А.С. Викторов, П.В. Березин**

Институт геоэкологии им. Е.М. Сергеева РАН,  
101000, Москва, Уланский пер. д. 13, стр. 2, тел./факс 495-607-82-84

Одной из актуальных задач является оценка риска в условиях развития опасных экзогенных геологических процессов. Наиболее часто мерой риска являются следующие параметры:

- Вероятность той или иной степени поражения инженерного сооружения опасным экзогенным процессом,

- Средний риск – математическое ожидание величины поражения (например, площади или длины) инженерного сооружения опасным экзогенным процессом.

- Вероятностное распределение величины поражения инженерного сооружения опасным экзогенным процессом.

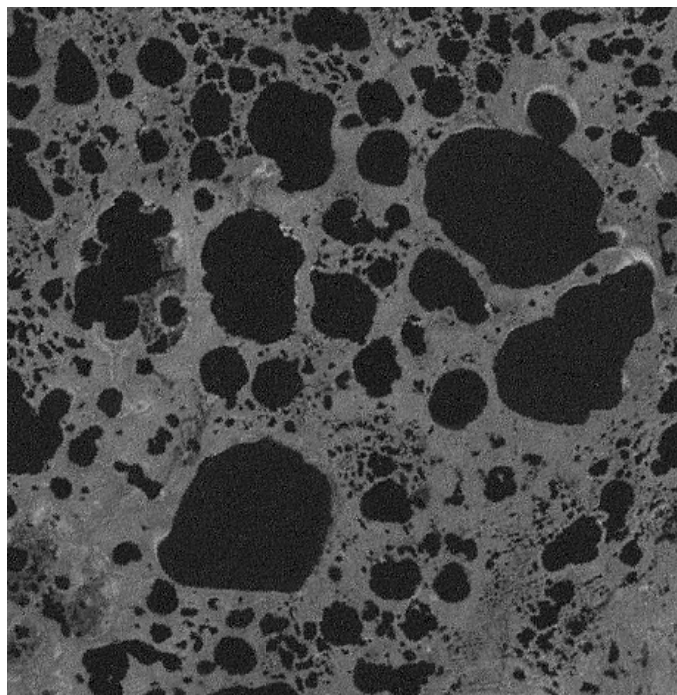
Весьма интересной задачей представляется разработка программного обеспечения для оценки природных рисков. Такое ПО было бы, в частности, необходимым элементом систем мониторинга.



Задаче оценки риска посвящены многие исследования (например, [2, 3] и др.), однако до сих пор ее решение остается актуальным. Трудность состоит в том, что мало исследованы те особенности процессов, которые позволяют рассчитать вероятности и величины поражения. При статистическом подходе трудность состоит в необходимости получить большие объемы данных по статистике поражения сооружения, причем в каждом типе физико-географических условий, которые пересекает инженерное сооружение. Время необходимое для получения таких данных сопоставимо с временем функционирования инженерного сооружения, а оценка риска нужна уже на стадии проектирования сооружения. В силу изложенного такой подход не очень перспективен.

Перспективным путем решения подобной задачи является использование подходов математической морфологии ландшафта. В этом случае за основу решения задачи может быть приняты математические модели соответствующих ландшафтных рисунков, часть контуров которых отвечает опасным природным процессам. В этом случае мы избегаем необходимости получения большого количества специализированных параметров как например в геомеханических моделях, а можем использовать материалы повторных космических съемок.

Покажем это на примере оценки риска поражения линейного сооружения.



**Рис. 1. Типичный вид озерно-термокарстовой равнины на материалах космической съемки**

Исследуемый тип территории представляет собой слабоволнистую субгоризонтальную поверхность с преобладанием тундровой растительности, в которую вкраплены термокарстовые озера, беспорядочно разбросанные по равнине (рис. 1). Исходно для возникающих очагов термокарстовых процессов (озер) характерна форма, близкая к кругу.

В основу модели могут быть положены следующие предположения:

1. Процесс появления первичных понижений является вероятностным, и на непересекающихся площадках ( $\Delta s$ ), а также в неперекрывающиеся отрезки времени ( $\Delta t$ ), идет независимо, при этом и вероятность появления одного понижения много больше, чем вероятность возникновения нескольких понижений, то есть

$$p_1(t) = \lambda \Delta s \Delta t + o(\Delta s \Delta t)$$

$$p_k(t) = o(\Delta s \Delta t) \quad k = 2, 3, \dots,$$

где  $\lambda$  – плотность генерации понижений на единице.

2. Рост размеров озер благодаря термоабразионному воздействию является случайным процессом и происходит независимо от других озер и скорость роста пропорционально плотности тепловых потерь через боковую поверхность озера.

Поражение линейного сооружения может произойти под действием трех факторов:

- За счет расширения существующего очага,
- За счет очагов, возникших на площади озерно-термокарстовой равнины в период функционирования трубопровода,
- За счет очагов, возникших по оси трубы за счет ее теплового воздействия.

В соответствии с [1] условная плотность распределения радиуса термокарстового озера равна

$$f(x, t | v) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\alpha x\sqrt{t}}} e^{-\frac{(\ln \frac{x}{v} - at)^2}{2\sigma^2 t}}$$

где  $v$  – исходный размер озера,  $t$  – время,  $x$  – будущий размер озера,  $a, \sigma$  – скорость роста среднего логарифма радиуса и его стандарта во времени.

Отсюда следует вероятность поражения за счет расширения существующего очага

$$q_i(t) = \int_{r_i}^{+\infty} \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma u\sqrt{t}}} \exp\left[-\frac{(\ln u - \ln v_i - at)^2}{2\sigma^2 t}\right] du,$$

где  $i = 1, 2, \dots, n$  – номер очага,  $n$  – число очагов,  $v_i$  – исходный радиус,  $r_i$  – исходное расстояния до линейного сооружения.

Вероятность поражения линейного сооружения за счет очагов, возникших на площади озерно-термокарстовой равнины в период функционирования трубопровода за заданное время, составит [1]

$$P_1(t) = 1 - e^{-\lambda d L},$$

где  $d$  – средний диаметр очага,  $\lambda$  – средняя плотность генерации очагов.

Наконец вероятность поражения линейного сооружения за счет очагов возникших непосредственно по оси трубы составит

$$P_2(t) = 1 - e^{-\mu L}$$

где  $\mu$  – линейная плотность генерации очагов по оси трубы.

В итоге вероятность поражения линейного объекта протяженностью  $L$

$$p(t) = 1 - \prod_{i=1}^n [1 - q_i(t)] e^{-(\mu + \lambda d) L t},$$

где  $t$  – время функционирования трубопровода.

Необходимые параметры определяются по материалам дистанционных съемок.

Таким образом основные процедуры работы программного пакета должны содержать следующие элементы:

- оцифровка очагов первого срока съемки по космическому снимку,
- оцифровка очагов второго срока съемки по космическому снимку,
- определение параметров – средней плотности генерации очагов, средний диаметр очага, исходный радиус существующих очагов и исходное расстояния до линейного сооружения и др.,
- расчет вероятности поражения за счет расширения существующего очага (для каждого очага),
- расчет вероятности поражения линейного сооружения за счет очагов возникших на площади озерно-термокарстовой равнины в период функционирования трубопровода,
- расчет вероятности поражения линейного сооружения за счет очагов, возникших непосредственно по оси трубы,
- расчет общей вероятности поражения линейного сооружения.

В настоящее время начаты работы по созданию первой версии программного пакета оценки природных рисков.

#### Литература

1. Викторов А.С. 2006. Основные проблемы математической морфологии ландшафта. – М.: Наука, 2006. – 252 с.
2. Елкин В.А. Региональная оценка карстовой опасности и риска (на примере Республики Татарстан): автореф. дис. ... канд. геол.-мин. наук. – М.: ИГЭ РАН, 2004. – 24 с.
3. Оценка и управление природными рисками. Тематический том / Под ред. А.Л. Рагозина. – М.: Изд. фирма «КРУК», 2003. – 320 с.

## **ПРИМЕНЕНИЕ ТЕОРИИ ПОДОБИЯ ДЛЯ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ЛУННЫХ ГРУНТОВ-АНАЛОГОВ**

**Е.В. Гладкова, В.А. Королев**

Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, 119991, г. Москва,  
ул. Ленинские Горы, 1. E-mail: Gladkovajane@mail.ru, korolev@geol.msu.ru

Актуальным и перспективным, но наименее разработанным направлением современной инженерной геологии является инженерная геология небесных тел. В настоящее время в данной сфере возникают новые практические запросы, связанные с необходимостью комплексного изучения поверхностных отложений небесных тел земной группы (Марса, Венеры) и спутников планет (Луны, Фобоса и Деймоса). Они обусловлены разработкой будущих пилотируемых полетов на Марс, а также возобновлением интереса к полетам на Луну в целях их исследования и освоения, а также последующего строительства научных станций и возможной добычи полезных ископаемых. В связи с глобальной проблемой не возобновляемых природных ресурсов на Земле разрабатываются проекты использования энергетических ресурсов околоземного пространства, в частности, проект использования Луны в будущей энергетике (добыча гелия для термоядерного синтеза [1]).

Для надежной посадки космических аппаратов на лунную поверхность необходимы сведения о составе, строении, состоянии и инженерно-геологических особенностях поверхностного слоя лунного грунта – реголита. Для этих целей необходимо создание комплексной инженерно-геологической модели лунного грунта с физическим и математическим моделированием лунных процессов на Земле.

Создание моделей с применением образцов лунного грунта является трудно реализуемым в силу ограниченных запасов лунного грунта для земных исследований. Поэтому возникает необходимость замены реального лунного грунта грунтами-аналогами, изготовленными на основе земных природных и искусственных материалов. Очевидно, что эти материалы по своим свойствам должны быть максимально подобны лунным грунтам, прежде всего по физическим и физико-механическим свойствам.

Так как реголиты из разных районов Луны отличаются друг от друга по зернистости и однородности, необходимо выбрать для моделирования все наиболее часто встречаемые варианты их гранулометрического состава. Так, наиболее оптимальным является разделение видов лунного грунта на пылеватый, среднезернистый и грубозернистый реголит. Таким образом, можно учесть несколько видов поверхностных отложений для выбора посадки космических аппаратов на лунную поверхность.

Для решения этой задачи нами применена теория подобия. В основе методологии физического инженерно-геологического моделирования лежит

метод аналогий, а основополагающей в этом методе является теория геологического подобия [6]. На начальном этапе моделирования производится анализ размерности, в котором принимают участие все параметры состава, строения и свойств грунтов. Они представляют собой определяющие размерные и безразмерные количественные показатели, получаемые для моделей лунных грунтов по итогам лабораторных испытаний. Размерными величинами для исследуемых моделей грунтов будут являться плотности, модули деформации, сцепление и другие, а безразмерными – характеристики, представляющие собой отношения величин с одинаковой размерностью.

Применение теории подобия для случая инженерно-геологического моделирования лунных грунтов можно показать, используя параметры механической системы. Основными параметрами в этом случае будут являться следующие характеристики грунтов: плотность ( $\rho$ ), модуль упругости ( $E$ ), сцепление ( $c$ ) и коэффициент Пуассона ( $\mu$ ). Также необходимо учесть параметры, характеризующие внешние воздействия: поверхностные силы, нагрузки ( $P$ ), объемные силы, определяемые через ускорение свободного падения ( $g$ ), линейные размеры объекта ( $L$ ), и напряжения в грунтах [3]. Они будут являться определяющими независимыми параметрами и согласно теории размерности, их можно записать в виде:

$$\begin{aligned} [\rho] &= ML^{-3} \\ [g] &= LT^{-2} \\ [E, c] &= ML^{-1}T^{-2} \\ [\mu] &= \text{безразмерная} \\ [P] &= MLT^{-2} \\ [L] &= L, \end{aligned}$$

где  $L$ ,  $M$ ,  $T$  – символы величин длины, массы и времени соответственно по системе СИ.

Безразмерный параметр будет являться тривиальным критерием подобия. Согласно теории размерностей из рассмотренных определяющих параметров, можно получить два основных нетривиальных критерия подобия:  $\frac{P}{EL^2}$  и  $\frac{E}{\rho g L}$ . Путем их преобразования получаем определяющий нетривиальный критерий подобия:

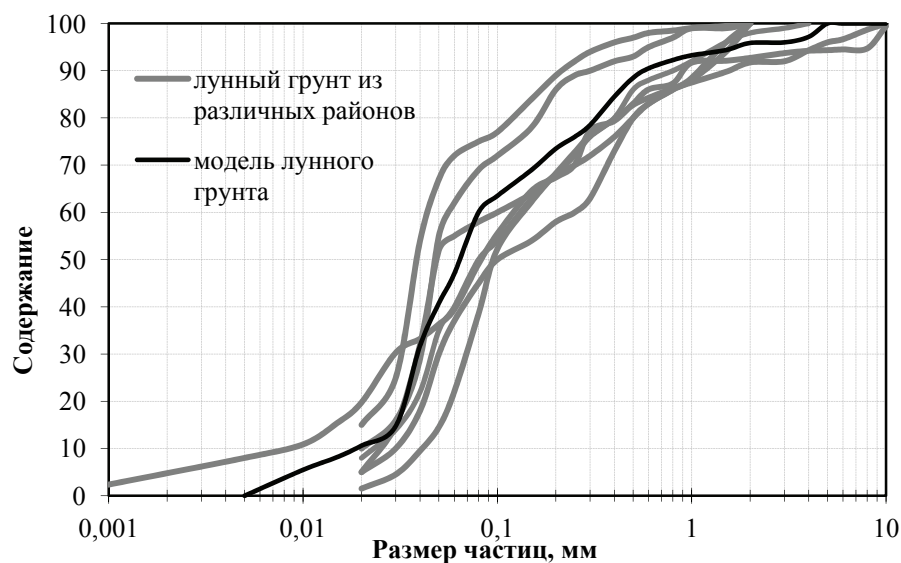
$$K = \frac{N_o}{\rho_o g L} = \frac{N_m}{\rho_m g l},$$

где  $N_o$  и  $N_m$  – некоторые параметры лунного грунта и модели, имеющие размерность напряжения (сцепление грунта, компрессионный модуль деформации и пр.).

Определяющим фактором для составления критериев подобия модели и реального лунного грунта является гранулометрический состав, который оказывает влияние на все физические и физико-механические свойства.

На начальном этапе производится расчет требуемого гранулометрического состава будущей модели. Для этого производится анализ литературных данных и на его основании строятся интегральные кривые гранулометрического состава реголита определенной крупности, например, пылеватого. Не-

смотря на различия в дисперсности пылеватых грунтов для различных районов Луны (моря, области кратеров, валы, горы и т.п.), значения содержания различных фракций укладываются в один диапазон. В результате, для полученного диапазона можно рассчитать гранулометрический состав модели пылеватого лунного грунта-аналога путем построения усредняющей линии тренда для интегральных кривых лунных грунтов из различных районов Луны (рис. 1).



**Рис. 1. Пример интегральной кривой полученной модели в диапазоне гранулометрического состава пылеватого лунного грунта**

Исходя из этого для получения необходимой модели вначале подбирается смесь земных грунтов и искусственных материалов, подобная или схожая по гранулометрическому составу с лунным грунтом.

Для создания грунта-аналога рассчитанного гранулометрического состава из исходных материалов используется метод предельных кривых. В данном методе гранулометрический состав требуемой смеси подбирается на основе анализа соотношения интегральных кривых гранулометрического состава смешиваемых грунтов.

Суть метода состоит в том, что из двух исходных грунтов с известными интегральными кривыми гранулометрического состава, можно составить смесь, гранулометрический состав которой будет заключен между двумя предельными кривыми [4,5].

В качестве ингредиентов смеси могут быть использованы как искусственные, так и природные материалы, моделирующие гранулометрический состав грунтов, такие как: вулканогенные андезит-базальтовые пески, щебень

и дресва земных магматических пород (андезитов, туфов и пр.), а также техногенные золы и шлаки.

Далее производится расчет соотношения различных фракций смешиваемых грунтов, в результате которого удастся определить искомые части компонентов грунтов-аналогов. Если из двух исходных грунтов не удастся подобрать требуемый гранулометрический состав, то необходимо применить последовательное введение дополнительных добавок, проводя аналогичный расчет. Также возможно введение в смесь недостающих фракций искусственно подготовленных материалов.

После подбора и приготовления смеси изучаются ее физические и физико-механические свойства. Оценка подобия полученного грунта-аналога и лунного грунта производится на основе статистического анализа данных и подсчета вышеуказанных критериев подобия. В основе обоснования лежит метод аналогий – метод исследования и прогноза с помощью аналогов. Критерии подобия выбираются по результатам анализа размерности, проводимого на начальном этапе моделирования. Увеличивая число коэффициентов подобия, можно существенно повысить достоверность модели. Поэтому необходимо получить наибольшее количество всех возможных критериев физического и физико-механического подобия исследуемых грунтов.

Обоснование сходства производится по количественным оценкам: если физические модели подобны друг другу, то, согласно прямой теореме подобия, их одноименные критерии подобия имеют одинаковую величину [6].

По результатам исследований, проведенных на кафедре инженерной и экологической геологии МГУ в 2012-2015 гг., по описанной выше методике было создано несколько различных моделей лунных грунтов [2,4-5]. Сравнительный анализ полученных результатов лабораторных испытаний показал наличие хорошей сходимости модельных данных с реальными лунными грунтами, что позволяет рекомендовать данные грунты-аналоги для наземных стендовых испытаний.

Использование метода аналогий и теории подобия для физического моделирования грунтов Луны и планет земной группы дает возможность получить верифицированные и практически ориентированные результаты, которые могут быть использованы для расчетов и отработки безопасной посадки космических аппаратов, а также передвижения по поверхности небесных тел и строительства различных долговременных сооружений.

#### Литература

1. *Галимов Э.М.* Состояние и перспективы исследования Луны и планет // Вестник российской академии наук, том 74, №12, 2004, с. 1059-1068.
2. *Гладкова Е.В.* Создание инженерно-геологической модели лунного грунта // Сборник статей по итогам всероссийской научно-практической студенческой конференции "Современные исследования в геологии". С.-Пб.: СНО Санкт-Петербург, 2015. С. 192-194.
3. *Калинин Э.В.* Инженерно-геологические расчеты и моделирование: учебник. – М.: Изд-во МГУ, 2006, 256 с.

4. *Королёв В.А., Кугубаев А.А., Гладкова Е.В.* К методике создания инженерно-геологических моделей грунтов Луны и планет // Перспективы развития инженерных изысканий в строительстве в Российской Федерации. Мат-лы 8-й общероссийской конференции изыскательских организаций 13-14 декабря 2012 г. ООО Геомаркетинг г. Москва, 2012. С. 25-27.

5. *Кугубаев А.А., Королёв В.А.* К вопросу об обосновании инженерно-геологических моделей лунных грунтов // Сергеевские чтения / Мат-лы годичной сессии Научного совета РАН "Устойчивое развитие: задачи геоэкологии", 21-22 марта 2013 г. Вып. 15. Т. 15. РУДН г. Москва, 2013. С. 61-65

6. *Розовский Л.Б.* Введение в теорию геологического подобия и моделирования (применение природных аналогов и количественных критериев подобия в геологии). М.: Недра, 1969, с. 127

## К ВОПРОСУ О СОДЕРЖАНИИ ЭКОЛОГО-ГЕОЛОГИЧЕСКОГО КАРТОГРАФИРОВАНИЯ

**Г.А. Голодковская, М.Б. Куринов**

МГУ им М.В. Ломоносова, г. Москва. E-mail: kurinovmsu@mail.ru

Эколого-геологическое картографирование является специальным методом экологической геологии, находящимся на стадии разработки. Отдельные исследования, предложения [2,8,9] по этому вопросу выявили неоднозначный подход к проблеме среди специалистов, реализующих экологический подход в геологии. Особенности проведения эколого-геологического картографирования, в различных эколого-геологических обстановках, безусловно, требует широкого обсуждения, закрепления наиболее обоснованных методических разработок нормативными документами. Наиболее спорными моментами, в настоящее время, по нашему мнению, являются:

- достоверность прямых оценок связи состояния «биотического компонента экосистемы» с особенностями строения, состава и состояния геологического компонента природной среды;
- технические, картографические приёмы, отображающие эти связи.

Легковесность подобных «прямых» оценок привела к появлению целой группы карт, которые, по мнению их авторов, являются «истинно» эколого-геологическими. К таким, например, следует отнести целую группу эколого-ресурсных, эколого-геодинамических, эколого-геохимических, эколого-геофизических карт [8,9] точность и информативность которых, ниже исходных, используемых при этом построении. Интегральная же оценка критериев "Норма", "Риск", "Кризис" неудачна, т.к. даже сами используемые термины вносят путаницу в общепринятые представления о "риске", который может присутствовать во всех трех предлагаемых классах эколого-геологического состояния литосферы. Крупным недостатком легенд, предложенных в качестве эталонных, является фактически отсутствие литогенной основы. Например, в инженерной геологии объемный элемент литосферы выделяется на



основе сочетания факторов, уже ставших классическими, характеризующих инженерно-геологические условия.

Отмеченные выше и иные недостатки, предложенных в качестве “эталонов” легенд эколого-геологических карт, как нам видится, связаны с нерешенными авторами теоретико-методологическими проблемами. Создавшееся положение, по нашему мнению, обусловлено непониманием принципа взаимосвязанного развития экологического, природоохранного направления в геологии, у истоков которого был Е.М. Сергеев.

Небесполезно вспомнить, что развитие нового направления в инженерной геологии – “рациональное использование и охрана геологической среды”, опиралось на комплексные многолетние исследования, проводимые в различных регионах СССР при достаточном, для проведения подобных работ, финансировании. Это и позволило к концу 80-х годов разработать теоретико-методологические основы заявленного направления [1]. Конечно, дальнейшее развитие теоретико-методологических оснований этого направления, на базе новых концептуальных тезисов о взаимоотношении природы и общества не могли не вызвать существенных трансформаций в заявленном направлении. Не вдаваясь, из-за краткости сообщения в полемику, детальный анализ теоретико-методологической эволюции природоохранного направления изложен в работе [6], следует заметить, что многие подходы, обоснованные практикой, в инженерной геоэкологии не потеряли своё значение и в настоящее время.

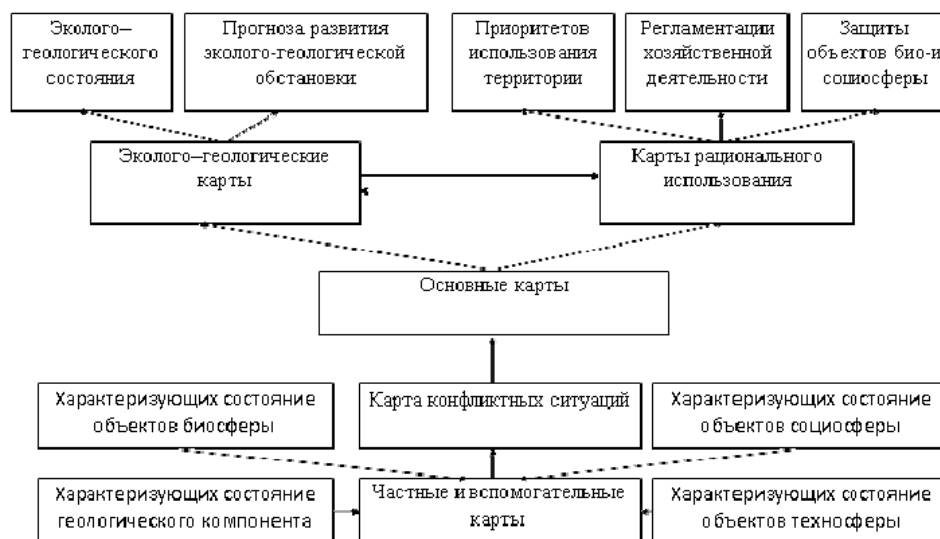
Практика показала, обоснованность и возможность использования базовых положений специальной картографической модели геологической среды [1] при эколого-геологических исследованиях. Картографирование в инженерной геоэкологии рассматривалось как основной метод, используемый при построении модели геологической среды. Конечно, эколого-геологическое картографирование имеет новое качественное отличие уже в связи с переориентацией исследований на особый объект экологической геологии – эколого-геологическую систему [5]. Известно, что в процессе исследований эколого-геологических систем цепочки причинно-следственных прямых и обратных связей (воздействие→геологический компонент природной среды→экологическая мишень) позволяют образовать широкий спектр картографических моделей.

Но, тем не менее, общая структура картографической модели остается практически прежней – это иерархически построенная лестница, в основании которой расположены компонентные аналитические карты, построенные на принципах карт-фактов, а вершина – сводные синтетические карты высокого уровня логического обобщения информации.

Таким образом, целью эколого-геологического картографирования является создание графических моделей, которые адекватно отражали бы пространственно-временные закономерности изменчивости эколого-геологической обстановки и могли бы быть использованы для решения следующих задач:

- 1) обоснования предельно допустимых нагрузок на окружающую природную среду;
- 2) прогнозирования эколого-геологической ситуации в связи с изменением природных условий и инженерно-хозяйственной деятельностью;
- 3) организации эколого-геологического мониторинга и обоснования управляющих решений;
- 4) выбора концепции экономического развития и экологической политики в регионе.

Эколого-геологическое картографирование состоит из ряда последовательных операций по формализации многоплановой информации о природной, социально-экономической, технической ситуации той или иной территории. Состав эколого-геологической картографической модели к настоящему времени является общепринятым [1,2,3,8,9] и дискуссии вызвать не может (Рис.1). Гораздо более интересным является вопрос о содержании базовых карт эколого-геологического картографирования.



**Рис. Общая структура эколого-геологической картографической модели**

В качестве первой, отображающей литогенную основу, может выступать карта типов строения геологической среды [1]. Неоднократно, эта карта с успехом использовалась как литогенная основа инженерно-геологических, геоэкологических, эколого-геологических, карт природных опасностей и карт оценки риска. Например, выполненные М. Егорычевой карты районирования территории г. Москвы для наземного и подземного строительства; или составленная автором, совместно с Г.А. Голодковской, карта типов строения геологической среды территории республики Татарстан.

Согласно разработанной легенде на карте выделяются, в качестве основных территориальных элементов, характерные типы строения геологической среды. Границы и внутреннее строение картируемых типов определяются их стратиграфо-генетическими, фаціальными и литологическими особенностями, инженерно-геологическими свойствами, детальность показа которых определяется выбранным масштабам картографирования. Каждый выделенный тип строения геологической среды характеризуется своим формализованным разрезом, на котором отражаются основные характерные элементы строения и закономерности, мощности отдельных страто-литогенетических комплексов пород. В зависимости от особенностей геологического строения геоморфологических и гидрогеологических условий в каждом выделенном пространственном элементе – типе строения геологической среды, выделяют более мелкие типологические единицы, в пределах которых геодинамическое состояние геологической среды имеет свои индивидуальные особенности. Принятое принципиальное выделение на территории исследований основных типов строения геологической среды позволяет фактически выделить участки развития парагенетически связанных и обусловленных особенностями строения геологической среды природных и техногенных процессов. Таким образом, на основании типологического районирования оказывается возможным отразить наиболее общие тенденции развития геологической среды под влиянием комплекса природных и техногенных факторов выделить территории наиболее уязвимые с точки зрения техногенного воздействия

Второй базовой картой эколого-геологического картографирования является карта источников воздействия на геологический компонент природной среды как природного, так и техногенного генезиса. Этот тип карт отражает цепочки связи воздействия и изменения состава, строения и состояния геологического компонента природной среды. Строится подобная карта на основе карты типов строения геологической среды, что существенно отличает её от карт функционального использования территории. Апробация методики построения подобных карт была выполнена для территорий Москвы и Московской области [1], г. Иваново [4], Березовского промышленного района Канско-Ачинского бурогоугольного бассейна [2]. Основу легенды этой карты составляют сведения о видах хозяйственного освоения территории, с указанием конкретных предприятий, или хозяйственных комплексов. В легенде дается детальная характеристика технических факторов, воздействующих на окружающую среду: утечки из водонесущих коммуникаций, перехват поверхностного и подземного стока, сведения о водоотборе, данные об изменении природного рельефа и т.п.; приводятся также сведения о имевших место природных и техногенных катастрофах. Наличие этих двух карт закладывает основы проведения функционального анализа позволяющего выделить эколого-геологические системы и провести их декомпозицию. Выделение эколого-геологических систем как единиц картографирования может носить характер матрицы – сочетания признаков используемых при составлении карты типизации геологической среды и карты источников воздействия. На такой

основе были, составлены эколого-геологические карты городов – г. Москвы, и г. Иваново [4].

Экологическая характеристика, на картах оценки эколого-геологического состояния, может выполняться как на основе традиционных карт характеризующих развитие экзогенных геологических процессов, загрязнения почв, грунтов, подземных вод, так и карт характеризующих прямые изменения в био,- социо,- технических структурах. Такие оценки могут выполняться как на основе расчетов прямых и опосредованных потерь чисто экономических, так и экосистемных, например, характеристика снижения биоразнообразия, залесенности и.т.п. Построенная авторами эколого-геологическая карта г. Москвы [4] содержала оценку экологического состояния на основании двух критериев геодинамического состояния и геохимического загрязнения почв и грунтов. Для оценки эколого-геологического состояния использовалось пять градаций: благоприятное, допустимое, требующее мер рекультивации и санации, требующее отселения. Содержание картографических моделей, в которых учитывался бы весь комплекс факторов, к настоящему моменту, практически не разработано.

Прогнозные эколого-геологические карты могут составляться в двух модификациях: либо как карты частных прогнозов, например, подтопления, загрязнения грунтовых вод и др., либо как карты комплексного прогноза изменения эколого-геологической обстановки. Экологические оценки для этих карт могут выполняться на основе традиционных методов моделирования широко развитых, например, в гидрогеологии. Легенды таких карт обычно строятся по принципу матрицы, колонки которой содержат сведения об объекте прогноза (эколого-геологическая система или другая единица типизации), строчки – о техногенном воздействии на нее, а на полях пересечений – ожидаемая реакция. Прогнозные карты, легенды которых, построены по принципу матриц, хорошо известны в инженерно-геологическом и ландшафтно-индикационном картографировании. Карты прогноза изменения эколого-геологической обстановки могут быть построены также и на методиках оценки риска. Известно, что методика построения карт оценки геологического риска стандартизирована и закреплена нормативным документом регионального уровня [7].

Карты эколого-геологического районирования могут составляться при использовании традиционных подходов и макетах карт, разработанных в региональной инженерной геологии [10] и региональном ландшафтоведении.

Опыт составления итоговых – карт рационального использования территории, регламентации хозяйственной деятельности небольшой. Авторами, ранее, была составлена карта – регламентации хозяйственной деятельности на территории Березовского промышленного узла [2], в основу которой положены пределы возможного использования природного ресурса. Эти пределы были отображены на предварительно составленной карте качества природной среды территории. Оценка качества производилась на основании существующих нормативных документов.

Последняя Всероссийская научно-практическая конференция по геоэкологическому картографированию [2], была проведена в 1998 г. К настоящему времени накопился значительный фактический материал по эколого-геологическому и геоэкологическому картографированию, который было бы весьма полезно обсудить и наметить пути дальнейшего развития.

#### Литература

1. *Голодковская Г.А., Елисеев Ю.Б.* Геологическая среда промышленных регионов. М.: Недра, 1989. 220 с.
2. *Голодковская Г.А., Куринов М.Б.* Геоэкологическое картографирование: методологические основы, подходы, опыт реализации. Геоэкологическое картографирование. Тез. докладов Всероссийской научно-практической конференции. Ч. 1. М.: ВСЕГИНГЕО, 1998.
3. *Голодковская Г.А., Куринов М.Б.* Методология эколого-геологического картографирования // Новые типы инженерно-геологических и эколого-геологических карт. Труды Международной научной конференции 29-30 мая 2001. М.: МГУ, 2001. С.19-20.
4. *Голодковская Г.А., Куринов М.Б.* К методике составления эколого-геологических карт городов // Новые типы инженерно-геологических и эколого-геологических карт. Труды Международной научной конференции 29-30 мая 2001. М.: МГУ, 2001. С. 128-130.
5. *Куринов М.Б.* Эколого-геологическая система как важнейший объект исследования экологической геологии // Ежегодная науч. конф. "Ломоносовские чтения". М.: МГУ, 1995. С. 29.
6. *Куринов М.Б.* Теоретическое наследие Е.М.Сергеева и экологическая геология Сергеевские чтения. Выпуск 2 /Материалы годичной сессии Научного совета РАН по проблемам геоэкологии, инженерной геологии и гидрогеологии. М.: ГЕОС, 2000. С. 278-282.
7. *Рекомендации по оценке геологического риска на территории г. Москвы* / Под редакцией д. г.-м. н. А.Л. Рагозина // Москомархитектура, ГУ Го ЧС г. Москвы. М.: Изд-во ГУП НИИАЦ, 2002. 49 с.
8. *Трофимов В.Т., Зилинг Д. Г., Барабошкина Т. А., Харькина М..А.* Эколого-геологические карты. Санкт-Петербург, 2002. 129 с.
9. *Трофимов В.Т., Зилинг Д.Г.* Проблемы теории и методологии эколого-геологического картографирования // Новые типы инженерно-геологических и эколого-геологических карт. Труды Международной научной конференции. М.: МГУ, 2001. С. 16-18.
10. *Инженерно-геологические карты: учебное пособие* / В.Т. Трофимов, Н.С. Красилова. М.: КДУ, 2007. 384 с.

### О ФУНКЦИОНИРОВАНИИ СИСТЕМЫ «СУША – ОКЕАН» КАК ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ПРОБЛЕМЕ

С.П. Горшков

Университет «Дубна», М.О., Дубна, Университетская, 19. E-mail: spgor-smir@yandex.ru.

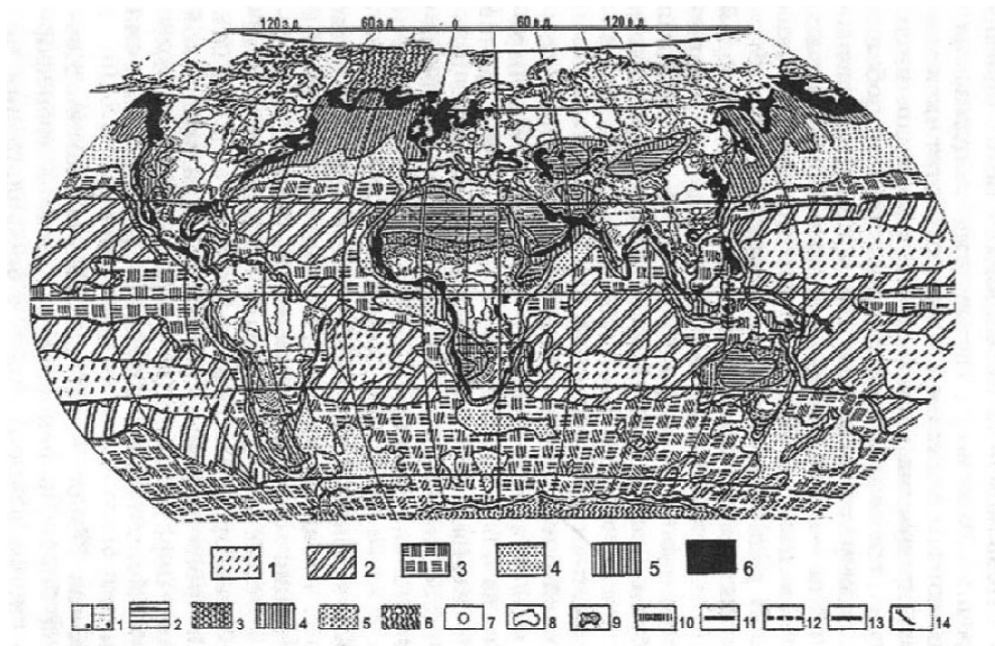
Функциональные особенности биосферы запечатлены в ее двучленном каркасе – мегасистеме: материковые поднятия – океанические впадины. Главными функциональными составляющими гомеостатического механизма, мегасистемы, а, следовательно, всей биосферы служат бассейново-речная

суша и периконтинентальное продукционно-биофильтрационное окаймление мирового океана (рис. 1). Упомянутая суша – это область, где функционирование зональных и высотно-поясных сочетаний экзогенных процессов в основном трансформировано климато-биотическими факторами [2,3,4]. Современное состояние мегасистемы в основных чертах унаследовано от того, которое оно приобрело в конце протерозоя – начале фанерозоя.

В архее и раннем-среднем протерозое, т.е. с 3,8 до 0,67 млрд лет назад, океан был мутным и холодным. Явление биофильтрации отсутствовало. Развитие жизни в мировой акватории и на суше было заторможено на уровне прокариотов (бактерии и цианобионты). В позднем протерозое и начале кембрия, т.е. примерно в течение 100 млн лет произошло изменение теплофизических свойств океана. Имело место почти полное устранение тонких частиц появившимися организмами-биофильтраторами. Радикально уменьшилось альbedo океана и других водоемов. Это сделало их глубоко проницаемыми для солнечного света. Первичная продуктивность фитопланктона выросла многократно. Одновременно произошла великая скелетная революция. Океан стал главной тепловой машиной Земли и произошла великая скелетная революция [1]. Все это в разы раздвинуло границы биосферы и уже в палеозое или ненамного раньше привело к формированию сложного механизма ее организованности.

Одним из важнейших его проявлений служит факт аккреции материковой коры биогенно-геодинамического происхождения за счет смежных сегментов океанической коры мантийно-геодинамического генезиса. Материки – главный плацдарм жизни, а биосфера в целом – это глобальная эосистема. На материковых поднятиях сосредоточено 98% биомассы Земли. Им свойственно биоразнообразию, исчисляемое десятками миллионов видов, с чем не идет не в какое сравнение численность видов Мирового океана. Тем не менее именно простейшие представители фито- и зоопланктона на протяжении конца протерозоя и всего фанерозоя выполняют важнейшую функцию поддержания в оптимальном состоянии главной тепловой машины Земли. Отсюда и ныне максимальная концентрация продуктивного фитопланктона и зоопланктона-биофильтраторов свойственна периконтинентальной зоне Мирового океана [5]. В этом нельзя не увидеть отклик на поток питательных веществ с суши в упомянутую зону океанов, главным образом, с речном стоком. Это сигнал прямой связи между экосистемами суши и экосистемами океанов. Обратная связь – это осадки, приносимые с океанов в условиях широкого распространения морских теплых течений из низких широт в высокие, т.е. адвекция океанического тепла и влаги на сушу, большей частью в пределы ее бассейново-речной составляющей. Специфика перераспределения тепла и влаги на Земле в наибольшей степени зависит от состояния биокосного механизма океана. Об этом свидетельствует сравнение главных цифр водного баланса Земли с масштабами динамики морских течений. На подстилающую поверхность выпадает осадков  $577000 \text{ км}^3$ . С океана испаряется  $504000 \text{ км}^3/\text{год}$ , с суши –  $73000$ . А тепло-влажноперенос морскими течениями оценивается еще более гигантскими цифрами. В целом – в  $21000000 \text{ км}^3/\text{год}$ .

Цифра реальна, ибо, например, течение Куроиси переносит 1400000, Гольф-стрим – 900000, Калифорнийское 500000 км<sup>3</sup>/год и т.п. [2].



**Рис. 1. Модель организованности биосферы.**

**Авторы А.П. Лисицин (океан) и С.П. Горшков (суша):**

ОКЕАН: Верхний ряд условных знаков.

Биомасса счетного фильтратора-зоопланктона в слое 0-100 м (мг/м<sup>3</sup>):

1 – меньше 25; 2 – 25-50; 3 – 50-100; 4 – 100-200; 5 – 200-500; 6 – более 500.

СУША: Нижний ряд условных знаков. Территориальные системы: 1 – бассейново-речные (трансформированные биотой: а – полноценные; б – ослабленные мерзлотными процессами); 2 – пустынно-эоловые (слабо трансформированные биотой); 3-5 – переходного типа между бассейново-речными и пустынно-эоловыми системами, в том числе – 3 – подвергающиеся сильному антропогенному опустыниванию; 4 – затронутые антропогенным опустыниванием; 5 – заменившие бассейново-речные системы в результате антропогенного опустынивания;

6 – гляциально-нивальные (практически не трансформированные биотой); 7 – урбано-промышленно-транспортные узлы. Б – Аквальные системы: 8 – озера с естественным уровнем воды; 9 – озера с измененным уровнем воды под воздействием антропогенных факторов.

В – граница между системами суши и океана (берега): 10 – аккумулятивные; 11 – абразионные; 12 – абразионно-аккумулятивные; 13 – относительно стабильные.

Прочие знаки: 14 – граница криолитозоны [2]

Ныне космические условия функционирования биосферы – благоприятные. Так, с середины XIX в. после интервала минимума Маундера наступило время, сходное с потеплением викингов. Однако в этих условиях стихийное развитие цивилизации выступает как мощный дестабилизирующий фактор, в том числе по отношению к механизму мегасистемы: материковые поднятия – океанические впадины. Леса планеты, сосредоточенные в основном в пределах бассейново-речной суши, сведены на более половины их былой площади. Речные системы, особенно в развитых странах испещрены каскадами плотин ГЭС. Более 10% речного стока безвозвратно для рек расходуется на ирригацию. Имеющее место снижение речного стока и потока биогенных веществ с ним в Мировой океан сопровождается притоком поллютантов в мировую акваторию. Правда, во Франции, Германии, Нидерландах и ряде других стран ведутся работы по восстановлению природной структуры речных систем, там, где возможно [6]. С позиций необходимости защиты механизма глобального тепловлагообмена океан-суша экологически противоестественными выглядят проекты некоторых стран по использованию речного стока для ирригации, сравнимые с величинами стока великих рек. Защита гомеостатического механизма биосферы, рычагами которого служат бассейново-речная суша и продукционно-биофильтрационное периконтинентальное окаймление океана – это, несомненно, междисциплинарная естественнонаучная проблема, т.е. проблема геоэкологии.

#### Литература

1. Барсков И.С. Палеонтология и экология // Наука о Земле: геоэкология. Учебное пособие. 2-е издание переработанное. М.: КДУ, 2010, с. 362-378.
2. Гориков С.П. Организованность биосферы и устойчивое развитие // Жизнь Земли. Вып. 37. М., Изд-во Московского Университета, 2015, с. 62-84.
3. Дедков А.П., Можжерин В.И., Ступишин А.В. и др. Климатическая геоморфология денудационных равнин. Казань: Изд-во Казанского Университета, 1977, 224 с.
4. Кайе А., Трикар Ж. Проблема классификации геоморфологических явлений. М.: Изд-во иностранной литературы, 1959, с. 32-66.
5. Лисицин А.П. Потоки осадочного вещества и загрязнений в Мировом океане и методы лобального мониторинга // Стокгольм, Рио, Йоханнесбург: вехи кризиса. М.: Наука, 2004, с. 133-193.
6. Сборник избранных докладов IV Международной конференции Европейского центра восстановления рек. Екатеринбург: ФГУП РосНИИВХ, 2011, 608 с.



## **ЗАКОМЕРНОСТИ ТИПИЗАЦИИ ГЕОДИНАМИЧЕСКИХ СИСТЕМ СЕРГИЕВО-ПОСАДСКОГО ОПОРНОГО УЧАСТКА И ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЕГО СТРУКТУРНОЙ ПОЗИЦИИ**

**С.В. Григорьева**

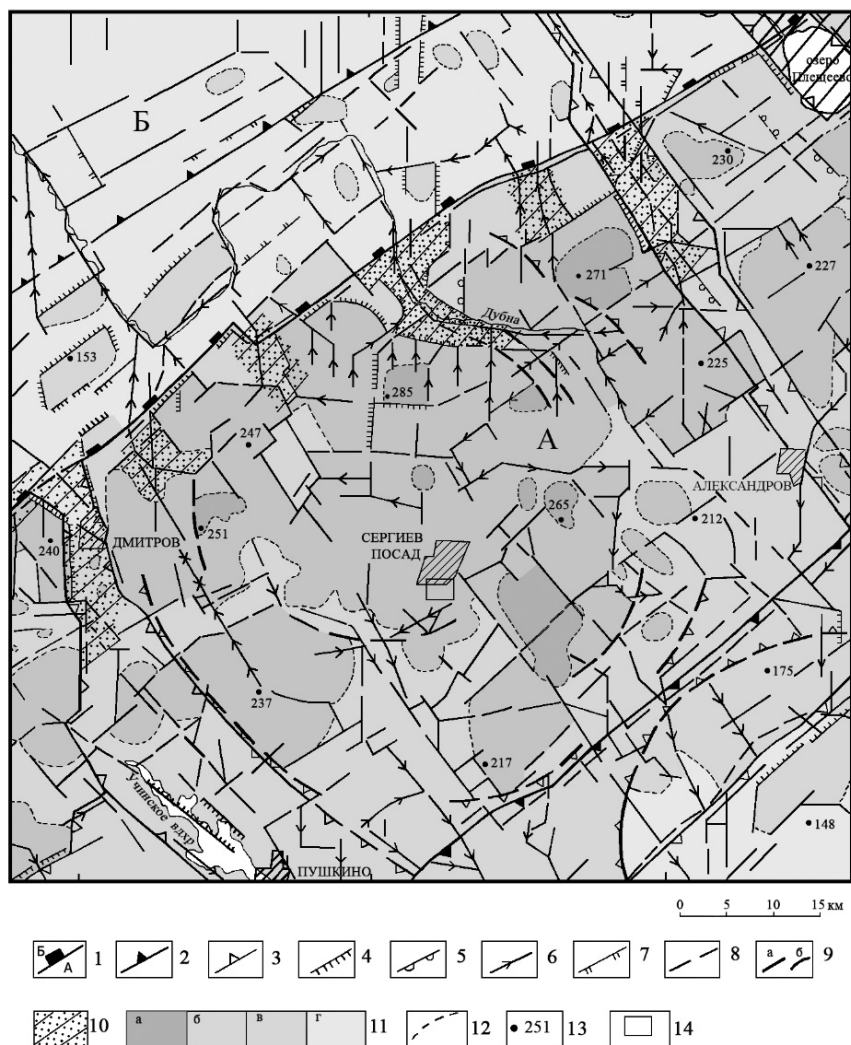
Институт геоэкологии им Е.М. Сергеева РАН, 101000, Москва, Уланский пер., д. 13, стр. 2.  
E-mail: v\_vel@mail.ru

Одним из основных методов оценки геоэкологического состояния осваиваемой территории служит специализированное структурно-геоморфологическое картирование. Наибольшие трудности возникают при выявлении новейших тектонических структур и оценке современных деформаций земной коры малых территорий (городов, отдельных промышленных объектов и пр.), для которых составляются неотектонические крупномасштабные карты. При этом авторы руководствуются основным принципиальным положением – необходим всесторонний анализ природы и возраста элементов рельефа земной поверхности всех смежных областей, выявление тех закономерностей их пространственного развития, которые могут быть обусловлены геодинамическими причинами.

Этот принцип геоэкологических исследований был использован для определения структурной позиции опорного участка Сергиева Посада, включающего полигон захоронения радиоактивных отходов предприятия МосНПО «Радон». Здесь с целью выявления характера взаимосвязи повышенной радиоактивности и геологического строения проводились детальные геолого-геофизические исследования [1].

Для выявления закономерностей пространственного размещения и типизации геодинамических систем разного ранга под руководством и непосредственном участии В.И. Бабака предварительно была составлена обзорная структурно-геоморфологическая карта района Сергиева Посада по оценке радиогеоэкологической опасности масштаба 1:500 000 (Рис.). При этом особое внимание авторы уделяли районам сгущения субпараллельных структурных линий (линеаментов), подчеркивающих аномалии геологического строения, фиксирующих геологические нарушения, местоположение зон повышенной проницаемости горных пород, интенсивного радоновыделения и др. При составлении карты учитывались результаты ранее проведенных региональных и среднемасштабных исследований [2-5].

Карта структурно-геоморфологического районирования охватывает территорию, расположенную в южной части Московской синеклизы. В пределах рассматриваемого региона главными формами тектогенного рельефа являются геоблоки первого ранга – Верхне-Волжская низина (Б) и Клинско-Дмитровская гряда (А), в центральной части которой расположен Сергиево-Посадский опорный участок исследований.



**Рис. Структурно-геоморфологическая карта**

**опорного участка Сергиево Посада Московской области:**

Условные обозначения: 1-3 – границы главных форм тектогенного рельефа: 1 – геоблоков первого ранга – Клиско-Дмитровская гряда (А), Верхне-Волжская низина (Б); 2 – геоблоков второго порядка – гипсометрических ступеней внутри возвышенностей и низин; 3 – элементарных форм рельефа; 4-9 – спрямленные, закономерно ориентированные частные формы рельефа: 4 – протяженные линейные подножья, уступы и перегибы склонов; 5 – бровки уплощенных междуречий; 6 – русла рек, тальвеги долин, балок; 7 – ограничения болотистых низин и озерных котловин; 8 – структурные линии (линеаменты); 9 – внешние контуры кольцевых образований (а) и элементы их внутренней структуры (б); 10 – зоны повышенной геодинамической активности; 11 – обобщенная гипсометрическая характеристика тектогенных форм рельефа, отражающая амплитуды относительных деформаций земной поверхности: абсолютные отметки рельефа (м) – > 250 (а), 200-250 (б), 150-200 (в), <150 (г); 12 – морфоизогипсы (обобщенные горизонтали рельефа); 13 – абсолютные отметки земной поверхности; 14 – территория опорного участка в районе города Сергиев Посад

Границы главных форм тектогенного рельефа соответствуют зонам сгущения однонаправленных субпараллельных линеаментов. Выделенные зоны линеаментов являются, во-первых, структурообразующими, поскольку определяют границы геоблоков с разным режимом, направленностью и суммарными амплитудами новейших тектонических движений. Во-вторых, эти зоны сгущения линеаментов активны на современном этапе развития и сопровождаются аномальными явлениями, что говорит о постоянном или периодическом возобновлении проницаемости зон в результате разрядки тектонических нарушений.

Внутри Клиско-Дмитровской возвышенности и Верхне-Волжской низины выделены новейшие тектонические структуры более высокого порядка – гипсометрические ступени (геоблоки второго порядка) и элементарные тектогенные формы рельефа, границы которых выражены в рельефе достаточно отчетливо. Кроме того, по результатам комплексного дешифрирования топографических карт, аэрофото- и космоснимков. на карте отражены спрямленные, закономерно ориентированные частные формы рельефа (структурные линии). Это протяженные линейные подножья, уступы и перегибы склонов, бровки уплощенных междуречий, русла рек, тальвеги долин, балок, ограничения болотистых низин и озерных котловин, нечеткие продолжения линеаментов, внешние контуры кольцевых образований и элементы их внутренней структуры, проявленные однотипными изменениями морфологии земной поверхности (ориентировки граней, ребер, перегибов склонов и других элементарных форм рельефа и прослежены с помощью методических приемов, разработанных И.Н.Федонкиной [3].

На участках сочленения контрастных форм тектогенного рельефа на структурно-геоморфологической карте показаны узлы пересечения линеаментов разных простираний, которые представлены в качестве динамически неустойчивых зон (зон повышенной геодинамической активности) с возможной активизацией нежелательных экзогенных геологических и инженерно-геологических процессов, обусловленных их структурной позицией, особенно при нарастании техногенного воздействия.

Представленная на карте обобщенная гипсометрическая характеристика тектогенных форм рельефа отражает суммарную направленность (амплитуды) относительных деформаций земной поверхности на плиоцен-четвертичной стадии новейшего тектонического этапа геологического развития. Наиболее возвышенные междуречья Клиско-Дмитровской гряды являются возможными реликтами денудационной поверхности выравнивания позднепалеогенового возраста. Они венчают геоблоки земной коры с устойчивой тенденцией слабых поднятий с абсолютными отметками более 250 м и от 200 до 250 м. Непосредственно на поднятиях мощность чехла четвертичных отложений составляет от 0 м до 50 м, а в погребенных долинах – до 80-100 м.

Пологие склоны возвышенностей и относительно приподнятые участки депрессий с абсолютными отметками земной поверхности 150-200 м предположительно являются реликтами сниженной поверхности выравнивания, пе-

рекрытой чехлом четвертичных отложений мощностью 50-100 м. Наиболее пониженные участки депрессии с абсолютными отметками менее 150 м, испытывающие относительные опускания, являются, видимо, реликтами ложа неогеновой аллювиально-озерной равнины. Мощность чехла четвертичных отложений местами возрастает здесь до 150 м и более.

В целом для территории Клинско-Дмитровской гряды характерна устойчивая тенденция к поднятиям разной амплитуды, а для Верхне-Волжской низины – относительные и суммарные слабые опускания. Анализ топографических карт разного масштаба выявляет четкую закономерность, а именно приуроченность к границам двух контрастных геоблоков протяженных зон сгущения субпараллельных спрямленных элементов рельефа – уступов, подножий и перегибов склонов, эрозионных врезов, границ болот, озер, участков с разной расчлененностью, гипсометрией и пр., которые рассматриваются как зоны повышенной геодинамической активности. Это районы интенсивного проявления эрозионно-денудационных и других экзогенных процессов, обусловленных их структурной позицией. Блокоразделы интерпретируются как достаточно широкие – десятки и сотни метров, первые километры (в зависимости от масштаба и глубины заложения пограничных неоструктур) – зоны проявления разнородных деформаций геологической среды над активизированными разломами фундаментов. Разрывы сплошности со смещениями горных пород геолого-съёмочными работами на рассматриваемой территории не зафиксированы.

Пространственное положение и простираие выделенных на карте новейших структур с одной стороны, и разломных ограничений выступов фундамента, с другой, – не совпадают. Уступ Клинско-Дмитровской гряды ориентирован более субширотно в восточно-северо-восточном направлении, что указывает на переработку структурного плана деформаций на новейшем этапе развития.

Клинско-Дмитровская гряда, вытянутая в северо-восточном направлении, представляет собой валообразное поднятие с абсолютными отметками поверхности в основном 200-250 м. Вал расчленен поперечными четко выраженными сгущениями линеаментов в районе г. Дмитрова и г. Александрова на отдельные геоблоки, испытывающие сдвиговые смещения относительно друг друга. Опорный участок расположен в центральной части валообразного поднятия в пределах Сергиево-Посадского геоблока, расчлененного на частные структуры сгущениями линеаментов, ориентированных в том же северо-восточном и северо-западном направлении. Зоны сгущения субпараллельных структурных линий ограничивают объемные геологические тела разного порядка, для внутренних частей которых характерен своеобразный присущий данному геоблоку структурный рисунок. Для выявления природных парагенетических ассоциаций проницаемых зон повышенной геодинамической активности и сопоставления их с результатами геофизического профилирования позже авторами была составлена крупномасштабная (1:25 000) схематическая карта их пространственного размещения и типизации. На примере Сергиево-Посадского геоблока показано, что здесь преобладают упорядочен-

ные структурные линии с определенным шагом проявления деформаций диагональных и ортогональных простираний, т.е. проявляется система планетарной трещиноватости соответствующего ранга [1].

Составление обзорной структурно-геоморфологической карты масштаба 1:500 000, а также более детальной схематической карты района масштаба 1:25 000 представляет собой компоненты многогранного, комплексного методического подхода к изучению неотектоники и современной геодинамики территории платформ, изучения причин известных или прогнозируемых негативных геологических процессов, выявления разноранговых зон повышенной геодинамической активности, повышенной проницаемости горных пород, путей возможной интенсификации газо- и флюидопроводимости и пр.

#### **Литература**

1. *Бабак В.И., Бондаренко В.М., Баринов А.С., Григорьева С.В.* Оценка геоэкологической стабильности освоенных территорий (на примере зоны наблюдений хранилища радиоактивных отходов МосНПО «Радон») // Сергеевские чтения. Вып. 6. М.: ГЕОС, 2004. С. 455-459.

2. *Бабак В.И., Григорьева С.В., Макаров В.И.* Выявление природных и природно-техногенных аномалий геологической среды и оценка ее геоэкологического состояния на основе структурно-геоморфологического анализа (на примере Скопинского района Русской плиты) // Сергеевские чтения. Вып. 8. М.: ГЕОС, 2006. С. 263-267.

3. *Гаврюшова Е.А., Лехт Э.Е., Федонкина И.Н.* Линейные тектонические структуры Подмоскovie (по результатам дешифрирования космических снимков) // Геология и полезные ископаемые Центральных районов Восточно-Европейской платформы. М.: Наука, 1986. С. 110-117.

4. *Григорьева С.В., Макаров В.И.* Крупномасштабное картографирование новейшей тектоники платформенных территорий (на примере Москвы) // Геоэкология. 2010, № 2. С. 99-114.

5. Карта геоморфолого-неотектонического районирования Нечерноземной зоны РСФСР (за исключением горной части Урала, Зауралья и Калининградской области). Гл. ред. В.И. Бабак. ГУГК. 1980, м-б 1:1 500 000.

## **КОМПЛЕКСНЫЙ ПОДХОД К РЕГИОНАЛЬНОЙ ОЦЕНКЕ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ОПАСНОСТЕЙ ТЕРРИТОРИИ РОСТОВСКОЙ ОБЛАСТИ**

**А.В. Гридневский**

Ростовский государственный строительный университет, 344000, г. Ростов-на-Дону,  
ул. Социалистическая, д. 162. E-mail: st119@ya.ru

Территориальное планирование Ростовской области охватывает период до 2030 г. и предусматривает активное жилищное строительство, реализацию инвестиционных проектов и модернизацию транспортной инфраструктуры. Для обеспечения устойчивого развития территории необходим прогноз

динамики геологической среды. Его основой является опыт мониторинга инженерно-геологических процессов и учет долговременных тенденций геодинамики обширной территории.

В Ростовском государственном строительном университете (РГСУ) в течение ряда лет ведется разработка методов контроля состояния геологической среды. С этой целью созданы базы данных параметров инженерно-геологических условий, ГИС-проекты с серией тематических карт всех крупных городов области, а также Волгодонской системы расселения и Восточно-Донбасской агломерации [1].

Накопление и анализ материалов инженерно-геологических изысканий (около 12000 скважин), данные прямого и дистанционного мониторингов позволили расширить проект до размеров всей Ростовской области. Он включает серию двадцати пяти тематических карт, выполненных в среде ArcGIS. В картографических слоях оценена интенсивность параметров, геологической среды, выполнены интегральные оценки геологической опасности и уязвимости территорий при их строительном освоении.

Геологические опасности в пределах указанной территории возникают под влиянием широкого спектра факторов и проявляются в виде овражно-балочной эрозии, переработки берегов рек и водоемов, просадочных деформаций, оползней, оседания подработанных территорий, суффозии.

Рассмотрим последовательно характеристики разработанных тематических карт.

*Рельеф* представлен в виде цифровых моделей, полученных по результатам топографической (1:50000) и радарной интерферометрической съемок. Модель рельефа использовалась для геометризации грунтовых толщ, а также исследования производных параметров: уклонов, аспектов и т.д.

Возраст, генетический тип отложений, литологический состав, площадь распространения, глубина залегания, водопроницаемость, физико-механические свойства грунтов определялись по материалам инженерно-геологических изысканий, государственным геологическим картам (L37, 38, M37, 38) и специальным картам Ростовской области.

*Карты поверхностного слоя грунтов* разработаны для характеристики взаимодействия подземных и поверхностных вод. В зависимости от состава этот слой защищает толщу от загрязнений или способствуют инфильтрационному питанию подземных вод. Для учета этого фактора разработаны три тематические карты: литологического состава, мощности и водопроницаемости поверхностного слоя.

*Карты четвертичных отложений* представляют терригенные отложения суглинков, супесей и реже глин. Среди них широко распространены просадочные лессовые грунты. Часть территории покрыта глинистыми аллювиально-морскими грунтами, сформировавшимися в период ингрессий Черного и Каспийского морей. По материалам бурения скважин построены карты мощности четвертичных отложений и кровли коренных горных пород.

*Карты мощности и водопроницаемости зоны аэрации* разработаны для оценки влияния массивов грунтов на развитие процесса подтопления.

*Карты мощности и суммарной просадки лессовых отложений* подготовлены для определения опасности вертикальных деформаций грунтовых толщ вследствие замачивания.

На основе полученных результатов построены электронные карты наиболее распространенных в Ростовской области геологических опасностей:

- плоскостной эрозии;
- просадочных деформаций;
- оползневой опасности склонов;
- опасности оседания поверхности земли подработанных территорий;
- подтопления.

С этой целью ранжировались и интегрировались тематические слои, отражающие влияние геологической среды на формирование неблагоприятных инженерно-геологических условий [2].

Значительная часть Ростовской области покрыта просадочными грунтами, поэтому важна информация о содержании влаги в грунтах и динамике этого параметра. В ранее выполненных работах [3] подготовлены *карты уровней грунтовых вод (УГВ)* для территорий Волгодонской системы расселения и Восточно-Донбасской агломерации.

Ростовской область занимает 100000 км<sup>2</sup>. Для ее характеристики необходима информация, равномерно покрывающая всю территорию и отражающая геодинамику в течение длительного времени. Для решения этой задачи привлечены материалы высокоточных гравиметрических измерений со спутников и расчетные модели, выполненные в рамках миссии Gravity Recovery and Climate Experiment (GRACE). Одним из результатов этого проекта являются данные о сезонных и многолетних изменениях динамики региональных запасов воды. Установлено, что кратковременные колебания гравитации определяются изменением водонасыщения поверхностной части грунтов.

Разработана методика оценки динамики влагосодержания грунтовых толщ и построена серия карт распределения максимального в году водонасыщения грунтов на глубине 100-200 см для периода 1976-2014 гг.

Важным для строительной деятельности является прогноз развития подтопления, порождающего ущерб при эксплуатации объектов недвижимости и подземной инфраструктуры. Анализ подтопления в городе Ростове-на-Дону в 1987-1990 гг. [4] показывает, что с подъемом УГВ на 0,5м площадь территории, охватываемой этим процессом, увеличилась втрое.

Многолетние вариации водонасыщения грунтов и УГВ следуют за циклами солнечной деятельности. В периоды максимальной активности солнца УГВ понижается с некоторым временным лагом и наоборот. С середины 18 в. наблюдаются ярко выраженные 11-летние циклы Швабе-Вольфа. Вместе с более длинными циклами (22, 100 лет) они влияют на ход земных процессов.

Материалы государственного мониторинга подземных вод Ростовской области также указывают на цикличность колебаний УГВ в территориально удаленных населенных пунктах: п.Боковский, г.Батайск, п.Заветинское, г.Ростов-на-Дону, ст.Вешенская, п.Ремонтное, п.Гигант, г.Чертково,

г. Зимовники. Изменения УГВ хорошо коррелируют с ходом 21-го солнечного цикла (1976-1986 гг.).

Указанная закономерность послужила основанием для выполнения длительных прогнозов водонасыщения поверхностной части грунтовых толщ. С этой целью привлечены данные расчетных моделей GLDAS (Global Land Data Assimilation System), разработанных в рамках проекта GRACE. В качестве моделей-аналогов привлечены данные 23-го цикла солнечной активности и оценки водонасыщенности грунтов за этот же период. За отправную точку для прогноза положения УГВ принят 2002 г. – начало снижения солнечной активности. С учетом изложенного выше, для Ростовской области разработаны карты водонасыщения поверхностной части грунтов на 2015-2023 гг. Детальность карт составляет 0,25 углового градуса. Прогнозные оценки нормируются по соотношению влагосодержания в 2002 и 2014 гг.

Полученные результаты представляют большой интерес, поскольку количественно описывают динамику водонасыщения поверхностных отложений крупного региона.

Геологическая опасность подтопления Ростовской области оценивается региональной математической моделью. Исходными данными для нее служат тематические слои (карты), созданные в ArcGIS: мощность зоны аэрации, водопроницаемость поверхностных отложений, водонасыщенность поверхностных отложений, скорости влагонакопления в поверхностном слое грунтов, глубины залегания постоянного водоупора, среднемесячное количество атмосферных осадков. Средствами ArcGIS разработанные карты ранжированы по интенсивности влияния геологических факторов на ход процесса подтопления. Опасность развития подтопления оценена итоговой картой, суммирующей указанные выше слои и отражающей кумулятивный эффект влияния всех факторов.

Использование длинного ряда параллельных наблюдений за солнечной активностью и состоянием приповерхностного слоя грунтов позволило выполнить длительный прогноз водонасыщенности поверхностных отложений. За основу приняты четыре цикла солнечной активности, наиболее сходных с современным (двадцать четвертым): 19-й – 1954-1963 гг., 21-й – 1976-1985 гг., 22-й – 1987-1996 гг., 23-й – 1997-2009 гг.

Обобщенная модель вариации водонасыщенности грунтов получена усреднением соответствующих значений в четырех отмеченных циклах. Расчеты выполнены для месяца мая, наиболее критичного по влагонакоплению в Ростовской области. Модель представляет оценку динамики водонасыщения грунтов до 2025 г. Среднеквадратические отклонения от средних значений использованы для построения карт относительного благоприятного развития подтопления и экстремального развития событий.

Несмотря на внешнюю простоту, изложенный подход системно учитывает глобальное влияние солнца на динамику геологических процессов, а также водообмен на обширной территории, сложившийся в течение многих десятилетий.



Анализ полученных результатов показывает дефицит влагосодержания грунтов в юго-восточной части Ростовской области. Даже в годы высокой водообеспеченности в этой части области грунты содержат наименьшее количество влаги. Нарастание инфильтрации воды и аккумуляция ее в грунтах наиболее активно происходит в юго-западном, северном, северо-восточном и южном районах.

Разработанные карты геологических опасностей являются основой для перспективного планирования строительства и оптимизации превентивных мер, сдерживающих развитие неблагоприятных инженерно-геологических процессов. Полученные результаты указывают на необходимость поиска новых методов извлечения геологической информации, в том числе из материалов ранее выполненных изысканий.

#### Литература

1. ГИС-технологии мониторинга опасных геологических процессов на территории Восточно-Донбасской агломерации. Проблемы и решения / Шеина С.Г., Гридневский А.В., Зильберова И.Ю., Терюкова Л.И., Шумеев В.Г., Матвейко Р.Б., Хоренков С.В., Ищенко А.В., Хамавова А.А. – Ростов н/Д: Рост. Гос. строит. ун-т, 2012. 206 с.

2. *Гридневский А.В.* Методические аспекты геоэкологического картирования территории Ростовской области // Сергеевские чтения: материалы годичной сессии Научного совета РАН по проблемам геоэкологии, инженерной геологии и гидрогеологии (21 марта 2014 г.). – М.: РУДН, 2014. – С. 243-247.

3. *Гридневский А.В.* Цифровые модели геологической среды как основа стратегического территориального планирования территорий Ростовской области // Сергеевские чтения: материалы годичной сессии Научного совета РАН по проблемам геоэкологии, инженерной геологии и гидрогеологии (22 марта 2012 г.). – М.: РУДН, 2012. – С. 90-95.

4. *Топалов Г.М., Малая М.Г.* Изучение режима подземных вод на территории Ростовской области и составление сводного отчета за 1986-1990 г.г. Сводный отчет геоэкологической партии. Ростовская ГРЭ, ГГО «Южгеология» // ФГУ ТФГИ по ЮФО. № 16697. Кн. 1. С. 198.

### МОДЕЛИРОВАНИЕ ЗАГРЯЗНЕНИЯ РАСТИТЕЛЬНОСТИ Г.ВИТЕБСК С ПОМОЩЬЮ МЕТОДА «ДЕРЕВА РЕШЕНИЙ»

**Н.В. Жуковская, О.В. Лукашѐв**

Белорусский государственный университет, пр. Независимости, 4, 220030, г. Минск,  
Республика Беларусь. E-mail: zhukousk@webmail.bsu.by

Формирование элементного состава растений происходит под влиянием большого количества одновременно действующих факторов, условно объединенных в три группы: внутренние, биохимические, определяемые биологическими особенностями конкретного вида организмов; внешние, ландшафтно-геохимические; и внутренние, кристаллохимические, определяемые свойствами ионов, входящих в состав растений [1]. Помимо отмеченных, оп-

ределенный вклад в элементный состав растений вносят и антропогенные факторы, значимость которых увеличивается при техногенном загрязнении среды обитания.

Для выяснения влияния комплекса антропогенных факторов на содержание химических элементов в листьях *Tilia cordata* Mill. г. Витебска был использован метод деревьев решений (decision trees).

*Деревья решений* – один из методов автоматического анализа данных, используемых для решения задач классификации, моделирования и прогнозирования. Цель метода деревьев решений – построить модель зависимости целевой переменной от соответствующих значений независимых переменных (предикторов, атрибутов). По типу шкалы целевой переменной деревья решений подразделяются на деревья регрессии и деревья классификации. Зависимость значения целевой переменной от значений предикторов, представлена в виде иерархической структуры – «дерева». Дерево решений состоит из узлов, называемых также вершинами, и ветвей, соединяющих узлы. Построение дерева происходит сверху вниз. Самый верхний узел, представляющий всю выборку наблюдений, называется Корнем или Корневым узлом. Каждый узел дерева содержит условие ветвления по одному из атрибутов, листья дерева – значения целевой переменной.

Метод деревьев решений, как и некоторые другие подходы Data Mining, не нашли пока широкого применения при интерпретации геохимических данных. Существуют лишь отдельные работы, иллюстрирующие возможности метода при оценке роли естественных и антропогенных факторов в варьировании содержания тяжелых металлов в листьях тополя и липы [4], Cu и Zn в почвенном покрове [8,9].

Регрессионные деревья построены алгоритмом CHAID в прикладном статистическом пакете SPSS 17.

В основу работы положены результаты химических анализов 107 проб листьев *Tilia cordata* Mill. Содержание химических элементов (Ti, V, Cr, Mn, Co, Ni, Cu, Zn, Pb) определялось эмиссионным спектральным методом по методике [3]. Предел обнаружения в золе составляет (мг/кг): Ti – 1, V – 10, Cr – 5, Mn – 10, Co – 2, Ni – 8, Cu – 1, Zn – 100, Pb – 5.

Статистические характеристики содержания химических элементов представлены в табл. 1.

Таблица 1

**Среднее содержание химических элементов  
в листьях *Tilia cordata* Mill г. Витебска, мг/кг**

| Параметр                    | A, % <sup>1</sup> | Ti   | V    | Cr                 | Mn   | Ni   | Cu   | Zn             | Pb   |
|-----------------------------|-------------------|------|------|--------------------|------|------|------|----------------|------|
| <i>Среднее</i>              | 9,4               | 71,1 | 2,3  | 2,6                | 74,4 | 1,6  | 14,2 | 19,3           | 7,2  |
| <i>Минимум</i>              | 5,96              | 9,7  | 0,47 | 1,0                | 29,5 | 0,52 | 0,99 | – <sup>2</sup> | 1,78 |
| <i>Максимум</i>             | 11,4              | 276  | 8,99 | 40,2               | 394  | 5,27 | 35,2 | 493            | 64,1 |
| <i>Местный фон</i>          | 9,5               | 62,6 | 2,10 | 1,61               | 107  | 1,34 | 13,1 | 19,3           | 3,80 |
| <i>Беларусь в целом</i> [2] | 6,5               | 14,0 | 1,1  | н. д. <sup>3</sup> | 651  | 2,6  | 9,7  | н. д.          | 1,2  |

Примечание: <sup>1</sup> – зольность, <sup>2</sup> – ниже предела чувствительности метода, <sup>3</sup> – нет данных.

По сравнению с местным геохимическим фоном листья *Tilia cordata* Mill. города имеют более высокое содержание Pb и Cr (в 1,9 и 1,6 раза соответственно). Отмечаются пониженные концентрации Mn ( $K_a = 0,69$ ). Существует предположение, что причиной обедненности городской растительности Mn является загрязнение почв прочими химическими элементами и подавление процессов биологического поглощения микроэлементов в условиях промышленного воздействия на растения [6].

Содержание Cr, Mn и Pb в листьях *Tilia cordata* Mill. было использовано в качестве целевой переменной при проведении анализа на основе деревьев решений. В качестве независимых переменных рассматривались показатели, описывающие местоположение, тип землепользования, плотность застройки, интенсивность автомобильного движения, загрязнение почвенного покрова, то есть показатели предположительно связанные с уровнями загрязнения. Переменные-предикторы получены с помощью ГИС-технологий на основе созданной базы геоданных г. Витебска. Описание используемых переменных представлено в табл.2.

Таблица 2

**Независимые переменные, используемые в CAID анализе**

| Обозначение    | Размах варьирования                                     | Описание  |
|----------------|---|---|
| Ц              | 0–7620  | Удаленность от центра города, м   |
| Ф              | Промышленная, селитебная, агроселитебная, рекреационная | Функциональная зона   |
| Д              | вблизи автодорог<br>внутриквартальные участки           | Расстояние от дороги  |
| Д50            | 0–148,0   | Густота дорог всех типов внутри кругового буфера радиусом 50, 100 и 200 м, км/км <sup>2</sup>                 |
| Д100           | 0–92,0  |   |
| Д200           | 0–67,3  |   |
| Z <sub>c</sub> | 0–61  | Суммарный показатель загрязнения почв   |
| F2             | –3,1–3,8  | Значение фактора 2, отражающего содержание Cr, Cu, Co, Ni в почвенном покрове                                 |
| F4             | –4,0–4,6  | Значение фактора 4, отражающего содержание Pb в почвенном покрове   |
| 3100           | 0–46 776  | Площадь застройки (м <sup>2</sup> ), внутри круговых буферных зон с радиусами 100 и 250 м.                    |
| 3250           | 0–173 818   |   |
| П100           | 0–28 550  | Площадь земель промышленной застройки (м <sup>2</sup> ) внутри круговых буферных зон с радиусами 100 и 250 м. |
| П250           | 0–148 675   |   |

Часть переменных-предикторов в рассматриваемой модели рассчитывалась в точках измерения для круговых буферных зон с помощью ГИС-технологий. Выбор размеров буферных зон основывался на информации о вероятном рассеянии загрязнения и предположениях о влиянии на него изу-

чаемых предикторов. Так, в ряде исследований было показано, что концентрация связанных с автотранспортом загрязнителей убывает экспоненциально с расстоянием от дороги [7]. В настоящей работе для буферных зон в пределах города были использованы радиусы 50 м, 100 м и 200 м.

Показатель  $Z_c$ , представляющий собой сумму превышений коэффициентов концентраций над фоновым уровнем, рассчитывался на основе содержания в почвах В, Ti, V, Cr, Mn, Co, Ni, Cu, Ga, Y, Zr, Nb, Ba, Pb. Среднее значение суммарного показателя загрязнения почв для г. Витебска составляет 7. Почвы на большей части города характеризуются допустимым уровнем загрязнения ( $Z_c < 16$ ), умеренно опасный уровень загрязнения обнаружен в 4,5%, опасный – менее чем в 1% случаев.

Следует отметить, что в большинстве случаев содержание элементов в листьях растений с соответствующим валовым содержанием в почве не коррелирует. Вместе с тем, установлена статистически значимая связь между концентрацией в почве и листьях *Tilia cordata* Mill. Mn и Pb ( $r = -0,22$ ,  $p = 0,03$  и  $r = 0,25$ ,  $p = 0,01$  соответственно). Показатели валового содержания Mn и Pb использовались в качестве переменных-предикторов при создании соответствующих моделей.

Значения фактора 2 и фактора 4 были рассчитаны в рамках факторного анализа (метод главных компонент) данных содержания химических элементов в почвах г. Витебск. Было выделено 5 главных факторов, отражающих 74 % изменчивости данных. Факторы 2 и 4 интерпретированы как техногенные и характеризуются высокими нагрузками Cr, Cu, Co, Ni (фактор 2) и Pb (фактор 4) [5].

На рисунке представлены регрессионные деревья, характеризующие роль группы антропогенных факторов в пространственной вариативности концентраций Cr, Mn, Pb в листьях *Tilia cordata* Mill. на территории города.

Так, для Mn в листьях *Tilia cordata* Mill. определяющим является показатель суммарного загрязнения почв ( $Z_c$ ), с увеличением которого уменьшается содержание Mn. При  $Z_c > 7,9$  среднее содержание Mn в листьях составляет 60 мг/кг, а при  $Z_c < 4,1$  – 122 мг/кг. Дифференцирующее воздействие оказывает также густота дорог (буферная зона радиусом 50 м) и значение фактора 4 (ассоциация Pb–Cu–Ni).

Фактор «расстояние от дороги» определяет пространственное варьирование Pb в листьях *Tilia cordata* Mill. Вблизи дорог среднее содержание Pb составляет 19,6 мг/кг. На внутриквартальных участках средняя концентрация Pb – 6,5 мг/кг. Вторым по значимости фактором для Pb в листьях является расстояние от центра города. К периферийной части города на внутриквартальных участках содержание Pb уменьшается от 10,1 до 3,8 мг/кг.

Наиболее значимым фактором для Cr является «площадь земель промышленной застройки» (размещение источников загрязнения). На территориях с большей площадью промышленной застройки содержание Cr в листьях увеличивается практически в 2 раза и составляет 4,7 мг/кг.

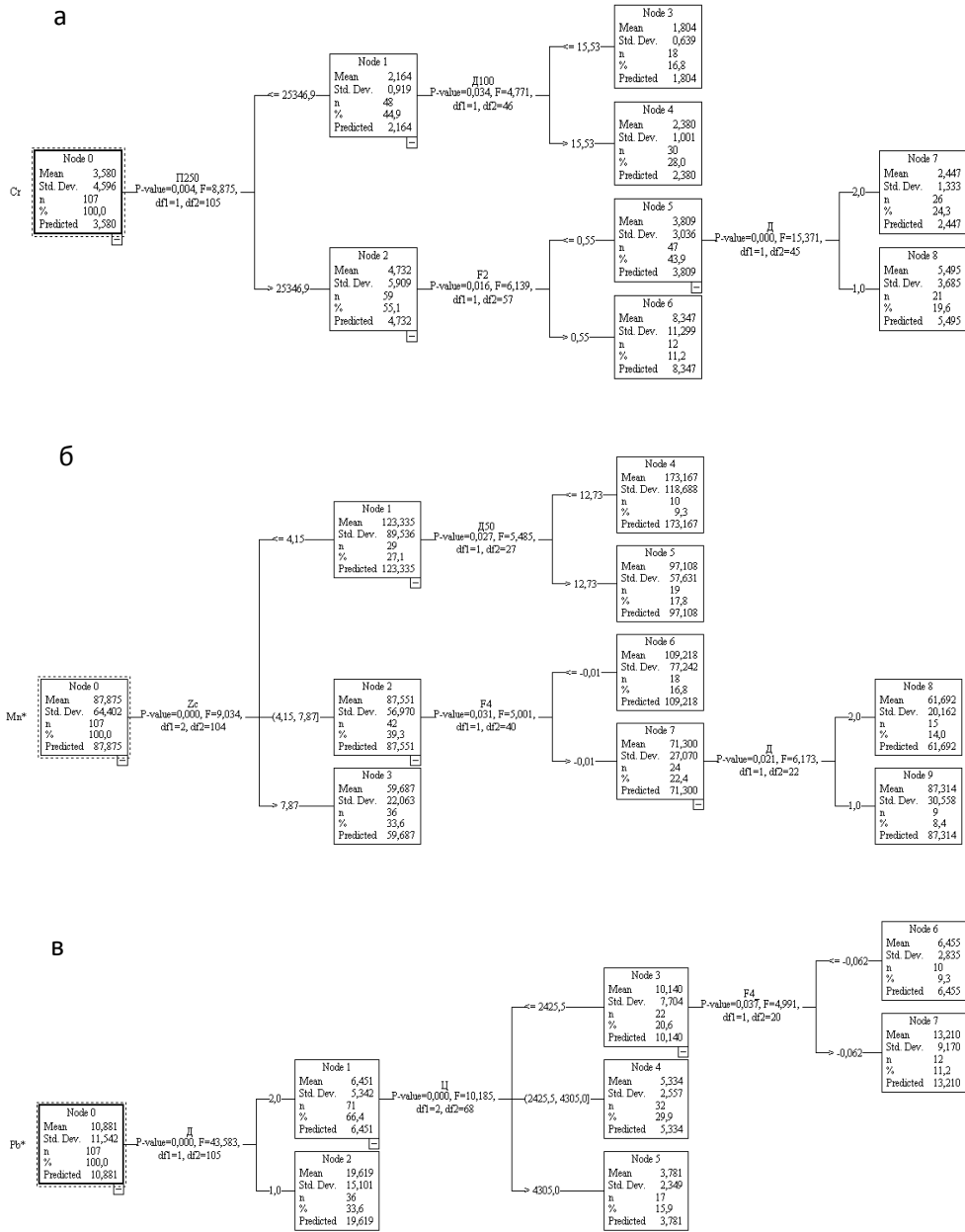


Рис. Регрессионные деревья для Cr (а), Mn (б) и Pb (в) в листьях *Tilia cordata* Mill.

Таким образом, анализ регрессионных деревьев позволил выявить роль антропогенных факторов в накоплении Cr, Mn, Pb в листьях *Tilia cordata* Mill. в условиях города. Созданные модели могут быть использованы для оценки концентрации изученных металлов в любом месте города, для которого известны переменные ГИС.

#### Литература

1. Алексеев В. А. Основные факторы накопления химических элементов организмом // Соросовский Образовательный Журнал. 2001. Т.7. №8. С. 20–24.
2. Вадковская И. К., Гурч Е. П. Геохимические особенности древесно-кустарниковой растительности «Беловежской Пуши» // Природопользование. 1999. Вып.5. С. 46–48.
3. Зырин Н. Г., Обухов А. И. Спектральный анализ почв, растений и других биологических материалов. Москва: Изд-во МГУ, 1977.
4. Кошелева Н. Е., Макарова М. Г., Новикова О. В. Тяжелые металлы в листьях древесных пород городских ландшафтов // Вестник Московского университета. Сер. 5. География. 2005. № 3. С. 74–81.
5. Лукашев О. В., Жуковская Н. В. Применение факторного анализа при эколого-геохимических исследованиях г. Витебска // Актуальные проблемы геологии и поисков месторождений полезных ископаемых: материалы V Университетских геологических чтений, Минск, 8–9 апреля 2011 г. Минск: БГУ, 2011. С. 96–100.
6. Москаленко Н. Н. Биогеохимическое картирование городов // Биогеохимические методы при изучении окружающей среды. М.: ИМГРЭ, 1989. С. 147–159.
7. Пшенин В. Н. Загрязнение почвенного покрова придорожных территорий // Авто-транспорт: от экологической политики до повседневной практики : труды IV Международной научно-практ. конф., Санкт-Петербург, 20–21 марта 2008 г. СПб.: Изд-во МАНЭБ, 2008. С. 48–55.
8. Kheir R. B., Greve M. N., Abdallah C., Dalgaard T. Spatial soil zinc content distribution from terrain parameters: A GIS-based decision-tree model in Lebanon // Environmental pollution. Vol. 158.Issue 2. P. 520–528.
9. Zhang X., Lin F., Jiang Y., Wang K., Wong M.T. Assessing soil Cu content and anthropogenic influences using decision tree analysis // Environmental pollution. Vol. 156.Issue 3. P. 1260–1267.

**ДЕТАЛЬНОЕ РАЙОНИРОВАНИЕ ПО ИНЖЕНЕРНО-  
ГЕОЛОГИЧЕСКИМ УСЛОВИЯМ УЧАСТКА (ПАСПОРТИЗАЦИЯ)  
СТРОИТЕЛЬСТВА УНИКАЛЬНОГО СООРУЖЕНИЯ  
НА УФИМСКОМ «ПОЛУОСТРОВЕ» В Г. УФЕ**

**В.Г. Камалов, П.Е. Челпанов**

ООО «Архстройизыскания», 450078, г. Уфа, 8 Марта, д. 32. E-mail: oooasiz@mail.ru

В работе кратко излагается опыт крупномасштабного районирования по инженерно-геологическим условиям (ИГУ) конкретного участка застройки на территории Уфимского «полуострова». Описана методика составления паспорта участка и определение категории сложности согласно [6].

Геологическая обстановка требовала кроме стандартного комплекса изысканий определить: влияние свойств местных грунтов на сейсмические воздействия в пределах площади участка (сейсмомикрорайонирование), расчётный диаметр возможного провала, геотехнические свойства грунтов при нагрузках до 7-9 кг/см<sup>2</sup> лабораторными методами, в том числе в условиях трёхосного сжатия, и полевыми испытаниями грунтов статическими нагрузками на штамп на глубину активной зоны, рекомендованной техническим заданием проектной организации.

На участке проектируется строительство многоэтажного общественного здания высотой более 100 м, 3-х уровневая подземная автостоянка, заглубление подземной части – 12м от планировочной отметки, тип фундаментов – монолитная железобетонная плита. Уровень ответственности: 1А «повышенный».

В качестве иерархических уровней характеристики геологической среды и районирования были выбраны таксоны: **мегамассив (регион), макромассив (область), мезомассив (район), участок** [3].

Основу номенклатуры районирования составляет **мегамассив (регион), индекс А** – это структурно-тектонический таксон, выделяемый по особенностям развития новейшей геодинамики, объединяющий территории с повышенными отметками поверхности рельефа и тенденцией к поднятию.

В структурно-тектоническом отношении Уфимский «полуостров» расположен на юго-восточной окраине ВЕП, в пределах Камско-Бельской депрессии и её структурном элементе – Благовещенской впадине. В её составе – одна из структур антиклинального типа: Уфимское гипсовое поднятие, на котором расположен Уфимский «полуостров» (рис. 1).

В составе мегамассива выделяется **макромассив (область) – I**, характеризующий геоморфологическое строение. Участок расположен на плато Бельско – Сутолокского вала (рис. 1).

В геологическом строении «полуострова» выделены **мезомассивы (районы), соответствующие 16-ти типам (комплексам) литолого-стратиграфических разрезов** (рис. 2). На участке вскрыт тип геологическо-

го разреза 9, представленный (сверху вниз) четвертичными техногенными образованиями ( $tQ_{IV}$ ), нижнепермскими уфимским ( $P_{1u}$ ) и кунгурским ярусами ( $P_{1k}$ ).

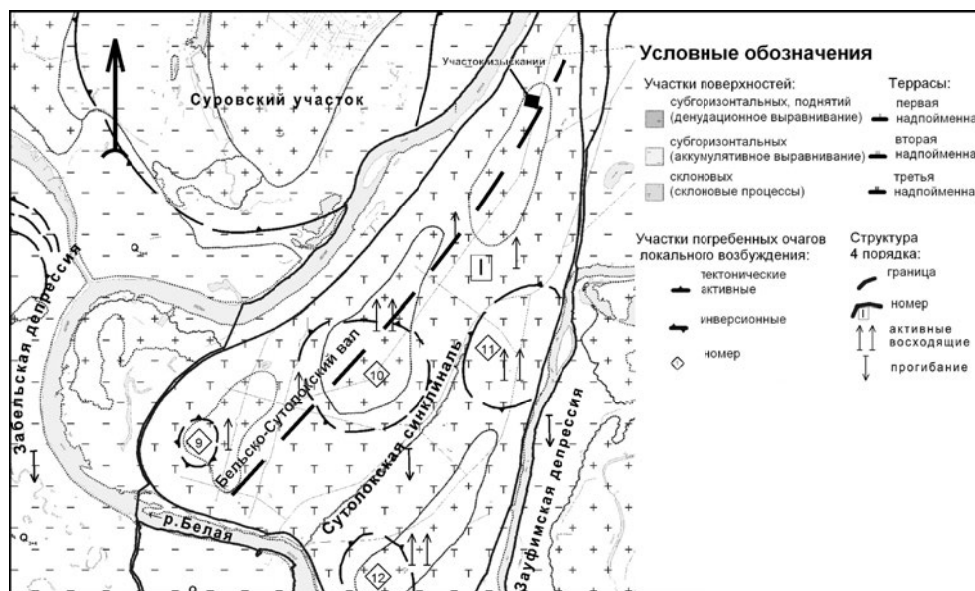


Рис. 1. Фрагмент структурно-геоморфологической карты

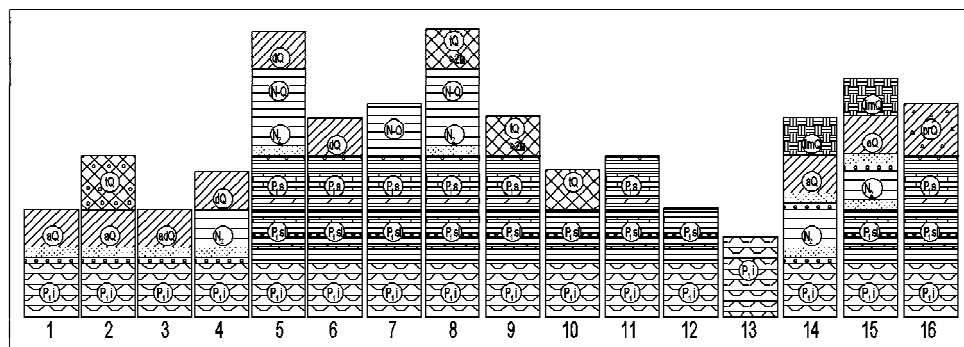


Рис.2. Типы литолого-стратиграфических разрезов

В геологическом разрезе участка до глубины 100 м вскрыты два водоносных горизонта и один водоносный комплекс: техногенный горизонт подземных вод в насыпных грунтах, водоносный комплекс в породах уфимского яруса и трещинно-карстовые воды в гипсах кунгурского яруса.



Техногенный водоносный горизонт в насыпных грунтах вскрыт на глубинах 2,5-3,5 м от дневной поверхности, сформировался на участке за счет инфильтрации атмосферных осадков, утечек из водонесущих коммуникаций.

Частая фациальная изменчивость пород уфимского яруса обусловила сложное залегание подземных вод. Они не образуют единого водоносного горизонта, относятся к пластовому трещинно-поровому типу.

Трещинно-карстовые воды распространены в водопроницаемых гипсах кунгурского яруса. Водообильность гипсов определяется степенью их трещиноватости, глубиной закарстованности и питания.

На участке имеют развитие экзогенные геологические процессы (ЭКГ) карст, суффозия и подтопление. Условия для развития карста и суффозии: трещиноватые карстующиеся породы (карбонаты, сульфаты), движущиеся агрессивные воды. По динамическим свойствам волнового поля признаки карстовых зон открытого типа в пределах глубин исследований не выделяются. Зоны пониженных динамических свойств отражают повышенную трещиноватость песчаных и карбонатных пород уфимского яруса. Преобладающие направления трещиноватости – субвертикальное и приурочены они к участкам фациальной изменчивости пород [2].

Факторы карстово-суффозионного процесса приведены в табл. 1, которые свидетельствуют, что естественный карстово-суффозионный процесс неактивен. Возобновление его, как техногенного, возможно при вмешательстве человека в геологическую среду.

Участок относится к V Г (относительно устойчивой) категории устойчивости, где интенсивность провалообразования до 0.01 случаев в год на км<sup>2</sup>, средний диаметр карстовых провалов до 3 м [4].

Согласно 384-ФЗ ст.16 особо ответственные сооружения должны быть запроектированы с учётом образования провалов вне зависимости от малой вероятности провалообразования в естественных условиях. По [1], на данном геоморфологическом элементе возможный среднестатистический провал равен 5.3±0.6 м. Для прогнозирования диаметра карстовой деформации на исследуемом участке приняты следующие исходные данные: карст-карбонатный покрытый; карстующиеся известняки мощностью 0.9-3.9 м залегают ниже сжимаемой толщи грунтов от поверхности земли на глубинах 52-75 м, от подошвы фундамента–32-41 м. Глубина сжимаемой зоны 25-34 м. Открытые полости в известняках не обнаружены, но мелкие полости, трещины и каверны могут присутствовать в разрезе. Поверхностные карстопроявления отсутствуют. Сульфатный карст исключается.

Для расчёта использованы геомеханические методы Г.М. Шахунянца и Г.М. Троицкого. Результаты: максимальный расчётный диаметр провальной воронки 7-6.2 м, средний- 6.6 м., что близко к среднеарифметическому значению диаметра провала для данного геоморфологического элемента (5,9 м).

Участок изысканий является потенциально подтопляемым.

Территория «полуострова» относится к асейсмической области [1], т.е. области, где землетрясения не происходят или являются редчайшими исключениями. Интенсивность сейсмического воздействия в районе работ

может достигать: по карте А (массовое строительство) – 5, по карте В (объекты повышенной ответственности) – 5 и по карте С (особо ответственные объекты) – 6 баллов.

Таблица 1

**Факторы карстово-суффозионного процесса**

| ЭГП<br>(по А.И. Шеко,<br>1994); СП 11-105-<br>97; ВСН 02.86 РБ) | Природно-техногенные факторы (признаки)   | Кат.<br>сложности<br>(СП 11-<br>105-97) |
|---|---|---|
| Геоморфология   | Углы наклона поверхности рельефа: до 5 градусов   | а                                       |
| Процессы, обусловленные подзем. водами                          | Подтопление при прогнозируемом уровне подземных вод в интервалах 0-4 м, 4-15 м и техногенных утечках                                | в                                       |
|   | Карст сульфатный закрытый, кровля карстующихся пород на глубине более 80 м  | а                                       |
|   | Карст карбонатный в трещиноватых известняках, мергелях шешминского и соликамского горизонтов, на глубине 27-49 м (IV категория [3]) | б                                       |
|   | Тоже, более 50 м. (V категория [3])   | а                                       |
|   | Загипсованность пород до 5 %<br>( IV категория [3])   | а                                       |
|   | Тоже, до20% ( V категория [3])  | б                                       |
|   | Коэффициенты фильтрации карбонатов менее 5 м/сутки (категория [3])  | а                                       |
|   | Глинистый водоупор мощностью 5-30м<br>(IV категория [3])  | б                                       |
|   | Тоже, мощностью более 30м (V категория [3])   | а                                       |
|   | Коэффициент фильтрации покровных отложений – до 25 м/сутки (IV категория [3])   | а                                       |
|   | Суффозионные породы до 10%,<br>(V категория [3])  | а                                       |
|   | Тоже, более 25% (IV категория) [3])   | б                                       |
|   | Отсутствие полостей   | а                                       |
|   | Удалённость от карстопроявления более 250 м   | а                                       |

По результатам сейсмомикрорайонирования, (СМР) грунты по сейсмическим свойствам относятся к II категории [5]. Скоростная модель среды и исследования методом ВСП свидетельствует об отсутствии в разрезе пород с резкими и большими значениями сейсмических жёсткостей, т.е. геологическая среда слабо градиентная, где резонансные явления не возникают и приращение сейсмической интенсивности не рассчитывалось. Основной фактор, влияющий на сейсмичность, различие грунтовых условий между эталонными и исследуемыми грунтами – по разности сейсмических жёсткостей, рассчитанных по значениям скорости поперечной волны (эталон 350 м/с). Среднее значение приращения сейсмической интенсивности для участка рекомендовано 0,110 балла. Исходная сейсмичность

участка равна 5 баллам. Расчётная интенсивность возможных землетрясений принимается для участка равной 5,1 балла [2,5].

Таблица 2

**Геотехнические свойства грунтов**

| Наименование показателей  | Ед. изм.          | Инженерно-геологические элементы (ИГЭ) |                        |                |                            |       |                      |      |
|---|-------------------|--|------------------------|----------------|----------------------------|-------|----------------------|------|
|   |                   | Насыпной грунт                         | Глина твердая уфимская |                | Песчаник оч. низкой прочн. |       | Песчаник малопрочный |      |
| Плотность грунта  | г/см <sup>3</sup> | 1,92                                   | 2,01                   | 2,01           | 2,04                       | 2,03  | 2,24                 | 2,23 |
| Коэф. пористости  | д.е.              | 0,752                                  | 0,572                  |                |                            |       |                      |      |
| Угол внут. трения при природной при водонасыщении                         | град.             | -                                      | 25<br>21               | 25<br>20       | 38                         | 37    |                      |      |
| Удельное сцепление при природной при водонасыщении                        | МПа               | -                                      | 0,061<br>0,035         | 0,060<br>0,033 | 0,006                      | 0,005 |                      |      |
| Модуль деформации при нагрузках 0.2-0.7МПа, по вторичной ветви нагружения | МПа               |  | 47<br>70               |                | 69                         |       |                      |      |
| То же при трехосном сжатии при нагрузках 0,3-0,7МПа                       | МПа               |  | 47                     |                |                            |       |                      |      |
| Предел прочности на одноосное сжатие (R <sub>c</sub> )                    | МПа               | -                                      | 0,12                   | -              | 0,8                        | 0,7   | 11,9                 | 10,8 |

**Закключение.** По совокупности приведённых выше данных и согласно [6] участок относится к средней категории сложности, т.е. является условно благоприятным для строительства: требуется комплекс мер защиты от карстово-суффозионных процессов и подтопления (профилактические, водозащитные – дренаж, мониторинг-гидрогеологический и за осадками здания). Авторский надзор изыскателей и проектировщиков.

**Литература**

1. *ВСН 2-86.* Инструкция по изысканиям, проектированию, строительству и эксплуатации зданий и сооружений на закарстованных территориях Башкирской АССР. Госстрой БАССР, 1986.
2. *Камалов В.Г., Болгаров А.Г.* Многофункциональный жилищно-деловой комплекс «Смарт-парк-Уфа». Уфа, 2013.
3. *Осинов В.И.* и соавт. Карта крупномасштабного (детального) инженерно-геологического районирования территории г. Москвы. Геозкология. 2011. №4. С. 306-318.
4. *СП 11-105-97.* Инженерные изыскания для строительства. Ч.1. Общие правила производства работ. Госстрой России. М.: ПНИИИС, 1997.
5. *СП 14.13330.2011.* Строительство в сейсмических районах. Минрегион России. М., 2011.
6. *СП 47.13330.2012.* Инженерные изыскания для строительства. Основные положения. Госстрой России. М., 2013.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИЗУЧЕНИЯ СОСТОЯНИЯ БЕРЕГОВОЙ ЗОНЫ ЗАЛИВА ПЕТРА ВЕЛИКОГО В ЧЕТЫРЕХЛЕТНЕМ ЦИКЛЕ МОНИТОРИНГА

**А.О. Карташёв, М.А. Холмянский, В.В. Иванова**

ВНИИ Океангеология им. И.С. Грамберга, 190121, г. Санкт-Петербург, Английский пр. д. 1.  
E-mail: okeangeo@vniio.ru

Береговая зона является важнейшим элементом перехода от суши к акватории. Она обладает исключительно высокими показателями проявления экзогенной (поверхностной) и эндогенной (глубинной) геодинамики, приводящей к постоянной естественной трансформации геологических, геоморфологических и экологических характеристик. Одновременно, особенно на участках активного освоения, к числу которых в том или ином виде принадлежат участки строительства, разнообразные проявления имеют комплексный антропогенез (техногенез), нуждаются в специальных наблюдениях и выполнении соответствующих превентивных мероприятий.

Изучение береговой зоны (рис. 1) залива Петра Великого в ходе проведения регламентных мониторинговых исследований 2012-2015 гг. было сосредоточено на 15 ключевых участках. Выбор участков был основан, во-первых, на интенсивности проявления волновой динамики на прибрежных акваториях; во-вторых, на их рекреационной значимости.

Для оценки динамики береговой линии был использован ретроспективный геологический анализ, а именно:

– сопоставление данных морских карт издания 1938 (береговая линия приведена по данным аэрофотосъемки 1934 г.) и 2011 гг.;

– сравнение современного положения ДОТов секторов Береговой обороны Главной военно-морской базы Тихоокеанского Флота «Владивосток» относительно береговой линии, с архивными данными их строительства 1941 г.

Источниками исторических материалов явились Российский военный архив Военно-Морского флота (РГАВМФ, СПб) и Центральный Государственный архив Военно-Морского флота (ЦГАВМФ МО РФ, г. Гатчина). Современное положение для 45-ти ДОТов было определено в ходе полевых работ 2013 г.

Строение берегов залива Петра Великого на разных его участках неодинаково. В этом отношении можно выделить три основных группы:

- 1) побережье крупных риасов – заливы Амурский, Уссурийский, Находка, Восток;
- 2) отдельные многочисленные бухты и небольшие заливы;
- 3) полуострова и острова.

Пляжи на риасовом побережье залива являются характерными формами рельефа береговой зоны. Они отсутствуют на абразионных участках с

полным дефицитом наносов, где формируются береговые обрывы, круто уходящие под уровень моря. В некоторых мелководных и полностью закрытых бухтах пляжи также отсутствуют, в них берег покрыт травянистой растительностью, которая вплотную подступает к урезу воды (вершина бухты Песчаная, в заливе Угловом).

Пляжи разделяются на два морфологических типа – прислоненные одноклонные и двусклонные пляжи полного профиля равновесия. Прислоненные пляжи примыкают к аккумулятивным террасам или уступам отмерших и полуактивных клифов.

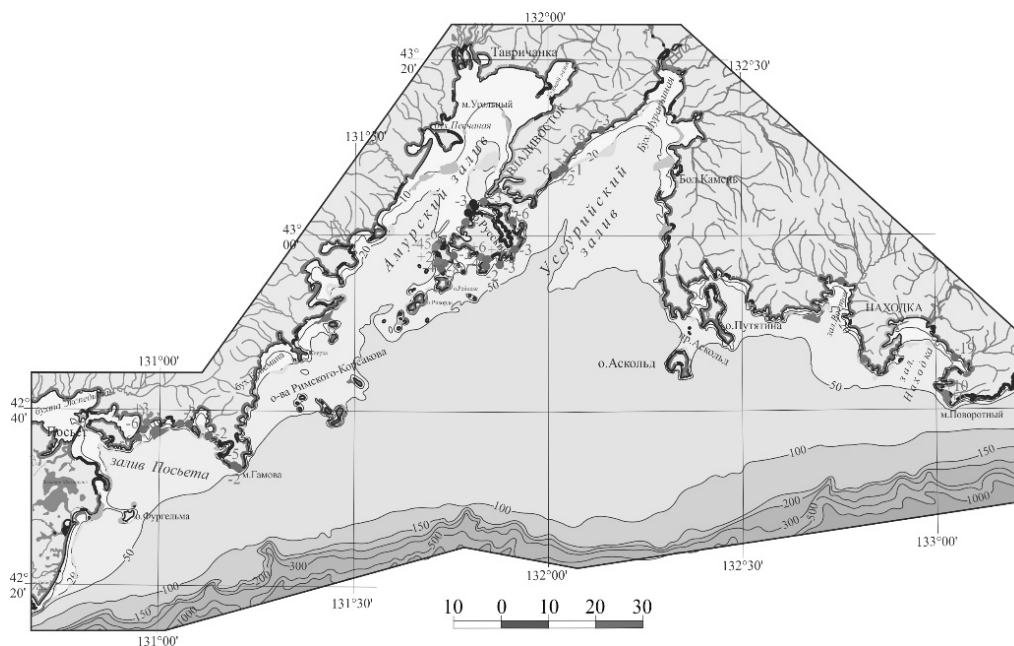
В первом случае пляжи имеют ширину преимущественно до 20-40 м, абсолютное превышение 1,5-2,5 м, уклон в сторону моря 5-6°; сложены песчаным или песчано-гравийным материалом. Наблюдается закономерное увеличение крутизны пляжа с увеличением размера слагающего его материала.

Пляжи, примыкающие к уступам коренных склонов, более узкие и крутые, обычно карманного типа. Сложены они в основном галькой и валунами, мощность рыхлого чехла отложений небольшая и формируются они за счет абразионных процессов. Пляжи полного профиля равновесия распространены на участках, где в их тылу располагаются лагуны, протоки и другие понижения в рельефе (Хасанское взморье, бухта Баклан, залив Посьета и др.).

Ширина таких пляжей может достигать 100 м, уклон в сторону моря 5-7°, в сторону суши (обратный склон) – около 2°. Пляжи этого типа имеют самый мощный слой штормовой переработки. Питание пляжей побережья залива Петра Великого осуществляется материалом, поступающим в результате разнообразных процессов (твердый сток рек, абразия, склоновый снос, органогенное накопление и др.). Это определяет пестроту гранулометрического состава пляжных наносов.

В наносах почти повсеместно наблюдаются включения ракушечного детрита, иногда достигающие 20-30% от общего веса пробы. В составе наносов пляжей, тяготеющих к Владивостокской и Находкинской агломерациям, наблюдается значительное количество антропогенного материала. Галечный и валунно-галечный материал имеет преимущественно абразионное происхождение. На некоторых пляжах галька и валуны являются продуктом размыва и переотложения более древних аккумулятивных слабо сцементированных образований, например, в заливе Посьета, на западном побережье Амурского залива, в заливе Восток. Валуны на некоторых участках имеют почти идеальную окатанность, их размеры могут достигать 0,5 м и более, что наблюдается на участках абрадируемых гранитов на п-ове Гамова, о-ва Рикорда, мысе Островок Фальшивый и др. Галечный материал имеет также различную крупность и степень окатанности. Галечные и валунные пляжи часто относятся к типу карманных.

Их длина измеряется первыми десятками метров, ширина редко превышает 10-20 м. Мощность отложений невелика, галька и валуны залегают обычно на скальном цоколе. Песчаные отложения пляжей области имеют преимущественно аллювиальный генезис.



УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ

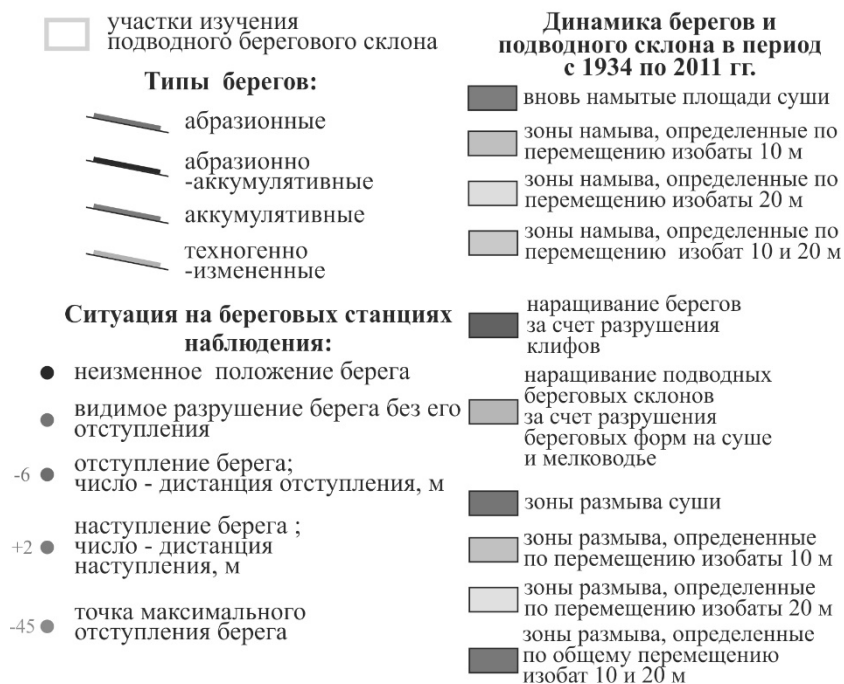


Рис. 1. Карта типизации и динамики береговой зоны

Под активным воздействием техногенных процессов в заливе Петра Великого возникли две самостоятельные классификационные группы берегов, а именно: естественный и техногенный берег. Характерны три основных типа естественных берегов:

1) преопределенные первичным рельефом и геологическим строением и малоизмененные волнением;

2) образованные не волновыми процессами (эрозионно-аккумулятивная, гравитационная);

3) образованные волнением, течениями и колебаниями уровня. К техногенным берегам относятся насыпные и намывные разновидности, обычно находящиеся также под влиянием дреджинговых и дампинговых процессов.

Эволюция берегов в значительной мере диктуется режимом следующих факторов:

– режимные (годовые и суточные) колебания уровня воды, определяемые работой транспортных и энергетических систем, паводковые повышения уровня, сгонно-нагонные явления и сейши;

– размывающее воздействие течений: стоковых, волновых, сейшевых, природно – и техногенно обусловленных;

– ветровые и судовые волны

– ледовые воздействия во всем их многообразии;

– режим движения взвешенных и влекомых наносов, в сочетании с его влиянием на динамику берегов;

– нестационарный процесс переформирования русла и берегов (особенно интенсивный на крупных речных водохранилищах и при гидродинамических воздействиях на опоры крупных мостов);

– снижение прочностных свойств глинистых грунтов с образованием ползучести;

– режим подземных вод в бортах водоема (особенно у берегов речных водохранилищ и намывных территорий).

О неотектоническом контроле развития береговой зоны моря свидетельствует практически повсеместно отмечаемое совпадение границ структурных элементов и её морфодинамических районов и участков. Береговые линии зал. Петра Великого контролируются фрагментами региональных и трансрегиональных разрывных нарушений, с которыми соотносятся границы дифференцированно развивающихся блоков и протяженные гипсометрические уступы в зоне перехода от южно-приморского участка окраины Евразийского континента к Япономорской впадине [1].

Влияние локальных разрывных нарушений на процессы морфогенеза в береговой зоне проявляется многообразно и зависит от характеристик самих разрывных систем (ориентировка, строение, параметры зоны, вещественное содержание и др.), свойств окружающей геологической среды и гидродинамических, гидрогеологических и геоморфологических условий.

Активизируя более ранние и создавая новые пликативные и дизъюнктивные положительные, отрицательные и линейные структурные формы, новейшая тектоника определяет развитие денудационного и аккумулятивного

рельефа, формирование литологических разновидностей и мощностей отложений, механические свойства осадочного материала и пути его транзита, предопределяет флюидопроницаемость литосферы и тепловые свойства грунтов, особенности гидрологического режима, контролирует пути миграции и места накопления загрязняющих веществ, обуславливает основные экзогенные берегоформирующие процессы (пассивное затопление суши, размыв, абразию, перестройку дельт и др.), их интенсивность и пространственное распределение, направленность эволюции береговой зоны по трансгрессивному или регрессивному пути.

Новейшая тектоника, предопределив общую конфигурацию береговой линии и соответственно её экспозицию к волновому воздействию акваторий, определяет ширину и уклоны прибрежного подводного склона, степень устойчивости его участков, особенности субаквального макро- и мезорельефа. При тектонических деформациях дна изменяется направление волновой равнодействующей, что и приводит к изменению характеристик потока наносов в береговой зоне. Тектонически созданное залегание горных пород в приурезовой зоне может, как препятствовать деградации берега, так и способствовать его разрушению.

С тектонически обусловленным увеличением крутизны склонов, уменьшается их устойчивость к негативным экзолитодинамическим процессам. Это относится и к склонам, испытывающим повышенные скорости тектонического поднятия. Последние считаются значительными уже при величине 1 мм/год. Скорость вертикальных тектонических смещений является также решающей в формировании подтипов берегов, размеров и конфигурации береговых аккумулятивных форм. При быстром поднятии берега обычно происходит формирование и рост пересыпей, примкнувших аккумулятивных террас, а при замедленном образуются осушки в лагунах, заболачивание последних и расчленение их косами, формируются узкие пляжи, цокольные террасы. С увеличением скорости поднятия усиливаются и экзогенные субаэральные береговые литодинамические процессы, прежде всего обусловленные гравитацией. При замедленном поднятии в приурезовой зоне отмечается повышенное содержание тяжёлых минералов, на прибрежном подводном склоне создаются условия для развития береговых валов и местоположения волновых аккумулятивных форм в пределах новейших структурных форм (диаморф). При тектоническом опускании берегов усиливается их разрушение, которое тем сильнее, чем больше скорость опускания.

Таким образом, следует отметить, что как берега, так и подводный склон района испытывают преимущественное разрушение, зоны которого количественно и пространственно преобладают над стабильными и аккумулятивными участками (за исключением берегов внутренних частей бухт и заливов).

#### Литература

1. *Гаврилов А.А.* Роль разрывных нарушений в формировании береговых линий Охотского и Японского морей ст. 1. Региональный аспект исследований // Геоморфология. – 2009. – № 3. – С. 38-49.



## **МЕТОДИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ПРИМЕНЕНИЯ ГЕОИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ПРИ ПОСТРОЕНИИ ОБЪЕМНЫХ МОДЕЛЕЙ ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ СРЕДЫ В ИНЖЕНЕРНОЙ ГЕОЛОГИИ**

**С.В. Козловский**

Институт геоэкологии им. Е.М. Сергеева РАН, 101000, Москва Уланский пер., д. 13, стр. 2.  
E-mail: bintan@rambler.ru

Геоинформационные (ГИС) технологии являются самостоятельным направлением развития информационных систем, имеющих свои специфические особенности. Их логическое построение связано с совокупностью математических и прикладных направлений исследований.

ГИС интегрированные технологии обеспечивают определенные условия решения задач различного направления, на основе использования пространственно-временной локализации данных, по предварительно созданному алгоритму. Аналогичный подход применим и в отношении исследования геологической среды.

Использование геоинформационных технологий следует определять как совокупность методико-технологических средств, для получения новых условий обработки информации на основании первичных данных. Все это функционирует в тесной связи с существующей геологической обстановкой.

Решение задач с использованием ГИС-технологии (применительно к изучению геологической среды) связано с повышением эффективности процессов, связанных с предоставлением сведений о составе и свойствах литосферы, моделировании, управлении, хранении и систематизации информации.

ГИС-технология имеет свои особенности. Одна из особенностей состоит в положении, которое заключается в соответствии элементов информатизации строго предопределенному алгоритму систематизации сведений, количественных и качественных характеристиках грунтов, показателей, характеризующих процессы и явления. Другой особенностью является положение, которое является результатом эволюции тематических сведений и работок в исследуемом направлении.

Геологическая среда и геологические тела являются трехмерными структурами. Создание модели геологической среды на современном уровне исследований заключается в определении пространственного взаимного расположения геологического тела (геологических тел) в пространстве.

При этом, следует учитывать, что набор признаков (условно) геологического тела №1 отличается от набора признаков геологического тела №2 и т.д.

Поскольку предполагается, что все признаки находятся в единой системе, учитывая или исключая по списку критериев определенные показатели,

можно выполнить сравнения или построить модель по новым интересующим признакам или результатам анализа признаков.

Для решения задачи построения возможно применение нескольких категорий информационных потоков, используемых при изучении геологической среды в отношении применения ГИС-технологий:

- 1) географическая информация общего содержания (рельеф, населенные пункты, гидрографическая сеть и т.д.);
- 2) существующий картографический материал (общие и специальные карты различных масштабов);
- 3) карты фактического материала;
- 4) материалы аэрокосмических наблюдений;
- 5) результаты маршрутных и рекогносцировочных обследований и наблюдений;
- 6) различные табличные данные и частные определения по количественному и качественному составу свойств.

Информация может быть получена из различных источников, в разнообразных формах представления, в том числе в виде технических отчетов, научных исследований и рекомендаций по решению широкого спектра вопросов.

На протяжении последних семидесяти лет методика исследования геологической среды полностью сформировалась. Методы исследований обоснованы и в научном отношении подтверждены. Новые направления в совершенствовании методологии развиваются по мере возникновения необходимости принятия решений.

Развитие систем комплексного анализа получает новые направления в развитии и расширении методов оценки. Постепенное использование автоматизированного ввода информации и наработанные ранее методологические предпосылки обусловили возможность интеграции применения геоинформационных технологий при изучении геологической среды.

Основное назначение применения геоинформационной системы заключается в хранении и обеспечении предоставления сведений по строению, составу, свойствам геологической среды, отображении информации графического или графо-аналитического содержания.

Функционирование геоинформационной системы позволяет установить закономерности взаимосвязей между обобщенными переменными, производить моделирование геологической среды, обобщать результаты исследований, прогнозных мероприятий и оптимизировать перечень и объем планируемых работ.

Применение ГИС-технологии позволяет изменить структуру информационных потоков. В системе потоков информации следует выделять четыре иерархических уровня:

- 1) по назначению объекта исследований;
- 2) по видам и комплексам выполняемых исследований;
- 3) по промежуточным результатам оценки информации;
- 4) по итоговой оценке полного комплекса информации.

Применение ГИС-технологии при обеспечении результирующих положений является заключительным звеном выполнения инженерно-геологических исследований. Важность в выполнении этого этапа работ заключается в системной подготовке результатов исследований (данных или системы баз данных) для получения отчетной документации в установленных заданием шаблонах. Это касается четырех основополагающих информационных потоков, касающихся: геолого-литологического (инженерно-геологического) разреза; обобщения данных лабораторных и полевых видов исследования грунтов; составления таблицы нормативных и расчетных значений физических, прочностных и деформационных свойств грунтов; построения карт различного назначения.

Другим направлением (областью) применения ГИС-технологии является оптимизация методов и объемов при выполнении работ. Данное направление в функциональной значимости ГИС-технологии определяет содержание закономерности, заключающейся в том, что при определенном объеме выполняемых работ, пределы изменения свойств геологической среды, подлежащие изучению, практически становятся незначимыми. То есть, какие бы дополнительные виды исследований в количественном и качественном отношении не применялись, это не будет приводить к существенному изменению нормативных показателей, изменению пространственного положения инженерно-геологических элементов, влияющих на проектирование. Подобным образом решается оптимизация рационального соотношения планируемых объемов работ и получаемой информации.

Необходимым условием подобного анализа является наличие первичной информации (или архивных материалов) по району, территории или участку планируемых изысканий.

Изменение принципов внесения данных и реорганизация (адаптация) последовательности использования информации с учетом требуемых стандартов создает алгоритм функциональной части технологии, заключающейся в формализации данных о геологической среде и формализации методов интерпретации данных. Это позволяет сформулировать решения алгоритмического, информационного и программно-технического обеспечения выполнения работ.

Важным аспектом обоснования формализации отдельных компонент и геологической среды в целом является выработка методических позиций для целенаправленной постановки решаемых задач. Учитывая, что основная (конечная) задача сводится к получению количественных и качественных характеристик состава геологической среды для обоснования проектно-конструкторских и технических решений, следует предусматривать следующую последовательность:

- 1) схематизацию геологических условий;
- 2) типизацию геологических условий;
- 3) установление взаимосвязей или условий взаимодействия исследуемых объектов;

- 4) построение модели;
- 5) выделение расчетных элементов;
- 6) построение геолого-литологических, инженерно-геологических разрезов исследуемой территории или объекта;
- 7) определение и степень активности возможных геологических процессов и их влияние на проектные решения;
- 8) обоснование значений характеристик физических, прочностных и деформационных свойств грунтов по выделенным свойствам;
- 9) составление картографической основы на основании выполненных исследований.

Наиболее интересными и трудоемкими являются работы, связанные с графическими построениями поверхностей геологической среды. ГИС-технологии предусматривает два типа построений: 1) в автоматизированном режиме построений; 2) в полуавтоматизированном режиме построений. Первый тип построения выполняется для условно «простых» геологических условий (отсутствие выклинивания геологических тел, размывов, фациальных замещений и проч.). Второй тип построения выполняется для условно «сложных» участков, где требуется определенная аналитическая подготовка.

При современном техническом оснащении сложность в выполнении работ по второму варианту заключается в том, что в настоящее время не разработаны методы математического аппарата, при котором возможно предоставить функциональную зависимость положения простирания слоя, границ или инженерно-геологического элемента геологической среды, бесконечно в пространстве с соответствующей координатой интересующей точки.

#### Литература

1. *Козловский С.В.* Методические аспекты, принципы и последовательность организации геоинформационной системы в инженерной геологии // *Инженерная геология* // ОАО «ПНИИИС». – М.: 2010. – №1. – С. 18-22.
2. *Козловский С.В.* Основные аспекты унифицирования данных при построении и применении геоинформационной системы в инженерной геологии // *Материалы Пятой общероссийской конференции изыскательских организаций «Перспективы развития инженерных изысканий в строительстве в Российской Федерации» 17-18 декабря 2009 г.* // Министерство регионального развития РФ, ОАО «Производственный и научно-исследовательский институт по инженерным изысканиям в строительстве». – М., 2009. – С. 64-66.
3. *Козловский С.В.* Построение природно-технических систем при организации геологической информации // *Геологическое изучение и использование недр: Науч.-техн. информ. сб.* // ЗАО «Геоинформарк». – М., 2001. – Вып. 1. – С. 43-52.
4. *Козловский С.В.* Основные особенности выполнения инженерно-геологических изысканий при освоении подземного пространства на территории г. Москвы // *Материалы научно-практической конференции «Геоэкологические и инженерно-геологические проблемы развития гражданского и промышленных комплексов города Москвы»* // Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе. – М.: КДУ. – 2008. – С. 60-62.
5. *Комаров И.С.* Накопление и обработка информации при инженерно-геологических исследованиях. – М.: Недра, 1972. – С. 296.

6. Комаров И.С., Экзарьян В.Н. Некоторые аспекты разработки АИПС «Инженерная геология Москвы». Бюлл. МОИП, отд. геолог. Т. 58, вып. 4. – М., 1983.

7. Экзарьян В.Н., Козловский С.В. Особенности формирования данных информационной системы «Геологическая среда г. Москвы» // Геологические исследования и охрана недр: Науч.-техн. информ. сб. / ЗАО «Геоинформмарк». – М., 2000. – Вып. 4. – С. 11-14.

## **ОРГАНИЗАЦИЯ РЕГИОНАЛЬНОГО РАДИОЭКОЛОГИЧЕСКОГО КАДАСТРА ДОЛИНЫ Р.ЕНИСЕЙ ДЛЯ ОЦЕНКИ РАДИАЦИОННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ И НАСЕЛЕНИЕ**

**В.Г. Линник, О.М. Иваницкий, А.В. Соколов, П.В. Соколов**

Институт геохимии и аналитической химии им. В.И. Вернадского РАН, 117975, г. Москва,  
ГСП-1, ул. Косыгина 19. E-mail:linnik@geokhi.ru

Для решения задач прогноза радиозоологической обстановки на загрязненных радионуклидами территориях важное значение приобретает исследование пространственно-временных параметров распределения радионуклидов, которые можно использовать для оценки радиозоологического риска [3,4,5].

Радиозоологическая геоинформационная система РАДГИС-ЕНИСЕЙ (РадГИС) создана для автоматизированной обработки и визуализации информации, необходимой при подготовке принятия решений в области экологической политики в зоне влияния горно-химического комбината (ГХК). Исходные данные для выполнения данной работы были получены в ходе выполнения полевых работ, проведенных в августе 2000 г. в составе Международной экспедиции в рамках проекта STREAM (грант КОПЕРНИКУС) [8].

Для организации РадГИС были собраны и оценены все опубликованные экспериментальные данные, полученные в ходе изучения радиационного загрязнения поймы р. Енисей. В итоге в базы данных вошли первичные данные по радиоактивному загрязнению почв, донных отложений и воды за период с 1991 по 2000 гг., полученные рядом организаций: Радиозоологическим центром ГХК, Радиевым институтом РАН, ГИПЭ, Объединенным институтом геологии, геофизики и геохимии СО РАН, ГЕОХИ РАН, НПО «Тайфун» [1,2, 6]. В базах данных содержатся результаты определения удельных активностей  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{152,154,155}\text{Eu}$ ,  $^{60}\text{Co}$  за 1991, 1994, 1997, 1998, 2000 гг. Дополнительно собраны гидрологические данные, характеризующие периоды и интенсивность затопления поймы р. Енисей на изучаемых участках за период 1960-2000 гг.

Для организации РадГИС проводилось интегрирование всех экспериментальных первичных радиозоологических данных (точки отбора проб) в единую базу данных с возможностью визуализации первичных данных как в табличном, так и в графическом виде.

На участок ГХК-Стрелка в пойменной части р.Енисей по материалам экспедиционных исследований с использованием методов дешифрирования космических снимков составлены следующие карты: ландшафтная, типов грунтов, высотных уровней.

Базы данных и тематические слои векторизованы и представлены в формате MAPINFO для организации радиоэкологического кадастра. В картографической базе данных масштаба 1:200 0000 представлены следующие информационные слои: литология, ландшафты, высотные уровни (для реконструкции затопления поймы р. Енисей в период радиоактивного загрязнения с 1960 по 2000 гг.).

Векторная картографическая информация переведена в растровый формат с использованием пакета SAGA [7]. ГИС-моделирование распределения техногенных радионуклидов в пойме р. Енисей выполняется с использованием функций пакета PcRaster [9,10].

В электронном виде продукт реализован в виде программной оболочки «Система поддержки принятия решений (СППР)».

В оболочке СППР данные слои представлены в виде BMP-файлов на выделенные модельные районы.

Созданная СППР построена как информационно-справочная система, включающая в ряде случаев (гидрологическое моделирование) не сами модели, а результаты моделирования по выбранным сценариям, полученные с использованием различных программных средств, не интегрированных в структуру СППР. Здесь возможно проведение аналогии с созданием базы метаданных. В нашем случае дается описание примеров использования выбранных моделей для решения радиоэкологических задач по реабилитации поймы р.Енисей в соответствии с выбранными сценариями анализа и моделирования.

В качестве модельных районов выбраны участок ближней зоны (о. Атамановский, на удалении до 8 км от ГХК, о. Березовый, в 20 км от ГХК), а также участок района «Казачинское» (в 180 км от ГХК).

В структуре СППР и его программного обеспечения реализованы следующие блоки:

- блок «Базы данных», который содержит собранные экспериментальные данные и является основой для моделирования радиоэкологических ситуаций;

- блок «ГИС», представляющий собой картографическую основу радиоэкологического моделирования;

- блок «Модели», аналитические средства для моделирования различных радиоэкологических ситуаций;

- блок «Карты», включающий наборы карт, таблиц и диаграмм как визуализированную основу для принятия решений;

- блок «Меню», содержащий всю дополнительную информацию.

С целью обеспечения возможности работы с СППР пользователя, не владеющего современными ГИС-оболочками основные части системы были реализованы на базе «интернет» языков HTML, DHTML и JavaScript.

Таким образом, для работы основного ядра системы не требуется установки специализированного программного обеспечения и специального обучения работы с ним. Однако, часть системы, связанная с отображением результатов моделирования, в процессе работы обращается к пакету PcRaster [9,10], для использования которого (сохранения результатов) создается каталог на жестком диске. Предлагаемый пользователю интерфейс работы с пакетом PcRaster реализован в стандартном диалоге интернет браузера, что опять же упрощает использование этой части системы эксперта, представляющим себе основную логику системы СППР.

СППР использует возможности ГИС-технологии, что обеспечивает быстрый доступ, выборку и визуализацию информации непосредственно при обращении к базам данных, а также с использованием картографической локализации точек отбора проб.

В СППР «ЕНИСЕЙ ГХК-Стрелка» вся информация представлена по отдельным участкам (пойменным массивам р.Енисей). В этом разделе СППР обеспечены: доступ к тематическим слоям карт с возможностью картографической визуализации точек отбора проб на карте и выборки данных из базы, используя карту как указатель, выборки данных, как по названию участка, так и по координатам лоции, где используется расстояние от плотины Красноярской ГЭС.

В этом же разделе даны ландшафтно-радиационные описания участков, а также обеспечена возможность доступа к первичным данным, представленным на ландшафтно-радиационных профилях – результатам экспедиционных исследований 2000 г.

По результатам картометрических вычислений по всем модельным участкам поймы р.Енисей для оценки распределения техногенных радионуклидов представлены базы данных распределения площади различных ландшафтов (14 типов), грунтов (9 градаций) и высотным уровням как русловой части р.Енисей так и ее пойменной части по следующим градациям высотных уровней: <-7м, -3-7, -3-0, 0-1,5, 1,5-3,5, 3,5-6, 6-8, 8-11, 11-15, >15м.

После завершения строительства Красноярской ГЭС (1970 г.) участки поймы р.Енисей высотой более 6 м не затоплялись. Радионуклидное загрязнение в этой части поймы было сформировано в 60-ые годы прошлого века. Пойменные участки р.Енисей в интервале высот 0-1,5 м подвергаются практически ежегодному затоплению и в настоящее время представляют зону осаждения (размыва) радионуклидов.

Вся картометрическая информация рассчитана для правосторонней, левосторонней и островной поймы. Это существенно для картометрического анализа радиационной обстановки, поскольку в ближней зоне влияния ГХК (до 20 км от места сброса технологических отходов) левый берег р.Енисей практически не подвергался радиационному загрязнению, поскольку место сброса ГХК расположено на правом берегу р.Енисей. В месте сброса и ниже по течению загрязненная радионуклидами струя р.Енисей прижималась к правому берегу. Поэтому в ближней зоне радионуклидами загрязнены правая часть поймы р.Енисей и острова. Диффузия радиоактивной струи и ее отход

от правого берега к левому наблюдается в месте впадения притока р.Кан (на участке о.Толстый и ниже по течению р.Енисей).

Площади пойменных участков р.Енисей рассчитаны по следующим высотным уровням (0-1,5 м, 1,5-3,5 м, 3,5-6 м, 6-8 м, 8-11 м. Эти данные необходимы для моделирования распространения радионуклидного загрязнения и оценки дозовой нагрузки.

Для оценки современной радиационной обстановки в пойме р.Енисей в зоне влияния ГХК и ее реконструкции для 60-ых годов прошлого века проведено моделирование с использованием ГИС-технологии [4,5]. ГИС-моделирование позволяет провести оценку риска загрязнения техногенными радионуклидами, а также оценить способность пойменных ландшафтов к самореабилитации и выработке оптимальных рекомендаций по снижению радиационных рисков [5]. Так, максимальное осаждение радионуклидов может наблюдаться в местах отложения илистой или песчано-илистой фракции (зоны вмешательства с проведением реабилитационных мероприятий), тогда как галечники представляют зоны транзита радионуклидов и не требуют вмешательства (проведения реабилитации).

Расчет площади затопления поймы р.Енисей, где возможно осаждение радионуклидов, выполняется также на основе схемы высотных уровней. Систематизированные результаты этих расчетов заносятся в СППР как в виде базы данных (Excel), так и в графическом виде. Так, общая площадь затопления поймы р.Енисей на участке ГХК-Стрелка, где потенциально возможно осаждение радионуклидов, составляет: <6 м – 99,2 км<sup>2</sup>; <3,5 м – 58,9 км<sup>2</sup>.

Включение в базу данных СППР информации по суммарным сбросам <sup>137</sup>Cs, а также выполненная оценка по запасу <sup>137</sup>Cs на модельных участках поймы р.Енисей на основе проведенных полевых исследований в 2000 г., позволяет перейти к составлению баланса техногенных радионуклидов (оценка запаса от суммарных сбросов в пределах выделенных участков в 200-км зоне ГХК). Так, по данным полевых исследований 2000 г. в районе «Казачинское» средняя плотность <sup>137</sup>Cs была равна 96 ГБк/км<sup>2</sup>, общая площадь затопления до 6 м (левый, правый берег и острова) равна 18,77 км<sup>2</sup>, суммарный запас <sup>137</sup>Cs оценен в 1802 ГБк.

Другой вариант оценки распределения техногенных радионуклидов в пойме р.Енисей может быть получен на основе ГИС-моделирования связи радионуклидного загрязнения с параметрами ландшафтной структуры поймы р. Енисей. Так, по результатам растрового моделирования по сетке размером 50x50 м на участке «Казачинское» общая площадь пойменных ландшафтов, загрязненных техногенными радионуклидами составила 15,56 км<sup>2</sup>, суммарный запас <sup>137</sup>Cs – 1075 ГБк. Это соответствует примерно 30% от суммарного сброса с ГХК <sup>137</sup>Cs за период 1987-2000 гг. [1], тогда как площадь поймы на участке «Казачинское» составляет 15,7% от общей площади поймы на участке ГХК-Стрелка. Это явное свидетельство того факта, что значительное радиоактивное загрязнение поймы должно было происходить до 1987 г., что неоднократно отмечалось в литературе [2,6].



В СППР реализованы возможности реконструкции радионуклидного загрязнения для начального периода работы ГХК, когда наблюдалось максимальное поступление техногенных радионуклидов в р.Енисей. производились на примере о.Атамановский по данным полевых исследований, выполненных [2,5]. Реконструкция загрязнения изотопами  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{60}\text{Co}$ ,  $^{152,54}\text{Eu}$  по сетке 10x10 м дана на 1966 г. (экстремальный паводок, при котором наблюдалось максимальное радиоактивное загрязнение) и 1992 г. (время остановки реакторов на ГХК). Построение поля загрязнения радионуклидами выполнялось с использованием пакетов SAGA [7]. Корректировка поля загрязнения с учетом литологии, ландшафтного строения, а также высотных уровней выполнялась модельными средствами пакета PcRaster [9,10].

### Литература

1. Вакуловский С.М., Тертышник Э.Г., Бородин Т.С., Искра А.А. Техногенные радионуклиды в реке Енисей // Труды Международной конференции, Москва, 5-6 декабря 2005 г. Под ред. Ю.А. Израэля. СПб.: Гидрометеиздат, 2006, том № 2, с. 294-299.
2. Закономерности распределения и миграции радионуклидов в долине реки Енисей / Сухоруков Ф. В., Дегерменджи А. Г., Белолипецкий В. М. и др. – Новосибирск: изд-во СО РАН, филиал «Гео», 2004. – 286 с.
3. Линник В.Г. Геоинформационные системы и модели в решении радиоэкологических задач // Сергеевские чтения. Вып. 11. Моделирование при решении геоэкологических задач / Материалы годичной сессии Научного совета РАН по проблемам геоэкологии, инженерной геологии и гидрогеологии (23-24 марта 2009). М.: ГЕОС, 2009, с. 65-69.
4. Линник В.Г., Волосов А.Г., Потапов В.Н., Соколов А.В., Сурков В.В, Андрияшина С.Б. Разработка радиоэкологического кадастра для оценки радиационного загрязнения и реконструкции дозовых нагрузок в зоне влияния ГХК // Радиоактивность и радиоактивные элементы в среде обитания человека: Материалы 2-ой Международной конференции. Томск, 18-22 октября 2004. Томск, 2004. С. 322-325.
5. Линник В.Г., Потапов В.Н. Оценка радиационной безопасности в пойменных ландшафтах реки Енисей в районе промышленных сбросов Красноярского Горно-Химического Комбината // Проблемы снижения природных опасностей и рисков. Материалы Международной научно-практической конференции «ГЕОРИСК-2009». 21 мая 2009 г. М.: РУДН, 2009. С. 135-139.
6. Носов А.В., Мартынова А.М. Оценка вторичного загрязнения воды Енисея // Атомная Энергия, т. 82, вып.5, 1997. – С. 372-378.
7. Böhner, J., Blaschke, T., Montanarella, L. [Eds.] (2008): SAGA – Seconds Out. Hamburger Beiträge zur Physischen Geographie und Landschaftsökologie, Vol.19, 113pp.
8. Linnik V.G., Brown J.E., Dowdall M., Potapov V.N., Nosov A.V., Surkov V.V., Sokolov A.V., Wright S.M., and Borghuis S. Patterns and inventories of radioactive contamination of island sites of the Yenisey River, Russia // Journal of Environmental Radioactivity Volume 87, Issue 2, 2006, Pages 188-208.
9. Van der Perk M, Burrough PA, Voigt G 1998. GIS-based modelling to identify regions of Ukraine, Belarus, and Russia affected by residues of the Chernobyl nuclear power plant accident // Journal of Hazardous Materials 61: 85-90.
10. Wesseling CG, Karssenber D, Burrough PA, Van Deursen WPA 1996. Integrating dynamic environmental models in GIS: the development of a dynamic modelling language // Transaction in GIS 1: 40-48.

## **СТРУКТУРНО-ГЕОДИНАМИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ УСТОЙЧИВОСТИ ТЕРРИТОРИЙ КАЛИЙНЫХ РУДНИКОВ К ОПАСНЫМ ГЕОЛОГИЧЕСКИМ ПРОЦЕССАМ**

**В.М. Макеев<sup>1</sup>, Ю.А. Мамаев<sup>1</sup>, А.Л. Дорожко<sup>1</sup>, Н.В. Макарова<sup>2</sup>,  
Т.В. Суханова<sup>2</sup>, И.В. Коробова<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> Институт геоэкологии, г. Москва, 101000, г. Москва, Уланский пер., д. 13, стр. 2.  
E-mail: vmakeev@mail.ru

<sup>2</sup> Московский государственный университет, геологический факультета, 119991, г. Москва,  
ГСП-1, Ленинские горы, д. 1. E-mail: tanikamgu@mail.ru

Район исследований находится на западном склоне Среднего Урала в зоне сопряжения его с Восточно-Европейской платформой. В ней расположена Соликамская раннепермская впадина, вмещающая крупнейшее в РФ Верхнекамское месторождение калийных солей (ВКМКС) мощностью 600-650 м, которое интенсивно разрабатывается шахтным способом.

Уникальные, но крайне опасные явления (оседание и провалы дневной поверхности, затопление рудников и проч.) связываются с особенностями структурно-геодинамических и вещественных условий Соликамской впадины. Эти условия в сочетании с горно-технической ситуацией представляют угрозу для устойчивости территорий калийного рудника и их геоэкологической безопасности.

Помимо практических задач существуют и фундаментальные, решение которых также связано с безопасностью разработки калийного месторождения. Ими являются определение современных геодинамических условий (природы сил, напряженности и механизмов деформаций) нахождения раннепермских структур (надсоляных, соляных и подсоляных) и оценка влияния этих условий на устойчивость территорий в связи с обеспечением их безопасности от интенсивных (опасных) геологических (эндогенных и экзогенных) процессов. В качестве опасных эндогенных процессов рассматриваются активизированные разломы, геодинамически активные зоны, зоны повышенной трещиноватости (линеаменты) и сейсмичность. В качестве опасных экзогенных процессов – интенсивная суффозия и карст, локальное заболачивание и подпруживание, глубинная эрозия и плоскостной смыв. Эти процессы могут быть более угрожающими, если перекрываемые калийную залежь породы (надсоляные), в т.ч. и четвертичные отложения, являются сильно проницаемыми, способными к интенсивной обводненности и инфильтрации грунтовых вод. В этой связи учет фациального замещения одних литологических фаций другими, включая оценку высокоградиентных изменений прочности грунтов, здесь также важен.

В этой связи проблема обеспечения геодинамической и геоэкологической устойчивости (безопасности) территорий разработки калийных солей к интенсивным эндогенным и экзогенным процессам крайне актуальна.

Дислокации (разрывные и пликативные), локализованные в осадочных отложениях Соликамской впадины, достаточно полно исследованы геолого-геофизическими методами в связи с разведкой и эксплуатацией месторождений калийных солей и нефти [1,2,5,6 и др.]. По морфологии они очень разнообразны. Выделяются разнотипные разломы (107 единиц и шесть разломных зон), валы, изометричные купола, брахиантиклинали, синклинали, зоны повышенной трещиноватости и т.д. Пологие надвиги и сдвиги также выделяются [1], но попытка их подтвердить независимыми методами не увенчалась успехом. Надвиги, как правило, сопровождаются сдвоением разреза и аномальным увеличением мощности отложений, что не было установлено в ходе их подтверждения и уточнения [2,6].

Морфологическая разнотипность дислокаций явилась причиной для возникновения, главным образом, двух концепций на их происхождение: вертикальной блоковой и горизонтальной инденторной [1,2]. Общим для них является признание, что локальные дислокации локализованы на разных глубинах и в разных по компетентности толщах: в подсолевой, солевой и надсолевой. Солевая толща дислоцирована интенсивнее, чем остальные: в ней суммировались все деформации, которые произошли за период, последовавший за ее формированием. По нашему мнению, в соляной и надсолевой толще локализованы не только позднегерцинские, но неотектонические и активизированные древние дислокации, которые являются крайне опасными для территории разработки месторождения.

Подтверждением этого является разрыв, выраженный в рельефе спрямленным логом. С ним связывается образование провала и затопление 4-й западной панели БПКРУ-3 в 1986 г. Активность разломов подтверждается закономерностями формирования провалов и проседаний, выстраивающихся в линию у пос. Нов. Зырянка, в районе БКПРУ-1 и др. Над разломами нередко отмечается повышенная мощность четвертичных отложений [2,6]. Заметим, что раннепермские неактивные разломы в четвертичных отложениях и в современном рельефе, как правило, не выражаются.

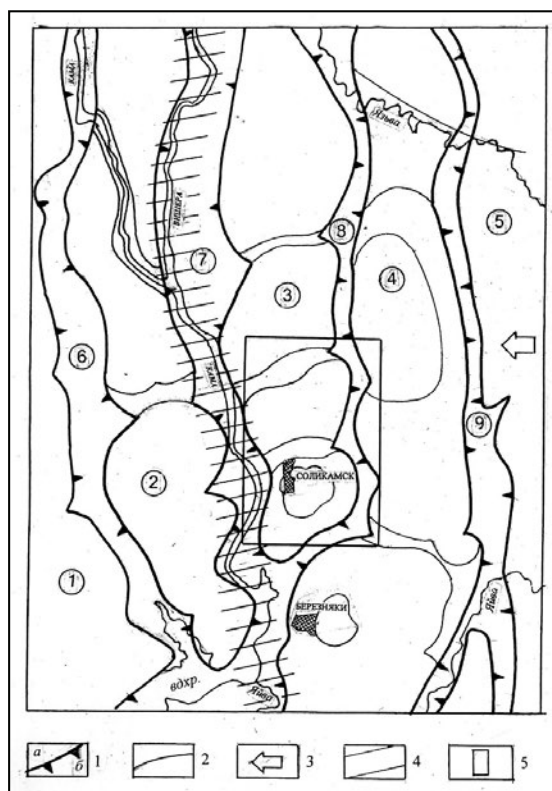
Нашими исследованиями установлено, что неотектонические деформации происходят в совершенно иных условиях, отличных от орогенных позднегерцинских (древних), в которых образовалась Соликамская впадина. Эти условия характеризуются формированием эпиплатформенного периорогенного поднятия, вызванного ростом и расширением Уральского новейшего орогена в направлении Восточно-Европейской платформы. Соликамская впадина вместе с соляной залежью, втягивается в это поднятие с формированием общеуральских субмеридиональных структур.

Таким образом, подчеркнем, что конец поздней перми–начало триаса в условиях интенсивного позднегерцинского орогенеза произошли закрытие Соликамской впадины и деформация выполняющих ее отложений. Образование деформаций связывается как с тектоническими причинами, так и со свойствами соли, способностью ее к течению в особых условиях. Последующий период ознаменовался переходом рассматриваемой территории вместе с горно-складчатым Уралом в субплатформенные условия развития, который про-

должался в течение мезозойско-раннекайнозойского времени. Это привело к формированию обширного пенеппена или эрозионно-денудационного плато, которое подвергается неотектоническим деформациям с позднеолигоцен-раннемиоценового времени и поныне.

На месте прогиба и обширного пенеппена сформировалось предгорье – Предуральское перирогенное поднятие (зона), генетически и динамически связанное с Уральским новейшим орогеном. Восточной границей этого перирогена являются узкие субмеридиональные прогибы, занятые долинами рек Глухая Вильва, Бол. Сурмог и Яйва. Западной границей перирогена так же являются субмеридиональные прогибы, отделяющие его от Восточно-Европейской платформы. К ним приурочены долины рек Кама и Вишера. Эти границы, в пределах которых происходит сочленение разнотипных структур – орогенных, перирогенных и платформенных – относятся к геодинамически активным зонам [3,4].

Предуральская перирогенная зона представлена субмеридиональными поднятиями (Шемейновским, Касибовским, Соликамско-Кокоринским, Осокинско-Половодовским, Ташковским) и прогибами (Сосьвинско-Кондасским, Камско-Вишерским, Зыряновско-Боровским и Вильвинско-Сурмогским). Амплитуда поднятий за новейший этап составляет 150-200 м (рис. 1).



**Рис. 1. Неотектонические структуры Предуральской перирогенной зоны:**

1 – поднятия (а), прогибы (б);  
 2 – структурные линии, подчеркивающие локальные деформации;  
 3 – напряжения сжатия, обусловленные ростом и расширением уральских орогенных деформаций в сторону Восточно-Европейской платформы;  
 4 – геодинамически активная зона (граница Предуральской перирогенной зоны и Восточно-Европейской платформы); 5 – район детальных исследований – Соликамско-Березниковская градопромышленная агломерация.

Цифрами обозначены. Поднятия:  
 1 – Шемейновское, 2 – Касибовское,  
 3 – Соликамско-Кокоринское,  
 4 – Осокинско-Половодовское  
 и 5 – Ташковское; Прогибы:  
 6 – Сосьвинско-Кондасский,  
 7 – Камско-Вишерский,  
 8 – Зыряновско-Боровский  
 и 9 – Вильвинско-Сурмогский

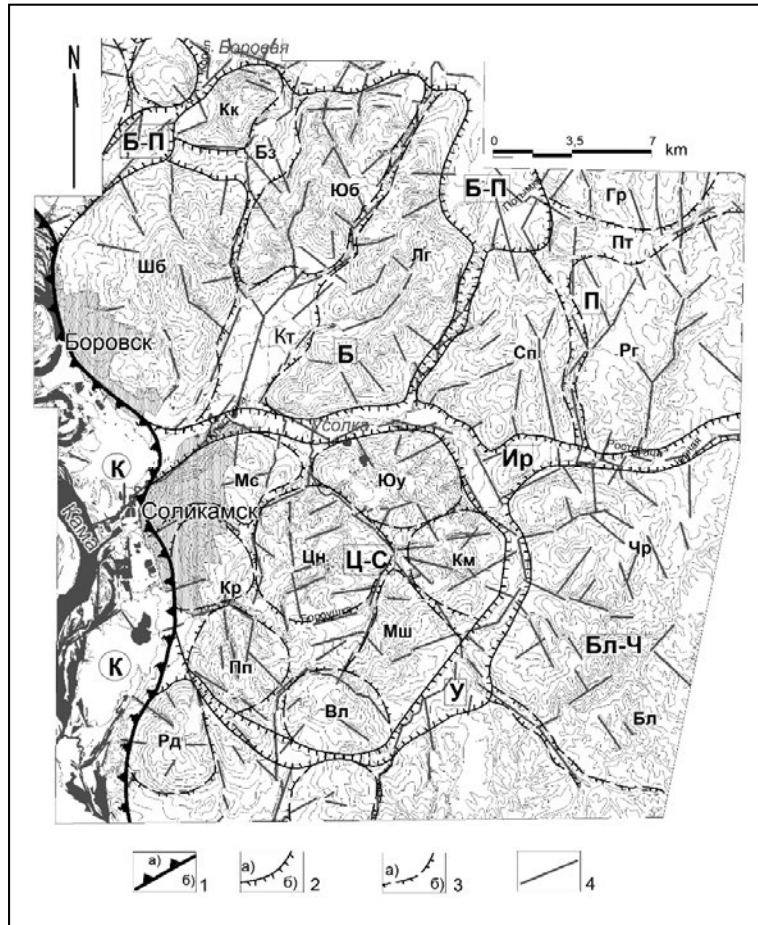
Эти структуры осложнены изометричными поднятиями: Боровским и Центрально-Соликамским. Они несогласно сочленяются друг с другом по Усолкинской геодинамически активной зоне (ГдАЗ). Эти поднятия состоят из менее крупных радиально-кольцевых куполов, относимых к категории малых по размеру, хорошо выраженных в рельефе (рис. 2). Строение этих куполов, оконтуренных узкими эрозионно-тектоническими прогибами шовного типа, указывает на их рост и расширение в условиях субвертикальных напряжений сжатия. Возраст рассматриваемых структур определен как эоплейстоценовый ( $Q_E$ ). Линеаменты, отождествляемые с зонами трещиноватости пород, классифицируются на короткие радиальные, делящие купола на секторы, и протяженные секущие северо-восточного простирания. Линеаменты крайне опасны, поскольку являются проводниками грунтовых вод вглубь разреза в соляную толщу.

Геодинамические условия формирования Боровского и Центрально-Соликамского поднятий и их прогибов, установлены на основе структурно-геоморфологического метода Л.А. Сим, основанного на данных о закономерной ориентировке трещин-линеаментов оперения в зоне динамического влияния сдвига. Результаты предварительных исследований показали, что крупные разломы – Боровицкий и Дуринский, а также Усолковская ГдАЗ – развиваются в условиях левосдвиговых напряжений сжатия северо-восточного простирания. Клестовский прогиб в этих условиях является зоной растяжения.

С целью прогноза опасных процессов и явлений на Верхнекамском месторождении калийных солей неотектонические структуры сопоставлены с погребенными соляными структурами, выделенными по кровле раннепермской каменной соли. Например, установлено, что Клестовский неотектонический прогиб развит над одноименным соляным поднятием, что приводит к развитию деформаций растяжения в погребенном поднятии и интенсивной инфильтрации грунтовых вод в соляную залежь. Центрально-Соликамское неотектоническое поднятие в целом развито над Тверитиновской соляной мульдой, границы которых практически совпадают. В условиях роста неотектонического поднятия по контуру мульды устанавливаются зоны повышенной трещиноватости.

Таким образом, соленые дислокации, образовавшиеся в позднегерцинской впадине, в новейшее время вовлекаются в поднятие в связи с расширением уральского фронта орогенных деформаций в сторону Восточно-Европейской платформы. В настоящее время дислокации соляной и надсоляной толщ, находясь в новейших геодинамических условиях, связанных с развитием современных деформаций растяжения. Подсоляная толща, возможно, испытывает деформации сжатия. Эти деформации определяют развитие интенсивных (опасных) геологических процессов на территории Верхнекамского месторождения калийных солей. Сравнение неотектонических (четвертичных) и раннепермских древних структур по геодинамическим критериям с учетом вещественных условий позволит впервые районировать (типи-

зировать) исследуемую территорию по степени ее устойчивости к воздействию опасных геологических процессов.



**Рис. 2. Неотектонические структуры центральной части**

**Соликамского поднятия (Верхнекамского месторождения калийных солей):**

1 – структуры общеуральского субмеридионального простирания: Камский прогиб (а), Соликамское поднятие (б). 2 – крупные по размеру изометричные поднятия (а), прогибы (б); 3 – малые по размеру изометричные поднятия (а), прогибы (б); 4 – линеаменты.

Буквенные обозначения в круговой рамке: К – Камский прогиб. Буквенные обозначения в квадратной рамке. Поднятия: Б – Боровское, Ц-С – Центральное-Соликамское, П – Половодское, Б-Ч – Бельско-Чуриновское. Прогибы: У – Усолковский, Ир – Иренский, Б-П – Боровско-Потымкинский. Буквенные обозначения без рамки.

Поднятия: Рд – Родниковское, Пп – Поповское, Цн – Центральное, Мс – Малосоликамское, Кр – Коркинское, Вл – Володинское, Кл – Каменно-Лобское, Юу – Южноусолькинское, Сп – Северо-Половодское, Кс – Касимовское, Шб – Шубинское, Кк – Кокоркинское, Лг – Логское, Юб – Южноборовское, Гр – Гребешковское, Зр – Зырянское, Кч – Кочкаринское, Бл – Бельское, Чр – Чуриновское. Прогибы: Бз – Безьянный, Кт – Клестовский, Чрк – Черкенский, Пт – Потымкинский, Ир – Иренский, Бб – Бубровский, Ву – Верхнеусолькинский. Структурные ступени: Мш – Мешалкинская, Рг – Роголинская

## Литература

1. Джиноридзе В.Т., Плотников Ю.А. Геологическая характеристика Верхнекамского калийного месторождения // Методическое руководство по ведению горных работ на Верхнекамском калийном месторождении. М.: Недра, 1992. С. 4-17.
2. Кудряшов А.И. Верхнекамское месторождение солей. 2-е изд. М.: Эпсилон Плюс, 2013. 368 с.
3. Макеев В.М., Макарова Н.В., Леденев В.Н., Дорошко А.Л., Суханова Н.В., Карфидова Е.А., Коробова И.В. Основы концепции геодинамической безопасности экологически опасных сооружений // Геоэкология. 2015. №2. С. 99-111.
4. Макеев В.М. Структурно-геодинамические условия устойчивости особо опасных и технически сложных объектов на древних платформах / Автореф. доктора геол.-мин. наук. Москва, 2015. 50 с.
5. Трифонов В.П. Новейшая тектоника Урала. Геология СССР. Т. 12. Ч. 1. М.: Недра, 1969. С. 205-240.
6. Чайковский И.И. Типизация основных механизмов соляной тектоники мира: Верхнекамское месторождение как эталон многоэтапного гравитационного скольжения // Вестник Пермского университета. №1. 2013. С. 18-37.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ПРИМЕНЕНИЯ ИНФОРМАЦИОННО-ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ MIKE11 ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ ПАВОДКА НА ПРИМЕРЕ КРАСНОДАРСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА

Н.С. Малаева, Н.А. Бесперстова, Е.А. Сидельская

Институт геоэкологии им. Е.М. Сергеева РАН, 101000, Москва, Уланский пер., д. 13, стр. 2.  
E-mail: direct@geoenv.ru  
ООО Центр исследований экстремальных ситуаций, 127015, Москва, ул. Вятская 35, стр. 4.  
E-mail: esrc@esrc.ru

Краснодарское водохранилище расположено в среднем течении реки Кубань в 248 км от ее устья. Площадь зеркала- 394 км<sup>2</sup> (при НПУ = 33,65 м) и полная емкость – 2,91 млрд м<sup>3</sup> (при ФПУ = 35,23 м). Полезная емкость 2,08 млрд м<sup>3</sup>, что составляет 30% среднемноголетнего стока паводкового периода. Суммарная длина сооружений напорного фронта, размещенного в долине р. Кубань выше г. Краснодар, составляет около 23 км, в том числе: земляная плотина – 11,4 км; правобережная оградительная дамба – 11,4 км; бетонные сооружения (водосливная плотина, шлюз, водозабор) – 0,1 км.

За последние годы в связи с мягкими, иногда снежными, зимами участились паводки, наступающие в январе – феврале, что в сочетании со снижением пропускной способности русла вызывает подтопление и затопление территорий на Нижней Кубани. Имеющиеся подпорно-регулирующие и противопаводковые сооружения не позволяют исключить затопление и подтопление территорий.

В результате зимнего паводка 2002 года в Низовье Кубани было 14 прорывов дамб, а июньский паводок 2002 года вызвал 29 прорывов дамб в девяти районах Краснодарского края.

В июне 2002 г. самая тяжелая обстановка складывалась в промышленном городе Армавир, где были подтоплены 3 тыс. домов. Прошедшие накануне ливневые дожди вызвали резкий подъем воды в реках Кубанского бассейна. Раньше подобные ситуации стабилизировали Черкесское и Невинномысское водохранилища и ставропольские водоканалы. Но на этот раз они оказались переполненными водой и вынуждены были начать ее сброс. Вся вода, разлившаяся по востоку Краснодарского края, стекает в главную водную артерию Кубани – р. Кубань, а она несет ее в Краснодарское водохранилище.

По прогнозу специалистов пиковая нагрузка на Краснодарском водохранилище должна была возникнуть 25 июня 2002 г. [2].

Основные проблемы Краснодарского водохранилища следующие:

- 1) не обеспечен безопасный пропуск паводков редкой повторяемости;
- 2) снижение емкости водохранилища (полезной на 20%) вследствие заиления, а также вынужденного снижения НПУ на 0,90 м ;
- 3) не обеспечена требуемая сейсмичность отдельных гидротехнических сооружений, так как повышена расчетная сейсмичность до 8 баллов по сравнению с принятой в проекте – 6-ти бальной [4].

Так же нужно принять во внимание постановление Правительства Российской Федерации №310 от 29 мая 2003 г. «О внесении изменений и дополнений в федеральную целевую программу «Юг России» [3] в котором записано, что «при прохождении ежегодных паводков (июль – сентябрь) водность рек, особенно на северном склоне Большого Кавказского Хребта, увеличивается в десятки раз, что приводит к затоплениям обширных территорий и наносит значительный материальный ущерб».

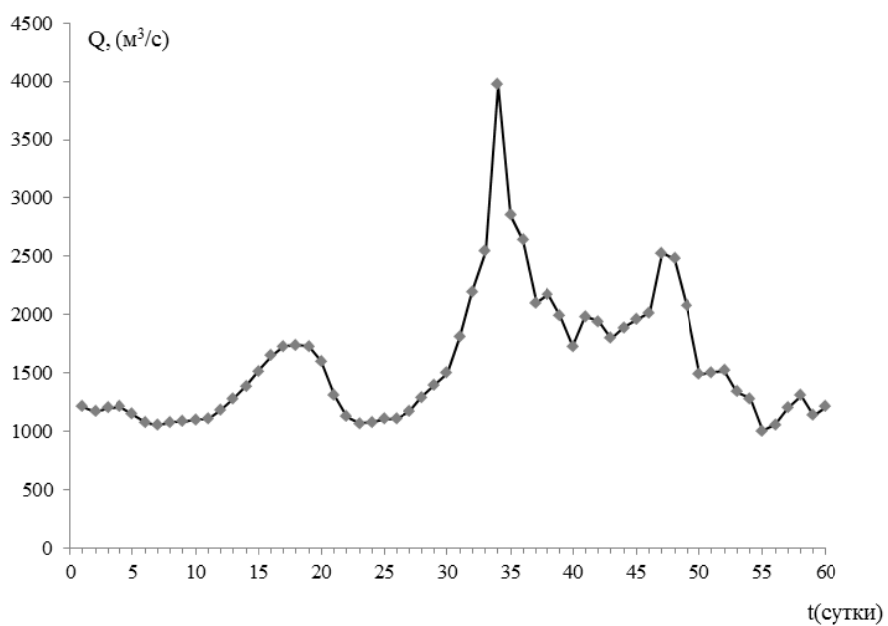
Исходя из краткого описания проблем, можно сказать, что задача определения зоны затопления при аварии на гидроузле Краснодарского водохранилища является актуальной.

Из большого числа возможных сценариев развития аварии на гидротехнических сооружениях Краснодарского водохранилища, был принят сценарий: прохождение паводка с 0,01% обеспеченностью через водосбросные сооружения напорного фронта водохранилища при сохранении несущей способности сооружения. Этот сценарий был зарегистрирован в 1931 г.

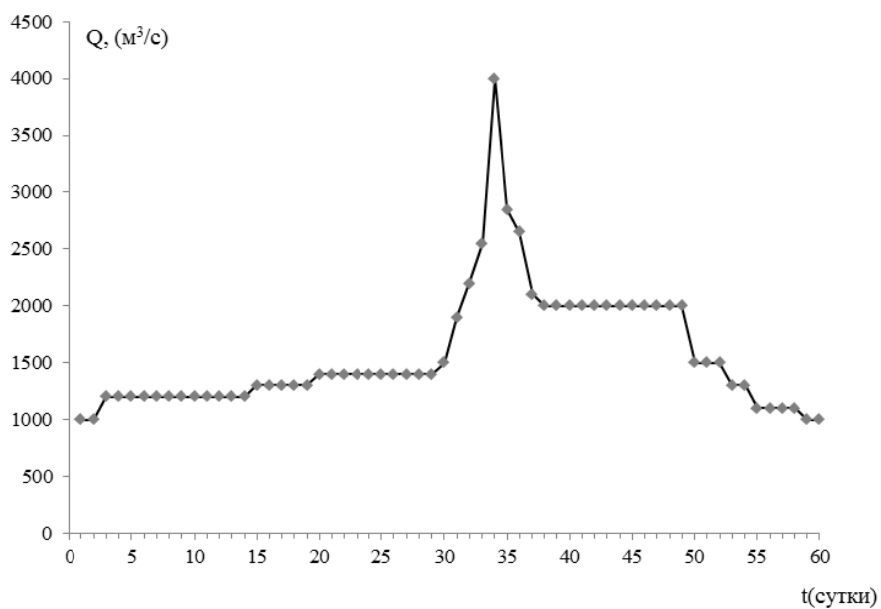
Расчетный гидрограф основной волны половодья представлен на (рис. 1).

Одна из важных особенностей системы MIKE11 – ее модульная структура. Ядром моделирующей системы является модуль гидродинамики (HD), на основе которого формируются другие модули системы: поверхностного стока (RR), прогноза паводков (EF), качества воды (WQ) и переноса наносов (ST), модуль прорыва плотин (DB). Модуль гидродинамики реализован на основе нестационарных одномерных уравнений Сен-Венана, с использованием неявной конечно-разностной схемы для расчета неустановившихся течений.





**Рис. 1. Расчетный гидрограф основной волны половодья 0,01% обеспеченности р. Кубань – г. Краснодар 1931 г.**



**Рис. 2. Аварийный гидрограф пропуска паводковых вод**

Для построения границы зоны возможного затопления при аварии на гидротехнических сооружениях Краснодарского водохранилища наибольший интерес представляет модуль DB, который предназначен для моделирования прорыва плотин, дамб обвалования и промышленных накопителей. К преимуществам модуля относятся:

- Различные сценарии прорывов сооружений;
- Моделирование поверхностного или донного размыва грунтовых плотин и дамб;
- Определение волны излива при разрушении секций гравитационных плотин, затворов водопропускных сооружений и ворот шлюзов;
- Прорывы на ГТС любого класса;
- Моделирование первичных и вторичных прорывов (каскада водохранилищ) [1].

На первом этапе работы была поставлена задача проверки точности построения гидрографа.

Аварийный гидрограф, полученный в модели, представлен на (рис. 2). Поскольку на первом этапе были получены удовлетворительные результаты, было принято решение построить карту глубин на затопляемых территориях и определить глубины затопления населенных пунктов, попадающих в зону возможного затопления при аварии на гидротехнических сооружениях Краснодарского водохранилища.

Результаты расчета представлены в таблице.

*Таблица*

**Глубины затопления населенных пунктов**

|         | <b>Республика Адыгея</b> | <b>Краснодарский край</b> |
|---------|--------------------------|---------------------------|
| до 0,5  | 4                        | 16                        |
| до 1    | 7                        | 5                         |
| до 1,5  | 3                        | 18                        |
| до 2    | 2                        | 7                         |
| до 3    | 4                        | 10                        |
| Более 3 | -                        | 1                         |

Всего в зону затопления попадает 77 населенных пунктов, из них 24, где глубина затопления превышает 1,5 м.

По результатам моделирования можно дать следующие рекомендации:

1) Для территорий, где глубина затопления превышает 1,5 м, требуется проводить дополнительные мероприятия по их защите в соответствии со СНиП 2.06.15-85 «Инженерная защита территорий от затопления и подтопления».

2) Для снижения возможного экономического ущерба и защиты населения, проживающего в зоне затопления, необходимо:

- восстановить и реконструировать ограждающие дамбы поселений;
- принять меры по восстановлению проектной ёмкости Краснодарского водохранилища и расчистке русла реки Кубань в нижнем бьефе.

### Литература

1. MIKE11 – a Modelling System for River and Channels. Reference Manual, DHI Water Environment Health. – Denmark, 2008.
2. Катастрофические наводнения начала XXI века: уроки и выводы – М.: ООО «ДЭКС-ПРЕСС», 2003 год, под общей редакцией Воробьева Ю. Л., с.82-116.
3. «О внесении изменений и дополнений в Федеральную целевую программу «Юг России» – постановление Правительства РФ от 29 мая 2003 года №310.
4. Кузнецов Г.П. Патент №2440454.

## ПОДХОДЫ К ОЦЕНКЕ ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКИХ ОГРАНИЧЕНИЙ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ НА ОСНОВЕ СОИЗМЕРИМЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ

**Т.Б. Минакова**

Институт геоэкологии им. Е.М. Сергеева РАН, 101000, Москва, Уланский пер., д. 13, стр. 2  
E-mail: yasenevo312@mail.ru

При проектировании необходимы не только выявление геоэкологических ограничений, определение их состава, свойств, распространения, но и оценка степени их опасности для освоения (реорганизации) территории, проживания человека и его деятельности. Однако существующее множество весьма разнообразных геоэкологических ограничений, одновременное сочетание нескольких их видов – природных и градоэкологических – затрудняет такую оценку [1,3]. Значение одних и тех же ограничений применительно к различным реципиентам (человеку, природным компонентам, зданиям и сооружениям) неодинаково. Оценка геоэкологических ограничений многофакторная задача, когда учитывается взаимосвязь между воздействием (опасность со стороны ограничения) – реципиентом (функционально-планировочным образованием) – реакцией реципиента на воздействие.

Геоэкологические ограничения характеризуются разными физическими единицами измерения, чисто арифметически их нельзя сложить и получить результат степени опасности участка к тому или иному виду освоения или использования. Поэтому оценочный показатель каждого ограничения следует перевести в некую условную единицу, обеспечивающую соизмеримость получаемых интегральных результатов.

В настоящее время известно множество методов совмещения оценок разнородных факторов, определения весовых коэффициентов: факторного и дисперсионного анализа, вероятностный, статистический, корреляционный, ранговых распределений, коэффициентов информативности, экспертной оценки, преобразования шкалы рангов в шкалу коэффициентов весомости и др. Наиболее распространенный метод оценки значимости различных факторов – метод ранжирования. Он применяется для упорядочения объектов во

времени или пространстве. Однако его результаты отражают только место каждого фактора относительно других, но не отражают его значимость. Экспертные оценки страдают субъективизмом и трудны в организационном плане. Классификационный метод требует очень детального описания и анализа многих различных факторов. Известны четыре типа шкал, из них шкала отношений используется для факторов, представленных количественно, а интервальная – отражает предпочтительность объект относительно другого и на сколько. Преимущество метода сравнения факторов заключается в том, что одна выражаемая количественно шкала принимается за базовую, другие – измеряются по ней. Важность отдельных факторов можно устанавливать методом обратной связи, в основе которого лежит принцип обратной реакции объекта на воздействие. При этом приоритетность факторов устанавливается по последствиям ответной реакции, измеряемым, например – величиной ущерба.

Во многих исследованиях, связанных с оценкой геоэкологической безопасности строительства и взаимодействия природных компонентов с техническими объектами, привлекаются названные методы (Богомолов А.И., Большеротов А.Л., Графкина М.В., Ивашкина И.В., Кофф Г.Л., Пятковский О.И., Лютова Л.В., Фаддеев А.О., Царев В.В. и др.). Однако каждый из используемых методов имеет свои недостатки.

На сегодня отсутствует единый подход к оценке геоэкологических ограничений. Известно, что большая достоверность результатов, необходимых для проектирования, обеспечивается количественной территориально дифференцированной оценкой. В условиях рыночных преобразований, нестабильности цен, отсутствия нормативной базы и т.д. привлечение соизмеримых количественных значений весьма сложно. При решении многофакторной задачи оценки геоэкологических ограничений для соизмеримости показателей приходится использовать сочетание нескольких подходов: формирование базовой балльной шкалы, расчет коэффициентов весомости и коэффициентов обратной связи. Обоснованием соизмеримости этих показателей является принятие в качестве единой основы оценки – стоимостное выражение всех параметров, приведенное к настоящему моменту времени и нормированное к единице площади. Привлечение денежных единиц дает возможность сопоставления в поле единой размерности всех учитываемых факторов.

Цель оценки геоэкологических ограничений – обеспечение благоприятной для жизнедеятельности геоэкологической обстановки, а критерий оценки – степень их опасности для человека, объектов промышленно-гражданского строительства, биоценозов и др. Поэтому для базовой балльной шкалы предлагается привлечь показатели затрат на нейтрализацию ограничений в денежных единицах, соответствующих, например, дополнительным капитальным вложениям, удорожанию освоения территории из-за усложнения инженерной подготовки территории, необходимости проведения санации почв, рекультивации засоренных и захламленных земель и др. Принимаемые значения таких стоимостных показателей соответствуют размерам удельных на 1 га затрат, необходимых для приведения фактических показа-

телей до уровня нормативных. Соотношение подобных величин затрат на нейтрализацию различных ограничений – основа для создания взвешенной нормированной балльной шкалы оценок. Баллы в ней распределяются по видам ограничений в соответствии с их общей опасностью. Для получения комплексной оценки подобная шкала принимается за базовую, под нее подстраиваются поправочные коэффициенты, отражающие весомость других учитываемых факторов.

Поправочный к базовой шкале коэффициент весомости реципиентов – функционально-планировочных образований – устанавливается для конкретной территории как величина, пропорциональная величинам официальной кадастровой оценки, несмотря на их недостатки.

При проектировании освоения или реорганизации городской территории важно установить зависимость уровня здоровья населения, характера застройки и устойчивости природных компонентов от того или иного вида ограничения. Для этого предлагается использовать метод обратной связи, в основе которого лежит принцип возможной реакции реципиента на воздействие геоэкологических ограничений. Коэффициенты восприятия реципиентом ограничений устанавливаются на основе анализа соотношения известных величин ущерба, балльных оценок, приведенных в соответствующих утвержденных методиках, а также на основе собственных расчетов потенциального ущерба от несоблюдения ограничивающих условий. Для обоснованной систематизации этих коэффициентов предлагается представить их по трем категориям в соответствии с возможными последствиями для реципиентов: человека – а) дискомфорт, б) заболевание, в) гибель; зданий – а) слабая деформация, б) сильная деформация, в) разрушение; природных компонентов – а) изменение обратимого характера, б) снижение способности к самовосстановлению, в) неспособность к самовосстановлению.

Таким образом, определение поправочных коэффициентов на основе стоимостных показателей, позволяет перейти к интегрированию в единый показатель оценки опасности ограничений. Доминирующий параметр определяет максимальный уровень опасности геоэкологических ограничений для освоения (реорганизации) территории.

Рассмотренный подход к оценке геоэкологических ограничений был апробирован на модельной территории.

Массив исходных материалов комплектовался по картографическим и фондовым материалам, данным обследований отдельных инженерных объектов и природных компонентов. С формальной точки зрения оценка городской территории по опасности геоэкологических ограничений представила собой матрицу 104x10, строки которой соответствуют полученным в результате наложения карты функциональных участков на карту природных и техногенных ограничений – операционным единицам [2]. Столбцы матрицы – базовая балльная шкала оценки опасности отдельных видов ограничений. В данных расчетах 1 балл соответствовал 500 тыс.экол.руб. Строки содержат вид функционального назначения операционной единицы, ее общую площадь и площади распространения различных видов ограничений в ее пределах,

коэффициенты значимости реципиентов, а также коэффициенты, отражающие восприятие данным реципиентом конкретного ограничения (Табл.). При выборе поправочного коэффициента реакции реципиента принимались во внимание особенности его характеристики (состояние, возраст и т.п.), а также интенсивность проявления ограничения и его распространение в пределах операционной единицы. Дополнительно учитывались площади градостроительных законодательно установленных ограничений для освоения: санитарно-защитные и водоохранные зоны, особо охраняемые территории, а также конфигурация функциональных участков и т.п.

Таблица

**Значения баллов ( $N_p$ ,  $N_q$ ) и коэффициентов ( $k_r$ ,  $k_{грq}$ ) для интегральной оценки опасности геоэкологических ограничений (пример для модельной территории)\*\***

| Индекс реципиента* / $k_{грq}$ | Геоэкологические ограничения*** / $N_{pq}$ балл/га      |    |     |    |   |    |     |      |    |     |
|--------------------------------|---|----|-----|----|---|----|-----|------|----|-----|
|                                | I   | II | III | IV | V | VI | VII | VIII | IX | X   |
|                                | 5,5   | 2  | 3   | 2  | 2 | 7  | 2,5 | 7    | 7  | 2,5 |
|                                | Коэффициенты реакции реципиентов на ограничения – $k_r$ |    |     |    |   |    |     |      |    |     |
| A1                             |   | 2  |     | 1  | 1 |    |     |      |    |     |
| 1,00                           |   | 3  |     | 3  | 2 |    |     |      |    |     |
| A2                             |   | 2  |     | 1  | 1 |    |     |      |    |     |
| 0,43                           |   | 3  |     | 3  | 2 |    | 1   |      |    |     |
| B1                             |   | 2  | 3   | 1  | 1 |    |     |      |    |     |
| 0,55                           | 2   | 3  | 5   | 3  | 2 | 3  |     |      |    |     |
| B1                             |   | 2  | 3   | 1  | 1 |    |     |      |    |     |
| 0,92                           | 2   | 3  | 5   | 3  | 2 | 3  |     |      |    |     |
| Г1                             |   | 2  | 3   | 1  | 1 |    |     | 2    | 2  | 1   |
| 0,31                           | 2   | 3  | 5   | 3  | 2 | 3  |     | 3    | 3  | 2   |
| Г5                             |   | 2  | 3   | 1  | 1 |    |     | 2    | 2  | 1   |
| 0,33                           | 2   | 3  | 5   | 3  | 2 | 3  |     | 3    | 3  | 2   |

\* Индексы реципиентов соответствуют Положению о видах функционального, строительного, ландшафтного назначения участков территории г. Москвы (по состоянию на 2011 г.). Приказ Москомархитектуры от 25.04.2002 N 89.

По каждому реципиенту верхняя строка соответствует категории последствий «а», нижняя – категории «б»

\*\* Значения символов приведены ниже (см. формулу).

\*\*\* Геоэкологические ограничения на модельной территории: I-техногенные грунты, II – подтопление, III – суффозионно-карстовая опасность, IV и V – геохимически загрязненные почвы и растительность, VI – радиационное загрязнение почв, VII – загрязненные донные отложения, VIII – промышленные свалки, IX и X предприятия II-III и IV V классов опасности.

В итоге база данных содержит 1270 элементов. Вычисление матрицы осуществлялось программными средствами, реализующими математическую модель оценки. Степень опасности геоэкологических ограничений определялась по каждой операционной единице, как средневзвешенная величина по всей совокупности видов ограничений в ней ( $O_m$ ):

$$O_m = \left( \sum_{p=1}^3 S_{pm} \times N_p \times k_{rm} \times k_{pr} + \sum_{q=1}^8 S_{qm} \times N_q \times k_{rm} \times k_{qr} \right) / S_m,$$

где где  $m$  – индекс операционной единицы;  $p$ – индекс природного вида ограничения;  $q$  – индекс техногенного вида ограничения;  $r$  – индекс функционально-планировочного образования;  $S_m$  – площадь  $m$ -й операционной единицы, га;  $S_{pm}$  и  $S_{qm}$  – площади распространения, соответственно, природных  $p$ -вида и техногенных  $q$  – вида ограничений в  $m$ -й операционной единице, га;  $N_p$  и  $N_q$  – базовые оценки опасности ограничений, соответственно, природного  $p$ -вида и техногенного  $q$  – вида, балл/га;  $k_{rm}$  – весовой коэффициент реципиента  $r$ -вида в  $m$ -й операционной единице;  $k_{rp}$  и  $k_{rq}$  – коэффициенты реакции реципиента  $r$ -вида на ограничения соответственно  $p$ -вида и  $q$ -вида.

Полученная интегральная удельная количественная оценка – основа для районирования данной территории по геоэкологическим ограничениям. Конечно, предлагаемый подход к оценке опасности геоэкологических ограничений до внедрения его в проектирование, требует доработки. Однако на сегодня он кажется наиболее приемлемым, до разработки коэффициентов на уровне нормативных, еще далеко. В целом данный подход, отражая территориальную дифференциацию, позволяет оценивать как современную опасность геоэкологических ограничений, так и перспективную при разработке генпланов городов, проектов реорганизации и освоения новых территорий.

#### Литература

1. Заиканов В.Г., Минакова Т.Б. Геоэкологические ограничения и районирование урбанизированной территории для градостроительного проектирования. Сергеевские чтения вып.17. Инженерно-геологические и геоэкологические проблемы городских агломераций. – М.: РУДН, 2015. – С. 549-554
2. Заиканов В.Г., Минакова Т.Б., Булдакова Е.В. Теоретические основы и методические подходы к районированию урбанизированных территорий по геоэкологическим ограничениям. – 2016 (в печати ж. Геоэкология).
3. Минакова Т.Б., Толстая Ю.П., Сависько И.С., Рябенко А.Е. Оценка градозэкологических ограничений на городской территории. Сергеевские чтения. Вып. 17. Инженерно-геологические и геоэкологические проблемы городских агломераций. – М.: РУДН, 2015. – С. 45-51.

## ГЕОИНФОРМАТИКА В ИГЭ РАН

**О.К. Миронов**

Институт геоэкологии им. Е.М. Сергеева РАН, Москва, 101000, Уланский пер. 13.

E-mail: [geoinf@geoenv.ru](mailto:geoinf@geoenv.ru)

Применение компьютеров в теоретических и прикладных исследованиях в настоящее время стало общеупотребительным. Лаборатория геоинформатики и компьютерной картографии была создана еще в ИГЦ РАН в 1965 г. К 25-летию Института геоэкологии им. Е.М. Сергеева РАН в этой заметке дается краткий обзор основных направлений работы лаборатории за прошедшие 20 лет.

### **Компьютерная картография**

Результаты геоэкологических исследований включают разнообразные картографические материалы – промежуточные и итоговые карты, геологические разрезы и др.

Компьютерное оформление составленных традиционным способом карт – наиболее понятное применение вычислительной техники в картографии для большинства незнакомых с компьютерными технологиями людей. Многие пользователи и сейчас придерживаются мнения, что это – единственный возможный способ применения компьютеров.

Компьютерная революция в оформлении карт сопоставима с изобретением компьютерных средств для подготовки и редактирования текстов. Компьютерное редактирование значительно упрощает техническую часть процесса составления карт, однако предъявляет более жесткие требования в части соблюдения формальных требований. Нарушения согласованности информации, не замеченные или считавшиеся несущественными в процессе ручного составления карт, не укладываются в формализованные модели и легко выявляются программными средствами контроля.

В компьютерной картографии выделяются два существенно различных класса моделей:

- модель картографического произведения;
- картографическая модель окружающего мира.

В аналогии с подготовкой текстов 1-й класс соответствует оригинал-макету печатного издания со всеми присущими ему оформительскими изысками. 2-й класс моделей соответствует различным лингвистическим и смысловым моделям текста.

Картографические модели окружающего мира используют формализованное представление расположения исследуемых объектов в координатной системе, связанной с картографической проекцией поверхности Земли. Наиболее часто употребляются векторное представление точечных, линейных и площадных объектов и растровое представление значений пространственно



распределенных показателей (геополей). Основная цель создания такой модели – обеспечить возможность применения разнообразных способов математической обработки данных. Особенности картографического представления данных, например, крап, стиль подписей и другие оформительские параметры в этих моделях либо не используются, либо имеют второстепенное значение.

Детализация оформления в модели картографического произведения может нарушать формальные правила представления данных в моделях окружающего мира, например, при использовании немасштабных знаков, разрывов изолиний для вставки надписей и др. Подобные "дефекты" могут существенно затруднять непосредственное использование картографического произведения в процедурах картографического анализа.

В практике ИГЭ РАН принята следующая последовательность действий при составлении карт. Сначала создается картографическая модель окружающего мира, эта модель проходит стадии формальной и содержательной проверки, а затем на ее основе при необходимости создается картографическое произведение.

Все созданные картографические модели включаются в информационный фонд института.

### **Составление синтетических карт**

Одной из традиционных задач геоэкологии является комплексная оценка ситуации на изучаемом объекте. Ответ часто оформляется как интегральная карта, показывающая обобщенные характеристики территории.

В геоинформатике подобные задачи обычно решаются с помощью нахождения пересечения зональных карт, отражающих различные аспекты исследований. Области пересечения наследуют атрибуты исходных тематических карт, по этим наборам атрибутов проводится их классификация и составляется новая карта на основе обобщенного показателя.

Применение геоинформационных технологий позволяет снять технические трудности процесса подготовки данных и сосредоточиться на содержательной задаче классификации.

В практике ИГЭ РАН такие задачи были решены по программе "Безопасность Москвы" в 1995 г. при составлении итоговых карт геологического и геохимического риска масштаба 1:50000. В 2007 г. по заказу НИИиПИ Генплана Москвы была составлена "Карта геоэкологического состояния территории г. Москвы", на которой показаны зоны распространения опасных геологических процессов.

Наиболее сложный проект составления интегральных карт, выполненный в ИГЭ РАН – карта инженерно-геологического районирования территории Москвы масштаба 1:10000, при составлении которой были объединены 10 тематических слоев [11].

Основное требование к интегральным картам – содержательное истолкование итогового показателя. Например, при составлении карт рисков используются ожидаемые величины потерь в натуральном или стоимостном

выражении, вероятности возникновения чрезвычайных ситуаций, то есть величины, которыми в принципе могут пользоваться конечные пользователи карт. Если интегральная карта дает качественную оценку, то каждая применяемая градация также должна быть определена в терминах, понятных конечному потребителю. Популярный в ряде исследований расчет баллов, рейтингов и т. п. в построении интегральных карт может рассматриваться только как техническое средство для получения искомого зонирования, но не как самостоятельный результат [4].

### **Крупномасштабное геологическое картографирование Москвы**

Крупномасштабное геологическое картографирование территории Москвы было выполнено в 2007-2009 гг. по заказу Правительства Москвы под научным руководством ИГЭ РАН [1,10]. Комплект включает 12 карт разнообразной тематики (10 карт масштаба 1:10000 и по одной карте масштабов 1:50000 и 1:25000). Некоторые из этих карт были позднее актуализированы в соответствии с полученными новыми данными.

Важность крупномасштабных геологических карт для развития города, методика их составления и научные выводы, сделанные в процессе составления карт, описаны в многочисленных публикациях, см. например, [2,3]. Здесь мы укажем только на главные геоинформационные уроки этого проекта [5,6].

1. Была продемонстрирована принципиальная возможность составления комплекта геологических карт на городскую территорию, основанная только на информации геологического фонда без производства новых изысканий.

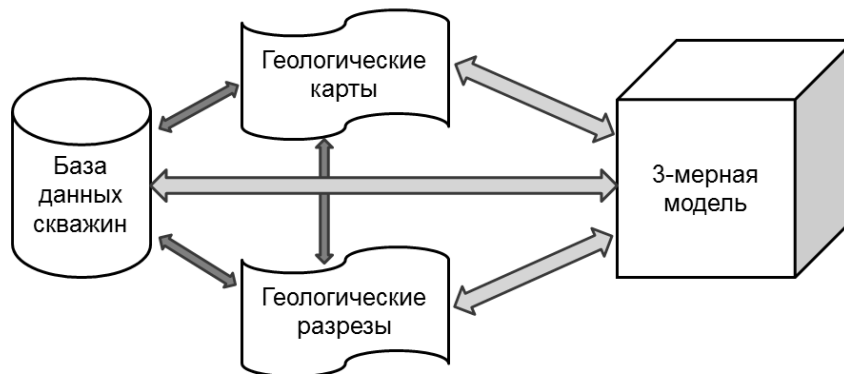
2. Для выполнения проекта разработана информационная система, которая обеспечивает интеграцию ведения фондовой информации и технологического процесса составления крупномасштабных геологических карт и разрезов, позволяющая проводить обновление или составление новых картографических произведений по мере поступления новой информации.

3. Было опровергнуто мнение о возможности полного доверия исходным архивным документам, хранящимся в фонде. В действительности ни один из разделов информационной триады "буровые журналы скважин – карты – разрезы" не может считаться достоверным априори изолированно от двух других блоков. В идеале согласование достигается в 3-мерной геологической модели (рис. 1).

Разработанные информационные технологии позволяют в процессе составления карт, разрезов и ведения базы исходных фондовых данных контролировать согласованность информации [8].

Созданная информационная система может рассматриваться как прототип общей системы геологической среды города. Предстоит ее расширение в первую очередь с точки зрения решаемых задач, связей с другими городскими информационными системами, изменений масштабного ряда картографируемых объектов. Функциональные изменения с необходимостью повлекут за

собой изменения в составе и структуре баз геоданных и процедурах информационного наполнения и использования системы.



**Рис. 1. Информационные связи между блоками исходной информации и 3-мерной моделью [9].**

К сожалению, в настоящее время необходимость создания общей информационной системы не осознана лицами, принимающими решения. Они готовы удовлетвориться бумажными документами и картами.

### **3-мерное геологическое моделирование**

Знание расположения геологических тел в пространстве необходимо для корректного проведения фундаментальных и прикладных исследований в разнообразных науках о Земле. Традиционные способы представления информации – геологические карты и разрезы – представляют собой лишь 2-мерные срезы 3-мерных объектов и не обеспечивают полноты информации.

Геологические данные по существу трехмерны, поэтому требуемую полноту информации могут представить только 3-мерные модели геологической среды. Модель, представляющая согласованное геометрическое расположение геологических тел в пространстве, названа в [7] 3-мерной геологической картой.

Технология составления 3-мерных геологических карт являются естественным продолжением описанной выше информационной системы. Каждое геологическое тело задается поверхностями его кровли и подошвы. Исходные данные для интерполяции этих поверхностей снимаются с геологических разрезов.

Основные задачи 3-мерного геологического моделирования:

– получение целостного представления об исследуемой области 3-мерного геологического пространства (аналог 2-мерной картографии);

– подготовка исходной информации для гидрогеологических, геотехнических и других расчетов с применением методов математического моделирования.

Для составления карты гидрогеологических окон [12] в ИГЭ РАН была составлена 3-мерная модель дочетвертичных отложений на территории Москвы, соответствующую горизонтальному масштабу 1:10000 [9]. На ее основе были рассчитаны мощности юрских и каменноугольных водоупоров, которые, в свою очередь, использовались для расчета времени фильтрации загрязнений с поверхности Земли в Подольско-Мячковский водоносный горизонт.

Существующая технология составления 3-мерной геологической карты предполагает априори заданный порядок вертикальной последовательности геологических тел. Дальнейшее развитие предполагает определение этой последовательности в автоматическом режиме, обработку включений линз и разрывных нарушений.

#### Литература

1. Антипов А.В., Майоров С.Г., Осипов В.И., и др. Инновационный проект по крупномасштабному специализированному геологическому картографированию территории города Москвы. Инженерные изыскания для строительства: практика и опыт Мосгоргеотреста. М.: Изд-во "Проспект", 2012, с. 154-180.
2. Кутепов В.М., Козлякова И.В., Анисимова Н.Г., Ерёмина О.Н., Кожевникова И.А. Оценка карстовой и карстово-суффозионной опасности в проекте крупномасштабного геологического картирования г. Москвы. Геоэкология, инженерная геология, гидрогеология, геокриология. 2011. №3, с. 215-226.
3. Кутепов В.М., Козлякова И.В., Анисимова Н.Г., Ерёмина О.Н., Кожевникова И.А. В.М.Кутепов, Н.Г.Анисимова, О.Н.Ерёмина, И.А.Кожевникова, И.В.Козлякова. Карта дочетвертичных отложений как основа крупномасштабного геологического картирования территории г. Москвы. Геоэкология, инженерная геология, гидрогеология, геокриология. 2011. №5, с. 399-410.
4. Миронов О.К. Критические замечания о методах составления интегральных карт опасностей. Сергеевские чтения, Вып. 9. М.: Геос, 2007, с. 235-239
5. Миронов О.К. Геоинформационные технологии для составления крупномасштабных геологических карт территории Москвы. Геоэкология, инженерная геология, гидрогеология, геокриология, 2011, №3, с. 200-216.
6. Миронов О.К., Викторов А.А., Фесель К.И. О проблемах ведения баз данных фондовой информации. Геоэкология, инженерная геология, гидрогеология, геокриология, 2011, №5, с. 455-464.
7. Миронов О.К., Пикулик Е.А., Фесель К.И.. О понятии трехмерной геологической карты. Геодезия и картография, 2011, №6, с. 36-41.
8. Миронов О.К. О концепции базы знаний в фондах геологической информации. Сергеевские чтения. Вып. 16. М.: РУДН, 2014, с. 595-599.
9. Миронов О.К. Трехмерная модель дочетвертичных отложений на территории Москвы. Сергеевские чтения. Вып. 17. М.: РУДН, 2015, с. 51-56.
10. Осипов В.И. Крупномасштабное геологическое картирование территории г. Москвы. Геоэкология, инженерная геология, гидрогеология, геокриология. 2011. №3, с. 195-197.
11. Осипов В.И., Бурова В.Н., Заиканов В.Г., Молодых И.И., Пырченко В.А., Савицько И.С.. Карта крупномасштабного (детального) инженерно-геологического районирования

территории г. Москвы. Геозкология, инженерная геология, гидрогеология, геокриология. 2011. №4, с. 306-318.

12. Позднякова И.А., Галицкая И.В., Миронов О.К., Костикова И.А., Дорожко А.Л., Батрак Г.И., Матвеева Л.А., Фесель К.И. Выявление гидрогеологических окон на основе крупномасштабного картирования геологического строения и гидрогеологических условий территории г. Москвы // Геозкология, инженерная геология, гидрогеология, геокриология. 2015, №4, с. 352-364.

## **ПРИМЕНЕНИЕ 3-МЕРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ДЛЯ ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИХ ЗАДАЧ**

**О.К. Миронов**

Институт геозкологии им. Е.М. Сергеева РАН, Москва, 101000, Уланский пер. 13.  
E-mail: geoinf@geoenv.ru

Подготовка исходной информации для задач математического моделирования – одно из актуальных применений 3-мерного моделирования геологической среды. В этой заметке описывается использование 3-мерных геологических моделей для гидрогеологических расчетов на примере задачи гидрогеологического моделирования для одного из объектов транспортной инфраструктуры Москвы (Алабяно-Балтийского тоннеля).

Гидрогеологическое моделирование – решение уравнений с частными производными, описывающих процесс фильтрации, – опирается на агрегированную информацию о геологическом строении и свойствах грунтов.

В вычислительных схемах программного средства ModFlow моделируемая толща разбивается на последовательно залегающие друг над другом слои. Для каждого слоя необходимо определить абсолютные отметки его кровли и подошвы, рассчитать мощность и задать коэффициенты вертикальной и горизонтальной фильтрации. Все данные задаются в растровом формате в виде значений в узлах квадратной сетки. Сведения об установившихся уровнях подземных вод задаются в том же формате.

В работе [1] сформулирована концепция 3-мерной геометрической модели, описывающей согласованное расположение геологических тел, названной 3-мерной геологической картой, и способы ее составления. Нетрудно заметить, что описанные выше требования к исходной геометрической информации для гидрогеологической модели полностью соответствуют изложенной в [1] структуре данных. Необходимо только точно определиться с перечнем геологических тел и способом задания конкретных числовых значений.

Гидрогеологическая модель должна быть построена для буферной зоны объекта радиусом в несколько километров. 3-мерная геологическая модель создается на участке несколько большей площади, чем зона гидрогеологического моделирования, для исключения "краевых эффектов" вблизи границ.

Поскольку модель создается в том числе для зон на значительном расстоянии от объекта, в дополнение к данным детальных изысканий для строительства необходимо привлекать архивные данные инженерно-геологических изысканий, а также информацию геологических и гидрогеологических карт. Как объяснено в [1,2,5], интерполяция только по данным изыскательских скважин не может дать достоверного результата, поэтому исходная информация скважин дополняется для интерполяции данными с геологических разрезов.

Для решения задачи на описываемом объекте вся моделируемая толща была вертикально разделена по кровле келловей-оксфордских отложений на две части. Особенности геологического строения определяют существенные различия в возможностях 3-мерного моделирования и достоверного представления согласованного геометрического расположения геологических тел для этих частей.

Как и на всей территории Москвы, на рассматриваемом участке келловей-оксфордские юрские отложения и лежащие ниже каменноугольные отложения характеризуются согласованным характером залегания. В качестве слоев 3-мерной модели в этой толще выбраны 6 подсвит верхнекаменноугольных отложений и нерасчлененные келловей-оксфордские юрские отложения. При гидрогеологическом моделировании каждый слой принимается однородным и характеризуется единым коэффициентом фильтрации.

Как описано в [1], 3-мерная геологическая модель строится последовательно снизу вверх. Поверхность подошвы следующего геологического тела определяется как поверхность кровли объединения нижележащих геологических тел (для самого нижнего – нижняя граница построения модели – кровля среднеюрских известняков). Таким образом, для построения модели достаточно по порядку определить области распространения геологических тел в плане и поверхности их кровель.

Построение 3-мерной геологической модели включает следующие шаги:

1. Составление базы данных исходной информации (колонок изыскательских скважин) и отбор изыскательских скважин для построения модели. Для построения 3-мерной модели описываемого участка были использованы 522 скважины суммарной глубиной 16125,7 м. При отборе учитываются общие представления о геологическом строении исследуемого участка, пространственное расположение, глубина и достоверность описания скважин.

2. Составление геологических разрезов для моделируемой области. Выбор линий разрезов и их протяженность определяются необходимостью учета региональных особенностей, соответствующих используемому масштабу. Для повышения точности сетка разрезов сгущена возле объекта. Были составлены 33 геологических разреза общей протяженностью 160,8 км.

3. Определение областей распространения каждого слоя модели в плане.

4. Отбор информации о высотных отметках слоев с геологических разрезов и интерполяция этих данных на всю область распространения слоя.

5. Расчет мощностей геологических слоев.

6. Экспорт информации в гидрогеологическую модель.

В процессе составления геологического разреза технология предусматривает интерактивный обмен данными с базой данных скважин, геологическими картами, другими разрезами [2,3]. Это необходимо для исправления ошибок, допущенных при вводе или интерпретации исходной информации, и для согласования геологической информации в информационной системе "база данных скважин – геологические карты – геологические разрезы". Важно отметить, что достоверность данных ни одного из исходных информационных блоков (колонок скважин, карт, разрезов) не может быть установлена изолированно от двух других блоков. При составлении 3-мерной модели используются дополнительные процедуры согласования данных.

Точки, в которых фиксируются отметки поверхностей для интерполяционных расчетов, расставляются на линиях разрезов равномерно, с учетом точек скважин, через которые проводился разрез, и точек пересечения с другими линиями разрезов. Для построения интерполяционных поверхностей максимальное расстояние между соседними точками на разрезах не превышало 20 м.

По описанной технологии проводилось 3-мерное моделирование для составления карты гидрогеологических окон на территории Москвы [4]. Для выделения гидрогеологических окон рассчитывалось время фильтрации загрязнений от поверхности до среднекаменноугольного водоносного горизонта. В качестве основных слабопроницаемых слоев в расчетах рассматривались келловей-оксфордские и каменноугольные глины. 3-мерная модель описываемого в заметке участка получается как уточнение общегородской модели.

Новым элементом по сравнению с [4] на рассматриваемом участке было включение в гидрогеологическую модель залегающих выше келловей-оксфордских отложений титонских, меловых и четвертичных отложений. Эти слои представлены переслоениями песков разной крупности, супесями и суглинками. Определение точного возраста отложений местами затруднительно, в массиве имеются фациальные замещения, для составления достоверной геометрической 3-мерной модели имеющихся данных недостаточно.

По этим причинам для верхней части модели для гидрогеологической заачи было решено отказаться от выделения геологических тел по литолого-стратиграфической классификации и применить обобщенное геологическое описание. Толща отложений от современной поверхности до кровли юрских (келловей-оксфордских) глин была разбита на 5 "обобщенных" слоев, которые имеют равные мощности в каждой точке карты. Для каждого из этих слоев рассчитывается пространственная модель распространения усредненных коэффициентов вертикальной и горизонтальной фильтрации.

Цифровые модели поверхностей кровли "обобщенных" слоев верхней части модели рассчитываются средствами растровой арифметики, исходя из цифровых моделей кровли келловей-оксфордских отложений и современного рельефа.

Для расчета коэффициентов вертикальной и горизонтальной фильтрации применяется та же интерполяционная процедура, что и для расчета поверхностей кровли геологических тел. На линиях геологических разрезов в точках с заданным шагом рассчитываются усредненные по разрезу внутри данного слоя коэффициенты горизонтальной и вертикальной фильтрации, а затем проводится интерполяция на всю область моделирования.

Так же, как и для построения цифровых моделей поверхностей, для коэффициентов фильтрации проводилась интерполяция на основе триангуляции Делоне.

Если на разрезе толщина одного "обобщенного" слоя состоит из N типов отложений с мощностями  $r_i$  и коэффициентами фильтрации  $k_i$ ,  $i=1, \dots, N$ , то коэффициенты вертикальной  $K_v$  и горизонтальной  $K_h$  фильтрации рассчитываются по формулам:

$$K_v = \frac{\sum_{i=1}^N r_i k_i}{\sum_{i=1}^N r_i}; \quad K_h = 1 / \frac{\sum_{i=1}^N r_i / k_i}{\sum_{i=1}^N r_i}$$

Для вертикальной фильтрации усредняется коэффициент фильтрации, а для горизонтальной – коэффициент проводимости.

Результаты расчетов были представлены в виде цифровых моделей на равномерной сетке и использованы для гидрогеологического моделирования.

#### Литература

1. Миронов О.К., Пикулик Е.А., Фесель К.И. О понятии трехмерной геологической карты // Геодезия и картография, 2011, №6, с. 36-41.
2. Миронов О.К. Геоинформационные технологии для составления крупномасштабных геологических карт территории Москвы // Геоэкология, инженерная геология, гидрогеология, геокриология. 2011, №3, с. 200-216.
3. Миронов О.К., Викторов А.А., Фесель К.И. О проблемах ведения баз данных фондовой информации. // Геоэкология, инженерная геология, гидрогеология, геокриология. 2011, №5, с. 455–464.
4. Позднякова И.А., Галицкая И.В., Миронов О.К., Костикова И.А., Дорожко А.Л., Батрак Г.И., Матвеева Л.А., Фесель К.И. Выявление гидрогеологических окон на основе крупномасштабного картирования геологического строения и гидрогеологических условий территории г. Москвы // Геоэкология, инженерная геология, гидрогеология, геокриология. 2015, №4, с. 352-364.
5. H.Kessler, S.J.Mathers, & H.-G.Sobich. 2004. GSI3D – The software and methodology to build near-surface 3-D geological models. British Geological Survey. (IR/04/029), 96 pp. <http://nora.nerc.ac.uk/4019/1/IR04029.pdf>



## ВОЗРАСТНОЕ РАСЧЛЕНЕНИЕ ОРОГЕННОГО РЕЛЬЕФА КАК ГЕОМОРФОЛОГИЧЕСКАЯ ОСНОВА ОРОТЕКТОНИЧЕСКОГО МЕТОДА

С.А. Несмеянов

Институт геоэкологии им. Е.М. Сергеева РАН, Москва, 101000, Уланский пер. 13.

Появление в конце XIX и начале XX веков представлений В. Дэвиса о геоморфологическом цикле и В. Пенка – о предгорной лестнице террас создало основу для разработки методики возрастного расчленения рельефа. Но как отметил К.К. Марков, выражение «предгорная лестница» неточно и должно быть заменено термином «горная лестница», так как речь идет о системе ступеней, принадлежащих всему горному рельефу, а не одним предгорьям.

### *1. Проблемы и методы картирования ярусного рельефа.*

Проблемы и методы картирования ярусности горного рельефа наиболее эффективно разрабатывались в Средней Азии и Сибири. В Средней Азии они были связаны с исследованиями Н.П. Васильковского, Ю.А. Скворцова, Н.П. Костенко, О.К. Чедия и др. по стратиграфии и мелкомасштабному картированию четвертичных отложений, а в Сибири – с изучением россыпных месторождений под руководством Ю.А. Билибина.

### **Методики геоморфологического картирования.**

Исходной для возрастного расчленения рельефа была идея В. Пенка о том, что в орогенах ярусность рельефа создается в результате многократного врезания водных потоков и параллельного отступления склонов.

В Средней Азии возникло представление о циклах эрозии и цикловых (Ю.А. Скворцов, С.С. Шульц) или региональных (Ф.Ф. Мужчинкин) террасах и о зависимости этапности развития речных долин от ритма орогенических воздыманий. По Ю.А. Скворцову, «история рельефа страны – история ее гидрографической сети», которая рассматривается как серия картируемых разновозрастных террасовых долин. Результатами картирования он считал профили, карты и блок-диаграммы.

Однако, Ю.А. Скворцов, вслед за В. Пенком, развивал представление о длительном одновременном развитии разновозрастных горных долин и одновременном сосуществовании древних и молодых террасовых циклов. Это представление противоречило фактическим данным о реально большей скорости распространения эрозионных циклов, которые развиваются не только вверх от устья рек, но и от каждого активно воздымающегося тектонического блока. Характерно, что сам Ю.А. Скворцов еще в 30–50-х годах принимал участие в создании и распространении стратиграфической схемы, намеченной Н.П. Васильковским и признающей разновысотные цикловые (региональные) террасы разновозрастными.

Важным методическим достижением среднеазиатской геоморфологической школы явилась разработка Н.П. Костенко в 50х годах прошлого века оригинального способа картографического отражения результатов картирования эрозионных и эрозионно-аккумулятивных останцов разновозрастных террасовых элементов на горных гребнях разных порядков. Эта прогрессивная методика очень быстро была признана эффективной и к началу 1960-х годов на ее основе было проведено мелкомасштабное (1:500 000) геоморфологическое картирование всей территории Таджикистана, а позднее – Киргизии и части Узбекистана.

В Сибири Ю.А. Билибин в 1930-х годах показал, что каждый эрозионный цикл развития речных долин делится на четыре фазы: 1) глубинной эрозии и углубления долины, 2) боковой эрозии и расширения долины, 3) накопления наносов и заполнения долины и 4) покоя и преобладания переноса твердого материала и выноса его за пределы горной страны. При этом он признавал разновозрастность последовательных эрозионных циклов.

Представления Ю.А. Билибина о фазах развития эрозионного цикла были в 1940-х гг. дополнены В.В. Ламакиным выделением инстративной, констративной и перстративной динамических фаз формирования аллювия. А в 1950-х гг. И.П. Карташев добавил к этой схеме субстративную фазу. В 1970-х гг. появились среднеазиатские материалы, позволяющие и в долинах горных рек проследить аналогичную схему строения эрозионно-аккумулятивного цикла и уточнить соотношение его фаз с фазами тектонического и климатического циклов (В.И. Макаров, Н.В. Макарова, Б.Е. Акинин).

Далее методика, предложенная Н.П. Костенко, разрабатывалась применительно к средним и крупным масштабам с учетом специфики задач, решаемых при построении региональной и локальных сетей геоморфологических профилей. Региональная сеть, обычно связанная со среднемасштабным картированием разновозрастных элементов рельефа и охватывающая значительную часть орогена, нацелена на выявление и датировку подразделений местной стратиграфической схемы террасовых образований, а также на характеристику основных типов новейших тектонических структур и установление степени наследования ими элементов более древнего структурного плана. Первая задача решается путем проведения профилей через основные стратотипы и объекты, где могут быть датированы выделяемые геоморфологические уровни, а вторая – пересечением наиболее представительных структурных элементов. Анализ характера соотношения разновозрастных структур обуславливает целесообразность совмещения геоморфологических профилей с геологическими или построения комплексных геолого-геоморфологических профилей.

Локальные сети геоморфологических профилей нацелены кроме того на выявление разномасштабных структур и характеристику тектонических деформаций, особенно разрывных смещений.

#### **Стратификация террасовых образований.**

Представление об определяющей роли региональных террас для выявления региональной ярусности рельефа с 30-х годов прошлого века, позволи-

ло Ф.Ф. Мужчинкину и Н.П. Васильковскому установить четырехчленность неоплейстоценовых отложений Ферганской депрессии, а затем распространить эту схему на Приташкентский и другие районы Узбекистана. Позднее она была привлечена Н.П. Костенко (1958) к территории Южного Таджикистана. А далее появилась целая система скоррелированных между собой региональных стратиграфических схем четвертичной системы для всех орогенических областей Средней Азии и Казахстана (Н.Н. Костенко и др.). Предложена межрегиональная стратиграфическая схема бассейновых и террасовых новейших отложений Средней Азии, Казахстана и Юга Западной Сибири.

#### **Методики количественных оценок поэтапных новейших тектонических движений и реконструкций разновозрастного палеорельефа.**

Построение карт возрастного расчленения рельефа по методике, предложенной Н.П. Костенко, определило принципиальную возможность количественных оценок вертикальных тектонических движений и количественных реконструкций орогенического палеорельефа.

Количественные оценки поэтапных орогенических движений в Средней Азии с середины 1960х гг. стали опираться на признание пропорциональности соотношения глубин разновозрастных эрозионных врезов соотношению абсолютных величин поэтапных воздыманий. Практически во всех случаях получалось, что скорости новейших воздыманий прогрессировали, но основной скачок в их увеличении приходится на начало или середину неоплейстоцена (С.А. Несмеянов, А.К. Трофимов, О.К. Чедия и др.).

Количественные реконструкции орогенического палеорельефа привели к составлению под руководством О.К. Чедия и Н.П. Костенко мелкомасштабных (1:1000000) палеогеографических схем плиоценовой, ранне- и средне-четвертичной эпох (опубликованы в 1971 г.). В Северном Таджикистане тогда же составлялись среднемасштабные (1:200 000) палеореко­н­струк­ции, а крупномасштабные реконструкции осуществлялись на локальных участках расположения палеолитических стоянок открытого и пещерного типов.

#### **2. Проблемы характеристики морфоструктур.**

Разработанный Н.П. Костенко способ картирования разновозрастных элементов рельефа обусловил возможность реальной реконструкции орографического проявления положительных форм рельефа на разных стадиях их развития.

#### **Основные факторы проявления структур в орогенном рельефе.**

Н.П. Костенко описаны особенности проявления в рельефе «мертвых» и «живых» структур, а также различия в облике структурных форм на конседиментационной, конденудационной и конэрозионной стадиях развития. Выделены такие основные геоморфологические зоны горной страны, как внутренняя и внешняя в горном сооружении и предгорная и подгорная в пределах межгорных впадин. Однако районирование, предлагаемое Н.П. Костенко, отражает только современную геоморфологическую ситуацию. Границы большинства зон в процессе становления горной страны должны были смещаться.

Ею же предложена схема прогрессирующего орогенеза, включающая вступительную, главную и завершающую стадии. При этом Н.П. Костенко отрицает, что скорости новейших тектонических движений становятся максимальными в четвертичном периоде. Однако, этому ее выводу противоречат количественные расчеты ряда исследователей (С.А. Несмеянов, А.К. Трофимов, О.К. Чедия), однозначно свидетельствующие о нарастающей интенсивности орогенических воздыманий.

#### **Проблема проявления в рельефе разномасштабных структур.**

Рассматривая основные позднекайнозойские мегаформы рельефа Н.П. Костенко выделяет мегаформы I, II и III порядков. К первому относятся гигантские впадины океанов и континентальные поднятия; ко второму – регионы с платформенным и орогенным тектоническим режимом, к третьему – основные поднятия и впадины. Ею же предложена схема орогенических структур, включающая мегаскладки также I, II и III порядков.

Было показано, что, начиная со среднемасштабного районирования, карты целесообразно сопровождать каталогами, в которых каждая структура получает индекс, название и набор характеристик, важных, например, для инженерных изысканий.

#### **Проблема учета и характеристики разрывных структур.**

Прогрессирующий характер новейшего орогенеза позволяет предполагать, что большинство новейших разрывов являются активными в настоящее время. Однако определенное увлечение изгибными деформациями сказалось и в том, что многие исследователи, выделяя на картах разрывы, выраженные в рельефе, не показывали на геоморфологических профилях разрывные смещения геоморфологических уровней. Решение задач строительного проектирования в орогенических областях потребовало фиксации именно разрывных смещений по активным разрывам, начиная со среднемасштабных исследований. Предложена методика расчета разрывных смещений за срок службы инженерных сооружений.

#### **Проблема выделения сейсмогенерирующих структур.**

Проблема выделения тектонических структур, с которыми связаны очаги сильных землетрясений, включает в себя анализ новейших движений, а потому ее составным элементом, безусловно, должен быть анализ возрастного расчленения рельефа.

Первоначально основными сейсмогенерирующими структурами считались активные тектонические разрывы, особенно региональные (И.Е. Губин). Позднее была отмечена важная роль поперечных структур и связь землетрясений с узлами пересечения структур основного и поперечного структурных планов (В.М. Рейман, Е.Я. Ранцман и др.). Постепенно определились две крайние точки зрения. Сеймотектонический метод сейсмического районирования предполагает ожидаемые сильные землетрясения в «окнах» между предшествующими, а метод сейсмоактивных узлов – приуроченность их к «узлам».

На примере Кавказа показано, что поперечные структуры делятся на разделительные, не сейсмогенерирующие и узлообразующие, сейсмогенерирующие. Разделительные зоны поперечного дробления могут характеризоваться как преобладанием воздыманий, так и прогибаний. Узлообразующие поперечные структуры отличаются преобладанием воздыманий, связанных с дизъюнктивными и дизъюнктивно-пликативными деформациями. Соответственно, формируются дизъюнктивные и дизъюнктивно-пликативные структурные, обычно сейсмогенерирующие, узлы.

### **Заключение**

Методика возрастного расчленения рельефа служит геоморфологической основой оротектонического метода. Этот метод получил широкое применение в геоморфологическом картировании, количественной оценке орогенических движений, реконструкциях палеорельефа, а также в целом диапазоне прикладных направлений, в том числе в инженерных изысканиях, поисках орографически выраженных нефтегазоносных и водоносных структур, поисках россыпей, разномасштабном сейсмораировании.

## **РАЗВИТИЕ МЕТОДИКИ КОЛИЧЕСТВЕННЫХ РЕКОНСТРУКЦИЙ ПАЛЕОРЕЛЬЕФА ПРИМОРСКОГО ОРОГЕНА (НА ПРИМЕРЕ ДОЛИНЫ Р. МЗЫМТА, СЕВЕРО-ЗАПАДНЫЙ КАВКАЗ)**

**С.А. Несмеянов, О.А. Воейкова, А.А. Мурый**

Институт геоэкологии им. Е.М. Сергеева РАН, Москва, 101000, Уланский пер. 13, стр. 2.

Методика количественных реконструкций палеорельефа рассмотрена на примере бассейна р.Мзымты – детально изученного участка на черноморском побережье Кавказа. Для него можно считать практически постоянным (в пределах первого десятка метров) уровень трансгрессивных максимумов, по крайней мере, для четвертичного периода [6]. При подобном допущении возможно использование реконструкций, опирающихся на расчет палеоуклонов днищ речных долин, начиная непосредственно от морского побережья. Для таких построений выбрана детально изученная горная часть долины р.Мзымты с расположенными на этой территории важными строительными и инфраструктурными объектами (в том числе, олимпийскими).

Необходимо отметить, что опыт подобных палеореконструкций не был встречен авторами в современной иностранной литературе, посвященной вопросам методологии в области геоморфологии и неотектоники горных территорий [8,9,10]. Это связано, видимо, с малой распространенностью идей В. Пенка и В. Дэвиса в зарубежных научных школах и отсутствием их последователей.

Палеореко́нструкции опираются на результаты возрастного расчленения рельефа, методика которого [1,3] была использована и для бассейна р.Мзымты [5]. Проведенное ранее возрастное расчленение рельефа [4] подтвердило для данной территории палеогеновый возраст начала формирования водоразделов Главного и Аибгинского хребтов, однако до середины миоцена орографически выраженного бассейна р. Мзымты еще не существовало. Среднемасштабные реконструкции палеорельефа осуществлялись для миоцен-раннеплиоценового (N13 N21), позднеплиоцен-палеоплейстоценового (N23 QP), эоплейстоценового (QE) и раннеплейстоценового (Q1) этапов с шагом палеоизогипс в 100 м. Для более молодых этапов, среднего и позднего неоплейстоцена и голоцена построения не проводились, поскольку для данного масштабного уровня ширина палеодолины практически не менялась.

Палеореко́нструкции составлялись на конец этапов (на эпоху завершения эрозионно-аккумулятивных циклов), отвечающих максимумам трансгрессий и заполнения долин аллювием (т.е. на момент выработки равновесия продольного профиля основной реки). Реконструкции осуществлялись соответственно для раннеплиоценового, палеоплейстоценового, эоплейстоценового и раннеплейстоценового возрастных срезов. Они строились с учетом следующих вполне очевидных допущений. 1. Уровень моря в максимумы трансгрессий был близок к современному. 2. Абсолютная высота днищ палеодолин рассчитывалась исходя из типовых вариантов уклонов речных долин (точнее – уклонов вдоль их медианных линий). 3. Перегибы в поперечном геоморфологическом профиле между склонами и днищем эрозионного вреза отвечает уровню заполнения долин аллювием. 4. При различии современной высоты таких перегибов на противоположных бортах долины, ее перекося считается более поздним (за счет разрывных или пликативных смещений). А исходная высота этих перегибов принимается равной расчетной высоте медианной линии в данном сечении долины. 5. При выборе направления главной реки на широкой выровненной прибрежной поверхности принимается, что река течет в направлении максимальных уклонов этой поверхности, т.е. по кратчайшему направлению в сторону моря.

Для построения количественных палеореко́нструкций последовательно проводились следующие операции:

1. Трассировка береговых линий неоплейстоценовых палеоморей опирается на обнажения морских террас [6]. Для четырех более древних уровней положение древних береговых линий устанавливалось с помощью картирования останцов соответствующих денудационных поверхностей. При этом принималось, что береговая линия располагалась у ближайшего к морю тылового шва соответствующего геоморфологического уровня.

2. Оконтуривание днища палеоврезов проводилось по перегибам в палеоврезе между его крутой “бортовой” или “склоновой” частью и пологой, относящейся к “днищу”. Вся слабо изогнутая часть такого эрозионного “днища” на момент палеореко́нструкции (конец эрозионно-аккумулятивного цикла) оказывается перекрытой аллювием, кровля которого служит морфологическим “днищем” долины на конец этапа.

3. Расчет палеоуклонов днища долины палео-Мзымты и ее притоков включал несколько операций. Сначала выделяются два основных района с различным подходом к определению палеоуклонов днищ долин: равнинный, отвечающий Адлерской впадине, и горный, входящий в орогенический мегагасвод Большого Кавказа. В пределах Адлерской впадины средний современный уклон по долине составляет 0,006, а в горной области – 0,027.

В Адлерской впадине современный и древний (вплоть до понтического) аллювий представлен преимущественно галечным материалом. Поэтому для всех разновозрастных палеорекоконструкций в равнинной области допустимо сохранить единый “генерализованный” (без учета меандрирования и локальных изгибов русла) уклон – 0,006. Для определения палеовысоты днища реки у фронта горной части долины (юго-западный склон гор Ахцу) достаточно умножить этот уклон на расстояние от данной точки до береговой линии соответствующего этапа. Полученная отметка рельефа приписывается соответствующему геоморфологическому уровню в массиве Ахцу, воздымающемуся над Адлерской впадиной по системе Воронцовских взросо-надвигов.

На развитие горной части долины влияют четыре фактора: орогенических поднятий, палеоорографический – отражающий изменения орографического плана (изменение размера долин и проявления поперечных поднятий), гидрологический и структурный – проявление подпруживающего разрывного смещения. Их влияние на изменение уклона долины Мзымты было комплексным. В результате детального анализа составлена схема расположения мест смены уклонов днища магистральной долины и предгорных равнин для каждого временного этапа (табл. 1).

Таблица

Распределение уклонов разновозрастных палеорусел р.Мзымты

| Участки по долине Мзымты<br>Возрастные срезы | хр. Ахцу | рр. Монашка-Галион 3-й | р. Пелух | Меридиан сбрасыва рр. Мзымты и Пелушонка | р. Тихая | р. Бзыч | оз. Кардывач |
|--|----------|------------------------|----------|--|----------|---------|--------------|
|  | $N_2^1$  |                        | 0,006    |  |          |         | 0,011        |
| $Q_p$  | 0,006    |                        |          |  | 0,011    |         |              |
| $Q_E$  | 0,006    |                        |          | 0,011                                    |          |         | 0,026        |
| $Q_t$  | 0,006    |                        | 0,016    |  |          | 0,036   |              |
| современность                                | 0,006    |                        | 0,016    |  |          | 0,036   |              |

Для расчета палеоуклонов боковых притоков р.Мзымты учитывались: уклон главной долины в месте устья притока и наличие притоков более высоких порядков.

4. Относительная высота возвышенностей над бортом палеодолины определяется непосредственно по карте возрастного расчленения рельефа или на геоморфологическом профиле как превышение вершины возвышенности над перегибом соответствующего палеовреза. Учитывая большой шаг палеоизогипс можно реконструировать морфологию рельефа палеовозвышенности без учета явлений “отступления” склонов и плоскостной денудации на вершине. Абсолютная отметка вершины определяется путем сложения: оцененной по уклонам палеовысоты днища долины и относительной высоты палеовозвышенности над этим днищем.

При обработке и анализе материалов использовались ГИС технологии, позволяющие автоматизировать такие трудоемкие операции как создание сетей водораздельных геоморфологических профилей, графическое построение профилей, бассейновый анализ водотоков, расчёт уклонов рек и построение их продольных профилей, вычисление необходимых морфометрических характеристик рельефа [2,7,11]. При этом в качестве рабочего дополнительного элемента составлялись карты фактического материала. На них для каждого этапа рельефообразования показана сеть расчетных точек, отражающих каркас палеорельефа. На основе расчетных точек построены цифровые модели палеорельефа (рис. 1), по которым получены палеоизогипсы с шагом 100 м.

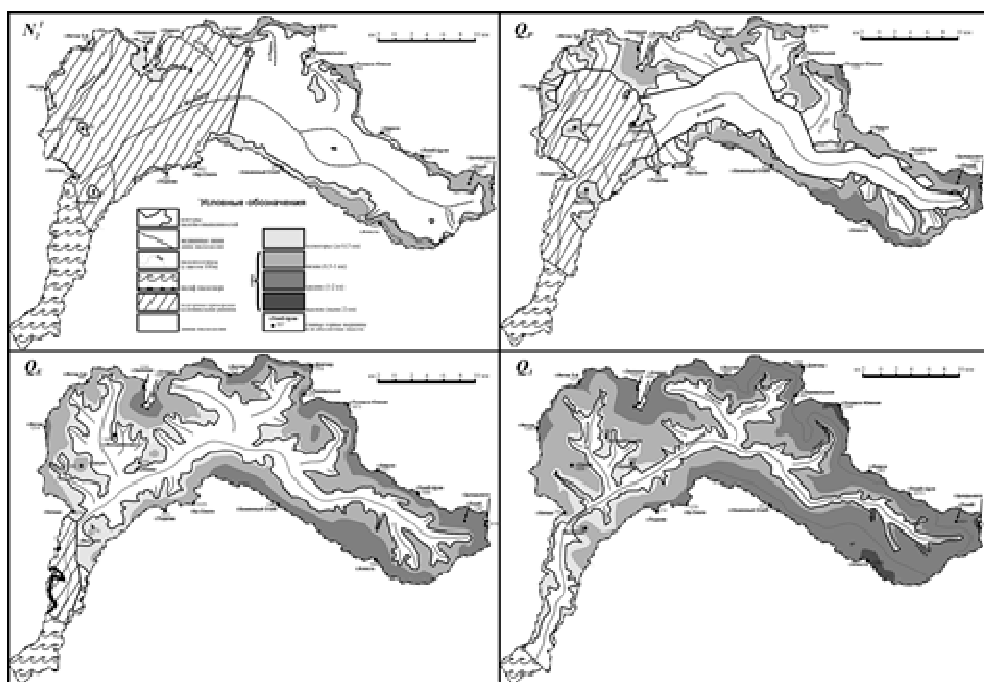


Рис. 1. Палеогеоморфологические схемы бассейна р. Мзымты



Предложенная методика позволяет строить достаточно детальные среднemasштабные палеогипсометрические и палеогеоморфологические реконструкции орогенического рельефа. Сопоставление разновозрастных палеогипсометрических карт наглядно отражает этапность появления в рельефе поднятий и позволяет количественно оценивать их рост как по площади, так и по высоте. При сопоставлении палеогеоморфологических карт отчетливо выявляются стадии преобразования речных долин (их последовательного удлинения, сужения и углубления), а также преобразования положительных форм рельефа от нарождающихся локальных возвышенностей к низко-, средне- и высокогорным хребтам.

Построение комплекса подобных карт полезно для решения ряда палеогеоэкологических задач, например, для оценки развития опасных геологических процессов и преобразования ландшафтов мест обитания древнего человека.

#### Литература

1. *Костенко Н.П.* О принципах составления специальной геоморфологической карты // Бюлл. комиссии по изуч. четверт. периода. 1961. № 26. С. 74-75.
2. *Мурый А.А.* ГИС технологии и анализ цифровых моделей рельефа при инженерно-геотектонических исследованиях на территории Большого Сочи // Сергеевские чтения. М.: ГЕОС, 2012. В. 14. С. 60-64.
3. *Несмеянов С.А.* Количественная оценка новейших движений и неоструктурное районирование горной области. М.: Недра, 1971. 144 с.
4. *Несмеянов С.А.* Неоструктурное районирование Северо-Западного Кавказа (опережающие исследования для инженерных изысканий). М.: Недра, 1992. 254 с.
5. *Несмеянов С.А.* Геоморфологические аспекты палеоэкологии горного палеолита (на примере Западного Кавказа). М.: Научный мир, 1999. 392 с.
6. *Несмеянов С.А., Измайлов Я.А.* Тектонические деформации черноморских террас Кавказского побережья России. М.: ПНИИИС, 1995. 239 с.
7. Программное обеспечение, разработанное в группе инженерной геотектоники и палеоэкологии ИГЭ РАН. [Электронный ресурс]. 2015. URL: [https://github.com/amuriy/paleo\\_research/tree/master](https://github.com/amuriy/paleo_research/tree/master), <https://github.com/amuriy/GRASS-scripts> (дата обращения 16.07.2015).
8. *Bull W.B.* Tectonically Active Landscapes. Wiley. 2011. 328p.
9. *Burbank D.W., Anderson R.S.* Tectonic Geomorphology. Wiley. 2011. 480 p.
10. *Smith B.J., Whalley W.B., Warke P.A.* Uplift, Erosion and Stability: Perspectives on Long-term Landscape Development (Geological Society special publication). Geological Society. 1999. 278 p.
11. GRASS Development Team, 2015. Geographic Resources Analysis Support System (GRASS) Software. Open Source Geospatial Foundation Project. [Офиц. сайт]. URL: <http://grass.osgeo.org> (дата обращения 26.11.2015).

## ОПЫТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ РАЗНОЧАСТОТНЫХ МЕТОДОВ СЕЙСМОРАЗВЕДКИ ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ СЕЙСМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ГРУНТОВ

**В.В. Несынов, Б.А. Трифонов, И.Г. Миндель**

Институт геоэкологии им. Е.М.Сергеева РАН.101000, Москва, Уланский пер. 13, стр. 2.

Для оценки показателей строительных свойств грунтов большое практическое значение приобретают в последнее время геофизические, в частности, сейсмические методы. Сейсмоакустические методы позволяют оценивать свойства грунтов в их естественном залегании [1,2,3]. Сочетание геофизических методов с использованием сейсмических, акустических и ультразвуковых волн на частотах от 40-100 Гц до 10-40 кГц принято называть термином «сейсмоакустические исследования» [3,5]. На строительных объектах Москвы при изучении юрских ( $J_3$ ) и каменноугольных ( $C_3$ ) глин с консистенцией от твердой до полутвердой авторами было установлено, что значения скоростей упругих волн, получаемые в массиве (ВСП) и ультразвуковой керноскопии на образцах из тех же слоев, имеют близкие значения (отличаются друг от друга не более 10-15% для значений  $V_p$  и на 5-7% для  $V_s$ ) (рис. 1). Близкие значения  $V_{\text{мас}}$  в массиве и  $V_{\text{уз}}$  на образцах позволяют по результатам ультразвуковых измерений с большой долей вероятности предварительно оценивать значения  $V_p$  и  $V_s$  в массиве глин юрского и каменноугольного возрастов с последующим расчетом их упругих характеристик ( $E_d$ ,  $\mu$ ,  $G_d$ ).

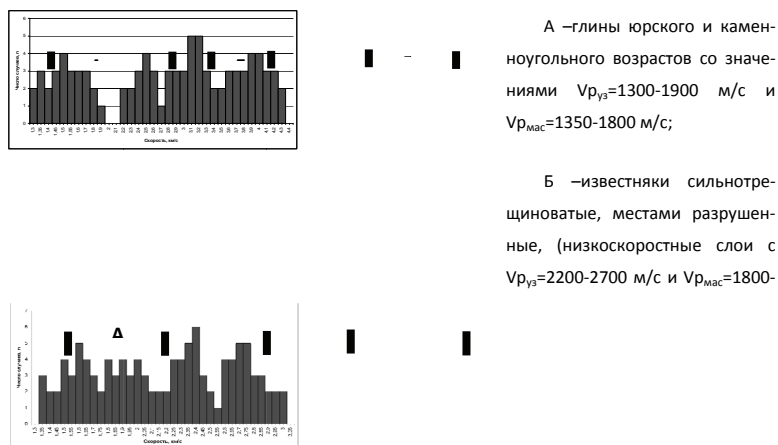
Широкий диапазон изменения скоростей ультразвука в образцах известняка, взятых из разных интервалов глубин, указывает на неоднородность строения массива (близкие по величине значения  $V_{\text{мас}}$  и  $V_{\text{уз}}$ , указывает на однородность массива известняка [4,5,6]). Полученные  $V_{p,s_{uz}}$  в сочетании со значениями  $V_{p,s_{\text{мас}}}$  позволяют расчленять массив известняка на участки разной степени разрушенности и трещиноватости (рис. 1).

### *Глины юрского и верхнекаменноугольного возрастов*

Методом вертикально сейсмического профилирования (ВСП) авторами были проведены на ряде объектов Москвы исследования грунтовых комплексов, преимущественно сложенных глинами юрского и верхнекаменноугольного возрастов, с получением в грунтовом массиве значений пластовых скоростей  $V_{p,s_{\text{мас}}}$ . Параллельно проводились измерения  $V_{p,s_{uz}}$  методом ультразвуковой керноскопии на сохранных образцах керна, взятых в тех же интервалах глубин.

В таблице приведены диапазоны изменения (от минимальных до максимальных) значений упругих характеристик коренных глин в массиве, обобщенные по результатам многолетних сейсмоакустических исследований, на строительных площадках Москвы. Прослеживаются различия в значениях

упругих характеристик у глин юрского и каменноугольного возрастов в сторону улучшения последних.



**Рис. 1. Пример результатов совместного измерения скоростей продольных волн по данным ультразвуковой керноскопии в сохранных образцах (I) и пластовых скоростей в массиве (II) глин J<sub>3</sub>, C<sub>3msc</sub>, C<sub>3nv</sub>, C<sub>3vs</sub> возрастов и известняков C<sub>3izm</sub>, C<sub>3pr</sub>, C<sub>3rt</sub>, C<sub>3sv</sub> возрастов на территории Москва-Сити**

Таблица

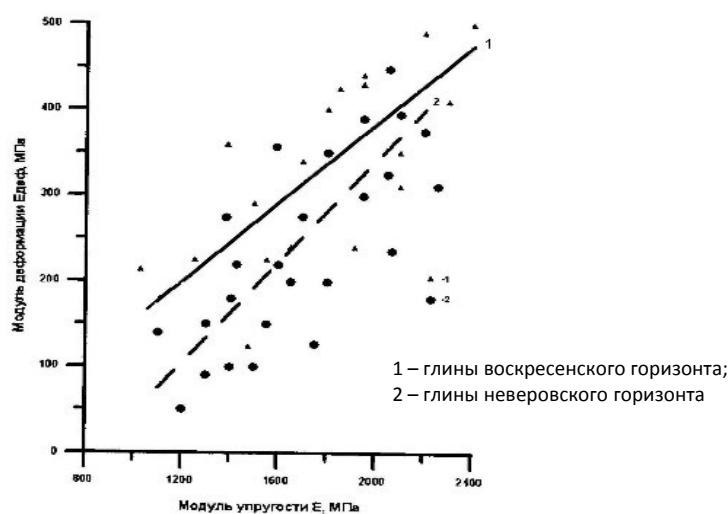
**Изменения упругих характеристик глинистых грунтов**

| Характеристика глинистых грунтов                                 | Обобщенные значения упругих характеристик глинистых грунтов в естественном залегании |                      |           |           |           | V <sub>уз</sub> , м/с в образцах из тех же горизонтов |
|--|--|----------------------|-----------|-----------|-----------|---|
|  | V <sub>p</sub> , м/с   | V <sub>s</sub> , м/с | μ         | Ед, МПа   | G, МПа    |   |
| Глины юрского возраста   |  |                      |           |           |           |   |
| Глины тугопластичные (J <sub>3γ</sub> )                          | 1450-1560  | 450-510              | 0,44-0,46 | 1120-1420 | 390-500   | 1300-1500   |
| Глины тугопластичные до полутвердых (J <sub>3ox</sub> )          | 1550-1650  | 500-580              | 0,43-0,45 | 1430-1710 | 510-600   | 1400-1600   |
| Глины тугопластичные с прослоями песков (J <sub>2</sub> +3bt-el) | 1550-1650 (ниже 10-15м)  | 420-450              | 0,46      | 1090-1270 | 380-440   | 1300-1500   |
|  | 1580-1650 (ниже 20-30м)  | 480-550              | 0,44-0,46 | 1370-1590 | 470-550   | 1400-1600   |
| Глины каменноугольного возраста                                  |  |                      |           |           |           |   |
| Глины от полутвердых до твердых (C <sub>3msc</sub> )             | 1600-1680  | 550-580              | 0,43      | 1920-1990 | 670-700   | 1500-1650   |
| Глины твердые с прослоями мергеля (C <sub>3nv</sub> )            | 1600-1730  | 550-650              | 0,41-0,43 | 1850-2400 | 680-890   | 1600-1800   |
| Глины твердые с прослоями мергеля до 30% (C <sub>3vs</sub> )     | 1750-1850  | 680-760              | 0,4-0,42  | 2550-3500 | 1050-1250 | 1700-1900   |

Самые низкие показатели упругих свойств среди юрских отложений имеют отложения бат-келловейского яруса, представленные глинами тугопластичной консистенции с прослоями песков ( $J_{2+3}bt-cl$ ), самые высокие – полутвердые глины оксфордского ( $J_3ox$ ) яруса. Прослои песков в бат-келловейских глинах обычно обводнены, что приводит к ухудшению свойств этой глинистой толщи. В каменноугольных глинах ( $C_3nv$  и  $C_3vs$ ) с увеличением количества тонких прослоев мергеля, значения скоростей продольных, поперечных волн и другие упругие характеристики возрастают по сравнению глинами ( $C_3msc$ ), где количество таких прослоев незначительно. Каменноугольные глины имеют более прочную основу, лучшие упругие, прочностные и деформационные свойства, чем юрские глины, так как наличие тонких прослоев (до 30%) мергеля и известняка увеличивает их сопротивление деформации и разрушению в массиве.

В юрских глинах анизотропия скоростей (коэффициент анизотропии  $\nu=1,10-1,27$ ) проявляется в большей степени, чем в каменноугольных, где  $\nu=1,05-1,10$ .

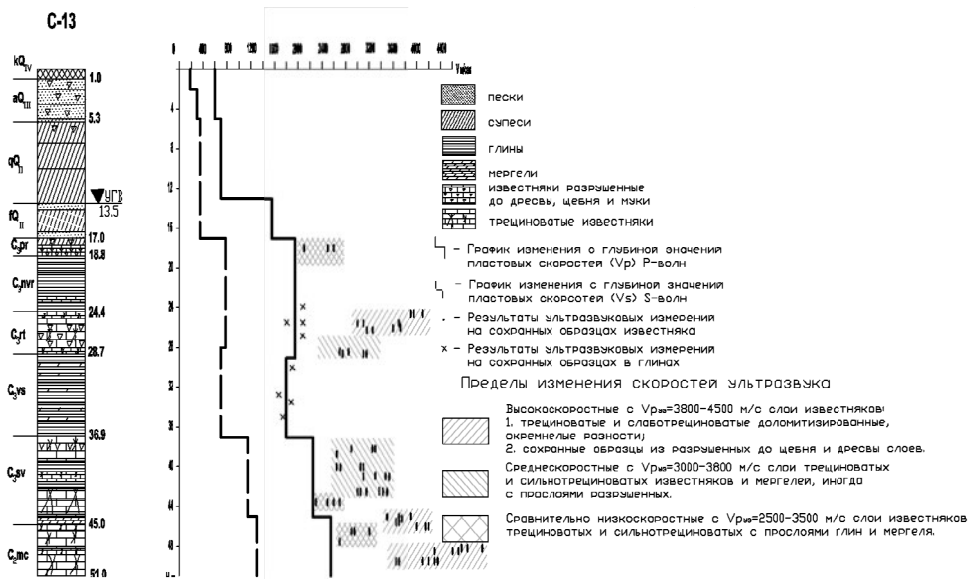
На рис. 2 приведены, полученные авторами графики связи между модулем деформации ( $E_{деф}$ ) и модулем Юнга ( $E$ ) в толщах неверовских (прямая 2 с коэффициентом корреляции  $r=0,70$ ) и воскресенских глин (прямая 1 с коэффициентом корреляции  $r=0,72$ ), построенные на основании парных определений по результатам прессиометрических испытаний и сейсмоакустики.



**Рис. 2. Графики связи между модулем деформации ( $E_{деф}$ ) по данным прессиометрии (ЦСГНЭО) и динамического модуля упругости ( $E$ ) по данным сейсмоакустики для толщ глин неверовского ( $C_3nv$ ) и воскресенского ( $C_3vs$ ) горизонтов, представленных переслаиванием мергелистых глин (около 75%) и мергелей (около 25%)**

### Известняки московского региона

Совместное использование разночастотных методов инженерной сейсмоакустики позволяет проводить расчленение массивов известняков на слои сравнительно небольшой мощности, проследить зоны повышенной трещиноватости и разрушенности (при особо благоприятных условиях, выделять неоднородности типа карстовых полостей) [4,5,6,7], так как на величину скоростей упругих волн в массиве (другие упругие характеристики) оказывает влияние степень их разрушенности [4,6,7].



**Рис. 3. Пример совместного анализа результатов определения пластовых скоростей упругих волн ( $V_p, V_s$ ) в массиве методом ВСП и скоростей ультразвуковых волн ( $V_{p_{уз}}$ ) в сохранных образцах, полученных методом ультразвуковой керноскопии (р-н Кутузовского проспекта)**

По результатам ВСП слои известняков представляются сравнительно однородными со значениями пластовых скоростей  $V_p=1900$  м/с и  $V_s=850$  м/с ( $C_{3pr}+C_{3rt}$ ),  $V_p=2200$  м/с и  $V_s=1100$  м/с ( $C_{3sv}$ ) и  $V_p=2400$  м/с и  $V_s=1250$  м/с ( $C_{2mc}$ ). По скоростям ультразвука эти известняки характеризуются неоднородным строением. Выделяются трещиноватые доломитизированные известняки с  $V_{p_{уз}}=3800-4500$  м/с и  $V_{p_{уз}}/V_{p_{мас}}=1,18-1,25$  (высокоскоростные 1) и с  $V_{p_{уз}}/V_{p_{мас}}=2,00-2,20$  разрушенные до щебня и дресвы (высокоскоростные 2); трещиноватые и сильнотрещиноватые известняки  $V_{p_{уз}}=3000-3800$  м/с и  $V_{p_{уз}}/V_{p_{мас}}=1,29-1,36$  (среднескоростные); сильнотрещиноватые известняки с  $V_{p_{уз}}=2500-3500$  м/с и  $V_{p_{уз}}/V_{p_{мас}}=1,35-1,46$  (низкоскоростные). Выше было

отмечено, что чем ближе по величине значения  $V_{рмас}$  и  $V_{руз}$ , тем более однороден массив, большой же диапазон изменения скоростей ультразвука в образцах указывает на неоднородность строения массива (трещиноватые, достаточно сохранные, сильнотрещиноватые и разрушенные слои чередуются по глубине). При наличии результатов сейсмоакустических исследований из нескольких скважин на одной строительной площадке возможно выделение в строении массива неоднородностей (прослеживать в плане и по глубине зоны трещиноватости, карстовые полости, зоны повышенной и пониженной плотности сложения).

Используя результаты ультразвуковых измерений ( $V_{робр}$ ) на образцах в сочетании с результатами ВСП и МПВ ( $V_{рмас}$ ) в массиве известняков по зависимости (Савич и др., 1969 [6,7]) оцениваются параметры их трещиновой пустотности (П%), которая представляет собой процентное отношение объема пор, трещин и каверн, заполненных водой и продуктами разрушения, к общему объему породы [6]. В случае разрушенных известняков трещинная пустотность (П%) достигает значений 30-35%, т.е. до трети объема слоя может быть занята продуктами разрушения известняка и водой. В слаботрещиноватых известняках эта величина обычно не превышает значений 5-10%.

В заключение можно отметить:

1. Полученные для каменноугольных глин ( $C_{3nv}$  и  $C_{3vs}$ ) московского региона зависимости между  $E_d$  и  $E_{деф}$  (Рис.2) позволяют оценить косвенными методами деформационные свойства коренных глин без отбора проб, что позволяет характеризовать свойства грунтов, залегающих непосредственно в массиве.

2. В массиве известняков Москвы совместный анализ значений  $V_{мас}$  и  $V_{обр}$  позволяет, изучать строение скального массива: прослеживать в плане и по глубине неоднородности его строения, выделять зоны трещиноватости, карстовые полости, зоны повышенной и пониженной плотности сложения.

### Литература

1. Бондарев В.И., Шмаков В.Н., Агеев В.Н. Определение статического модуля деформации песчано-глинистых грунтов в естественном залегании с помощью сейсморазведки // Труды Свердловского института им.В.В. Вахрушева, вып. 107. Свердловск, 1975.
2. Горяинов Н.Н., Ляховицкий Ф.М. Сейсмические методы в инженерной геологии. М.: Недра, 1979.
3. Миндель И.Г. Методика сейсмоакустических исследований физико-механических свойств связных и малосвязных грунтов // Труды ПНИИИС, 1975, вып. 35.
4. Никитин В.Н. Основы инженерной сейсмологии. М.: «Московский университет», 1981.
5. Савич А.И., Яценко З.Г. Применение сейсмоакустических методов для оценки деформационных свойств скальных горных пород // Гидротехническое строительство, №12, 1967.
6. Савич А.И., Коптев В.И., Никитин В.Н., Яценко З.Г. Сейсмические методы изучения массивов скальных пород. М.: Недра, 1969, с. 239.
7. Комплексные инженерно-геофизические исследования при строительстве гидротехнических сооружений / Под. ред. А.И. Савича, Б.Д. Куянджича. М.: Недра, 1990, 464 с.

## ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ «ПОТЕРЯННОЙ» ПРИПОВЕРХНОСТНОЙ ГЕОФИЗИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ИНЖЕНЕРНЫХ И ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКИХ ЗАДАЧ

С.А. Онищенко<sup>1</sup>, О.К. Тяпкин<sup>2</sup>

<sup>1</sup>АО "Запприкаспийгеофизика", Волгоград, Россия.

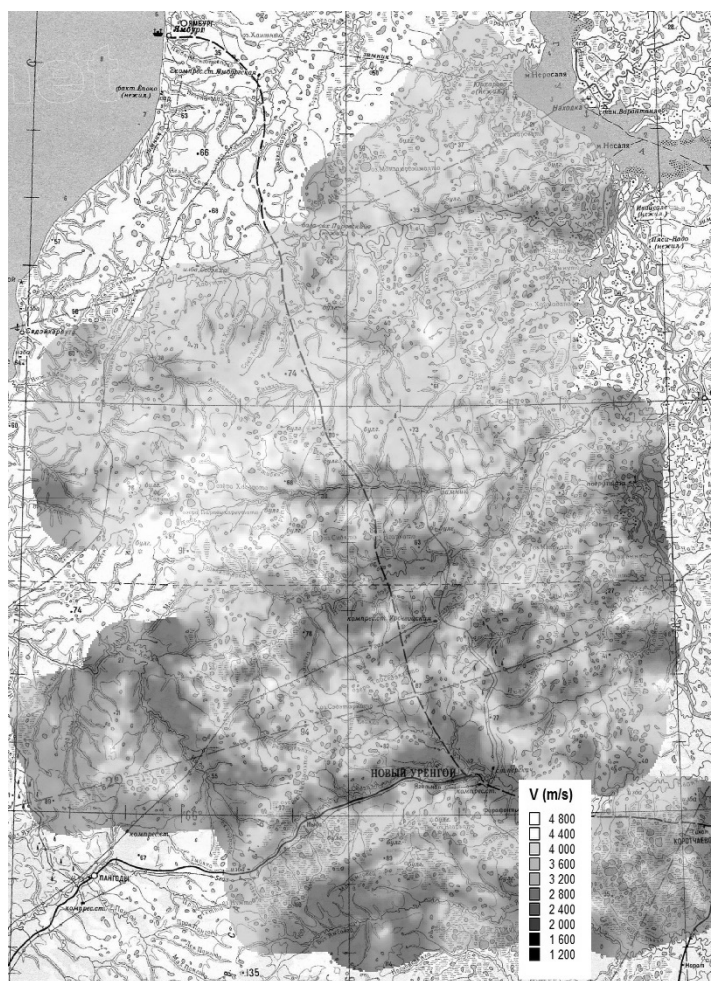
<sup>2</sup>Институт проблем природопользования и экологии НАН Украины, Днепропетровск, Украина.

Проблемой изучения строения верхней части геологического разреза (ВЧР) геофизики вынуждены заниматься на всех стадиях геологоразведочных работ. Традиционно считается, что ВЧР не несет прямой полезной разведочной информации, и ее относят к разряду помехообразующих факторов. Нами предложен и реализован на примере большей части севера Западной Сибири иной подход, путем обобщения сейсморазведочных данных прошлых лет и построения карт скоростей продольных волн ВЧР [5]. С освоением этого нефтегазодобывающего региона напрямую связано выполнение закладываемых в энергетической стратегии России темпов и параметров увеличения добычи природного газа. На территории Ямало-Ненецкого автономного округа (ЯНАО) сосредоточено ~33875 млрд м<sup>3</sup> запасов газа категорий А+В+С<sub>1</sub> и ~8540 млрд м<sup>3</sup> по категории С<sub>2</sub>. Отсюда по системам магистральных трубопроводов может транспортироваться свыше 600 млрд м<sup>3</sup> газа, более 100 млн тонн нефти и газового конденсата [1]. Но масштабное промышленное освоение региона невозможно без соответствующего развития железнодорожного, автомобильного и авиационного сообщения, перехода от временных вахтовых поселков к постоянным, строительства объектов соцкультбыта и много другого.

Территория ЯНАО характеризуется сложным строением верхней части разреза (ВЧР) за счет повсеместного наличия мощной толщи реликтовой многолетней мерзлоты с «мозаичным» трудно прогнозируемым строением мерзлой толщи как вглубь по разрезу (до глубины ~500 м), так и по латерали.

Путем обобщения сейсморазведочных (2D) данных за последние 15-20 лет) построена карта масштаба 1:200000 скоростей продольных волн ВЧР большей части (~37,5 тыс. км<sup>2</sup>) севера Западной Сибири (Рис.). При этом применяется достаточно точный способ определения скоростной характеристики ВЧР до глубин в несколько сотен метров для любых систем наблюдения и способов возбуждения колебаний, не требующий практически дополнительных специальных работ по изучению этой части разреза. Разработанная методика базируется на использовании оценочных значений средней скорости в толще ВЧР по временам первых вступлений, снятых по разрезам равноудаленных наблюдений на удалениях, соизмеримых с мощностью ВЧР. Методика использует времена первых вступлений не зависимо от типа волн, регистрируемых в первых вступлениях (преломленные, отраженные, рефра-

гированные и др.) и не зависит от кривизны границ ВЧР. Она реализована в рамках обрабатывающей системы SPS-PC, широко распространенной на территории бывшего Советского Союза. Найденные в пунктах геофизических наблюдений значения оценочной скорости пересчитываются путем интерполяции по площади на регулярную сеть [5].



**Рис. Территория севера Западной Сибири с построенной картой скоростей продольных волн ВЧР**

На построенной карте скоростей продольных волн ВЧР отчетливо выделяются участки увеличенной мощности многолетнемерзлых пород (участки с повышенными значениями скорости), а также участки с ее практически полным отсутствием (участки с пониженными значениями скорости, т.н. «растепленные» зоны). Последние тяготеют к некоторым рекам (которые в условиях заболоченной тундры севера Западной Сибири сильно меандриру-



ют) или к постоянно действующим транспортным магистралям. А также, некоторые «растепленные» участки охватывают значительные по площади территории, границы которых контролируются реками, что, в свою очередь, свидетельствует о том, что таким образом выделяются конкретные тектонические блоки земной коры, имеющие различные современные геодинамические характеристики. Последнее открывает дополнительные возможности по картированию разломно-блоковой тектоники региона и определению перспектив связанной с ней нефтегазоносности [4]. Полученная информация о скоростной характеристике ВЧР также представляет потенциальный интерес для исследований закономерностей газонакопления в зоне многолетнемерзлых пород. Общие прогнозные ресурсы внутримерзлотных газов в России (для целей местного и временного газоснабжения северных регионов) составляют весьма значительную величину – до 17 трлн м<sup>3</sup> [3].

В целом полученная площадная информация о скоростной характеристике ВЧР способствует эффективной реализации комплекса современных технологий обустройства и эксплуатации нефтегазовых месторождений. А со временем в районах выявленных месторождений проводятся инженерно-строительные работы по созданию промышленных объектов и коммуникаций для добычи, переработки и транспортировки углеводородов. Устойчивое состояние этих объектов требует размещение их фундаментов на глубинах, на которых в течение всего года не изменяется плотность пород и сохраняется температурный режим. В последние годы отмечается много аварий в связи с недоучетом глубинной неоднородности ВЧР, в частности с оттаиванием пород, на которых размещены фундаменты инженерных сооружений. Для определения пригодности того или иного массива горных пород ВЧР для строительства (структурно-тектонических условий участка, деформационных, прочностных и фильтрационных свойств горных пород и др.) обязательны к выполнению инженерно-геологические изыскания.

Построенная карта скоростей продольных волн ВЧР, основанная на огромном накопленном объеме сейсморазведочных исследований, плотно покрывающих территорию, а также возможность пересчета скорости продольных волн ВЧР в плотностные и инженерные характеристики, позволит значительно сократить объем дорогостоящих инженерно-изыскательских работ с существенным повышением их достоверности, надежности и полноты получаемой информации при проектировании инженерно-строительных работ, а также при организации системы экологического мониторинга и прогнозировании возможных геоэкологических последствий воздействия проектируемых сооружений на окружающую среду. В значительной мере это касается:

- выбора площадок на нерастепленных участках под строительство зданий и сооружений производственной инфраструктуры и объектов соцкультбыта,
- планирования местоположения трасс железных дорог (со станциями и разъездами), автодорог, трубопроводов по нерастепленным зонам и проектирование их сооружения на участках пересекающих указанные зоны,

• выбор мест под строительство мостовых переходов на нерастепленных зонах русел рек без отсыпки грунта (с бурением в вечной мерзлоте скважин на глубину 20-40 м для обеспечения надежности опор переходов), что позволяет сохранить экосистемы пойм рек.

Заказчиком описанного выше комплексного подхода изучения ВЧР могут выступать сами добывающие компании, ранее заказавшие проведение геофизических (сейсморазведочных) работ на своих лицензионных участках, т.к. для них в случае последующего сооружения промышленных коммуникаций и инфраструктуры предоставляется реальная возможность существенной экономии средств на инженерные изыскания, и, как следствие, повышение рентабельности проектов и снижение себестоимости добываемых полезных ископаемых.

Еще одним перспективным направлением использования построенных карт скоростей продольных волн ВЧР является сельское хозяйство степной и лесостепной зон и, в первую очередь, точное земледелие. Здесь с помощью указанных карт возможно изучение и прогнозирование изменений влажности ВЧР (как по площади, так и на глубину). Для этих целей в разработанной методике используются оценочные значения средней скорости в толще ВЧР по временам первых вступлений на разных фиксированных удалениях. Это позволяет изучать особенности строения ВЧР на конкретных глубинах (точнее – до этих глубин). Совместное исследование соответствующих карт скоростей продольных волн ВЧР дает возможность определять и прогнозировать объемное распределение в этой части разреза влажности и выяснять источники ее пространственных изменений: природные (в т.ч. структурно-тектонические) или техногенные – для принятия необходимых управленческих (в т.ч. инженерных и геоэкологических) решений при планировании и осуществлении водохозяйственной и сельскохозяйственной деятельности [2].

#### Литература

1. Тер-Саркисов Р.М., Скоробогатов В.А., Старосельский В.И. Сырьевая база газовой промышленности федеральных округов России // Газовые ресурсы России в XXI веке: Сб. науч. трудов ОАО «Газпром» – ООО «ВНИИГАЗ». – Москва, 2003.
2. Onyshchenko S.A., Tyapkin O.K. Use of the Lost Seismic Information about Upper Part of Geological Structure for Development of Precise Agriculture // First Conference on Proximal Sensing Supporting Precision Agriculture. Near Surface Geoscience-2015. – Turin, Italy, 2015. – Paper Tu PrS 03. – 4 p.
3. Skorobogatov V.A., Yakushev V.S., Chuvilin E.M. Sources of natural gas within permafrost of North-West Siberia: Proceedings of the 7th International Permafrost Conference, Yellowknife, Canada // Collection Nordicana. – 1998. – N 55. – P.1001-1007.
4. Tyapkin K.F. New technologies in assessment of outlooks on search for ore and hydrocarbon deposits // Earth Science Frontiers (China University of Geosciences, Beijing). – 1998. – Vol.5, №1-2. – P. 41-48.
5. Tyapkin O.K., Onyshchenko S.A. Near Surface Geophysical Information for Development of Socio-Economic Infrastructure of Oil and Gas Arctic Regions // EAGE 76th Conference and Technical Exhibition. – Amsterdam, The Netherlands, 2014. – Paper Tu P12 03. – 4 p.

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГЕОРАДАРНЫХ И ДИСТАНЦИОННЫХ МЕТОДОВ И МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРИ ИЗУЧЕНИИ ТОРФЯНЫХ ОТЛОЖЕНИЙ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКИХ ЗАДАЧ

Т.В. Орлов<sup>1</sup>, С.А. Садков<sup>1</sup>, А.В. Зверев<sup>1</sup>, А.С. Викторов<sup>1</sup>,  
А.Ю. Калашников<sup>2</sup>, Е.А.Заров<sup>3</sup>, И.В. Филиппов<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Институт геоэкологии им. Е.М. Сергеева РАН, Москва, Уланский пер. 13, стр. 2.  
E-mail: tim.orlov@gmail.com.

<sup>2</sup>Геологический факультет, Московский Государственный университет им. Ломоносова,  
Москва. E-mail: x\_kalash@mail.ru.

<sup>3</sup>Югорский государственный университет, Ханты-Мансийск.  
E-mail: zarov.evgen@yandex.ru.

### ***Введение.***

Разработка современных методов изучения торфяных отложений крайне важна в связи с высокой важностью болотных систем.

Болотные системы имеют ключевое значение для целого ряда геоэкологических задач. В первую очередь это блок задач, связанных с разработкой и функционированием месторождений твердых полезных ископаемых, углеводородов и др., так как зачастую болотные системы занимают значительные территории в районах разработки. Другой важный блок задач формируется для торфяных отложений, находящихся в многолетнемерзлом состоянии. Именно для таких отложений характерно развитие криогенных процессов при инженерном освоении. Третий существенный блок задач связан с глобальным изменением климата, эмиссией парниковых газов и другими глобальными процессами, где болота являются ключевыми объектами. Здесь важны вопросы рекультивации болотных систем после торфодобычи и других типов использования.

Для всех перечисленных задач принципиальную важность имеет изучение мощности торфа, формы минерального дна болота, а также выявление типов торфа в залежи. Однако решение этих задач традиционными методами достаточно трудоемко, особенно в условиях обводненных труднопроходимых болот.

В современных условиях развитие широкого набора методов дистанционного зондирования и геофизических методов позволяет значительно упростить решение приведенных выше задач.

***Цель работы*** – Целью данного сообщения является продемонстрировать возможные подходы для решения указанных задач методами дистанционного зондирования совместно с георадарным профилированием, а также математического моделирования некоторых процессов, протекающих в болотных системах.

Использование комбинации дистанционного зондирования и георадарного профилирования позволяет ограничиться только реперными точками бурения и описания в основных позициях, а информацию о границах типов торфяной залежи получить за счет интерпретации георадарной записи и данных дистанционного зондирования.

**Район исследования.**

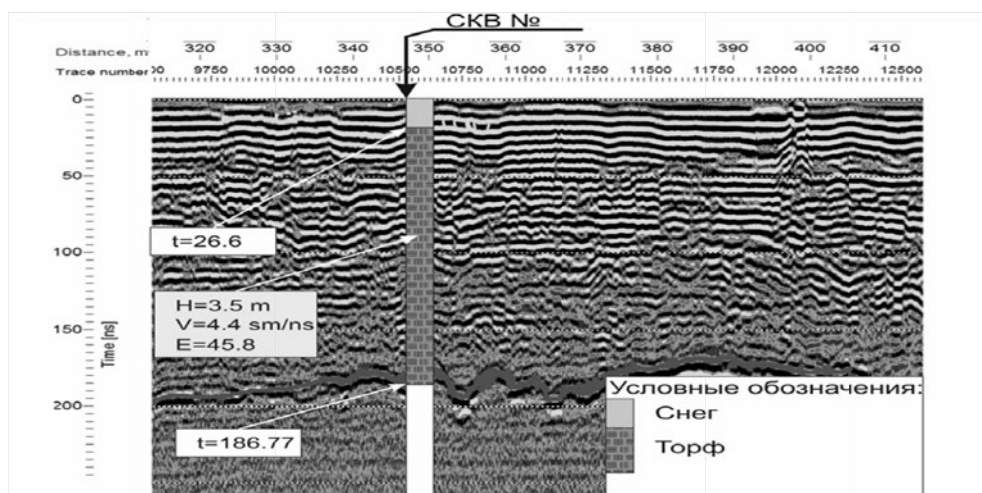
Отработка подходов осуществлялась для ряда полигонов: 1. Архангельская область, Беломоро-Кулойское плато, зона разработки месторождения алмазов; 2. Архангельская область, Зимний берег Белого моря; 3. Архангельская область, Каргопольский район; 4. ХМАО, стационар Мухрино.

**Материалы и методы.**

В качестве данных дистанционного зондирования использовались разновременные, разносезонные снимки Landsat 7, 8, 1990-2014 гг., разрешением 15 м/пикс и высокодетальные снимки с разрешением 0,5 м/пикс. Снимки Landsat использовались для выделения типов болотных систем, анализа свойств их функционирования. Высокдетальные снимки использовались для выделения границ типов болотных систем, анализа рисунков.

Георадарное профилирование осуществлялось георадаром Zond 12e, антенны 300 Мгц и 150 Мгц (дипольная), с глубиной сканирования от 300 до 500 нс.

На рис. 1 приведен фрагмент георадарного профиля с выделенной границей снега, дна болота.

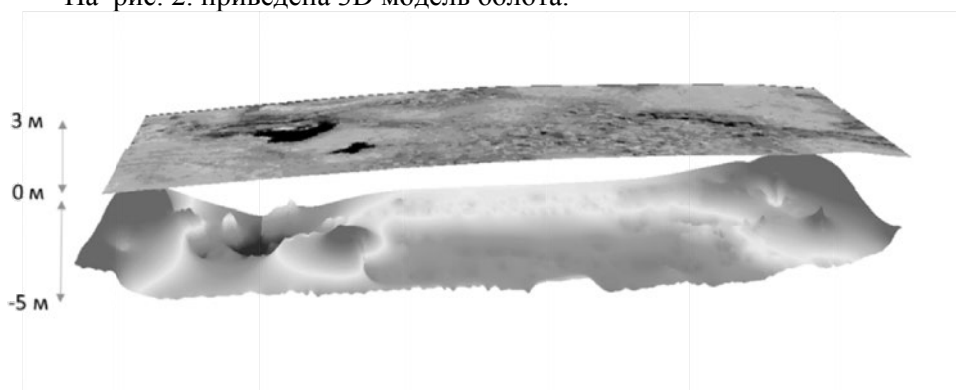


**Рис. 1. Фрагмент георадарного профиля**

Относительная диэлектрическая проницаемость торфяных отложений в летних условиях зачастую соответствует справочной (64). В зимних условиях, из-за влияния снегового покрова, промерзшей верхней толщи средняя диэлектрическая проницаемость оказывается ниже справочной.

Надо отметить, что георадарное зондирование позволяет выделить ряд границ, которые поддаются интерпретации (напр. границы между торфами разной степени разложения и происхождения), а также ряд сложно интерпретируемых границ. Методы интерпретации для них еще предстоит разработать.

На рис. 2. приведена 3D модель болота.



**Рис. 2. 3D модель болота (стационар Мухрино).**

*Верхняя поверхность – современный рельеф с наложенным космическим снимком, нижняя поверхность – дно болота*

Использование данных о рельефе дневной поверхности и дна болота позволяет установить соответствие и наследуемость современных структур.

При анализе 3D модели можно сделать следующие выводы: озеро находится на склоне минерального дна; самая глубокая часть приходится на грядово-мочажинный комплекс, отвечающий наиболее интенсивному современному потоку; мочажинно-бугристый комплекс болота соответствует понижению дна, с неровным бугристым рельефом; залесенное болото соответствует подъему дна.

Грядово-мочажинные (ГМ) структуры имеют особое значение в системе функционирования болота. Они связаны с поверхностными и грунтовыми водными потоками, современным и погребенным рельефом.

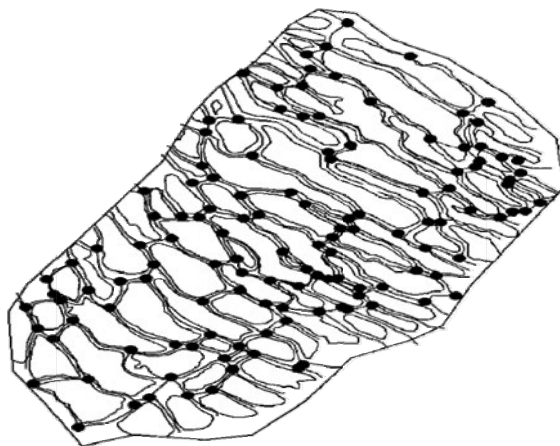
Представляется разумным применить вероятностный подход к моделированию ГМ структуры.

Основная идея вероятностного моделирования основана на следующей концепции. Для анализа используются однородные территории с массовым развитием однотипных процессов (в данном случае участки ГМ болот). В рамках данного подхода ГМ структура представляется как ансамбль элементарных и сложных (изогнутых) частей пересекающихся гряд. Элементарные секции гряд разделены мочажинами со сфагновым или открытым торфяным покровом. Пересечения гряд рассматриваются как особые точки, описывающие рисунок.

Было выбрано несколько ключевых параметров для модели: среднее количество и ширина гряд и мочажин вдоль профиля, количество пересече-

ний и пространственное распределение пересечений гряд на элементарном участке, средняя площадь и распределение размеров мочажин, локальная и общая кривизна гряд.

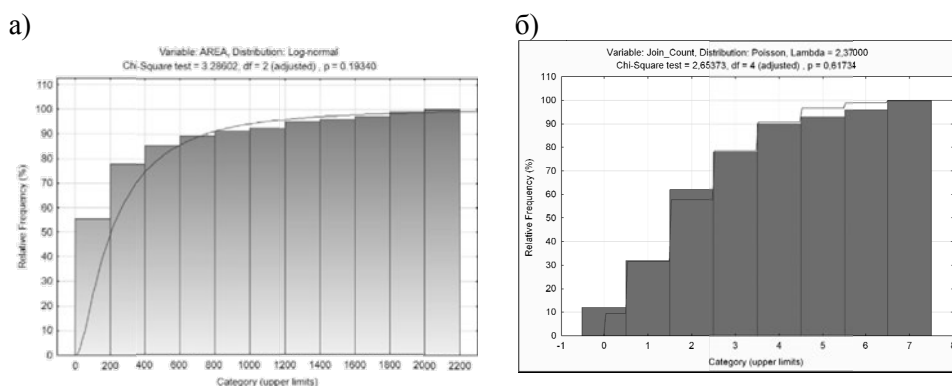
На рис. 3 приведен пример параметризации ГМ рисунка.



**Рис. 3. Пример параметризации ГМ рисунка, выделение мочажин, гряд, пересечений гряд**

Был проанализирован ряд грядово-мочажинных структур, характерных для районов исследования. Для большинства рисунков выполняются следующие закономерности: площадь мочажин имеет логнормальное распределение для всех выделенных рисунков, пересечения гряд расположены в соответствии с распределением Пуассона.

На рис. 4. приведены накопительные гистограммы для площади мочажин и точек пересечения гряд для одного из участков.



**Рис. 4. Накопительные гистограммы для одного из участков:**

- а* – соответствие распределения площадей мочажин логнормальному закону;
- б* – соответствие распределения точек пересечения гряд закону Пуассона

Расположение точек пересечения гряд в соответствии с распределением Пуассона можно интерпретировать как независимость их возникновения и равную вероятность возникновения на площади одинаковой величины. Возможно, они являются первичными очагами развития ГМ рисунка.

Соответствие распределения площадей мочажин логнормальному закону может быть связано с двумя процессами – независимым случайным ростом мочажин, или процессом деления болота грядами случайным образом на каждом этапе развития.

***Заключение.***

На основании приведенных результатов можно сделать следующие выводы:

– было опробован комплекс подходов, базирующийся на современных методах – дистанционном зондировании и георадарном профилировании;

– использование многоканальных снимков Landsat низкого разрешения позволяет выделить основные типы болотных систем, и изучить особенности их функционирования используя наборы разносезонных, разновременных данных;

– использование снимков высокого разрешения, позволяет описать и охарактеризовать выделенные типы болотных систем, выделить особенности проявления процессов в торфяных отложениях;

– георадарное профилирование является перспективным методом изучения болотных систем, в первую очередь для выявления дна болота и вертикальных особенностей торфяной залежи. В зимний период удается получить наиболее быстрые результаты (около 30 км профиля в день), однако возникают проблемы с интерпретацией данных;

– сочетание комплекса данных дистанционного зондирования, разного пространственного и спектрального разрешения с результатами георадарного профилирования позволяет получить базовую 3D модель болота;

– целесообразно применение аэрофотосъемки с беспилотных летательных аппаратов для получения информации о современном рельефе и подспутниковой оптических данных для улучшения качества 3D модели;

– в пределах болотных систем можно выделить особые зоны, часто связанные с развитием грядово-мочажинных комплексов. Вероятностное моделирование грядово-мочажинных комплексов позволяет по материалам однократной съемки сделать обоснованные предположения о функционировании и истории развития этих систем.

## **ОЦЕНКА ВЕРОЯТНОСТИ ПРОЯВЛЕНИЯ ПРИРОДНЫХ ЭКЗОГЕННЫХ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ НА ОСНОВЕ ЦИФРОВОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ РЕЛЬЕФА**

**Е.В. Полякова<sup>1,2</sup>, Ю.Г. Кутинов<sup>1,2</sup>, З.Б. Чистова<sup>1</sup>, А.Л. Минеев<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> Институт экологических проблем Севера УрО РАН, 163061, г. Архангельск,  
набережная Северной Двины, 23. E-mail: lenpro26@yandex.ru

<sup>2</sup> Центр космического мониторинга Арктики Северного Арктического федерального  
университета им. М.В. Ломоносова, 163002, г. Архангельск, набережная Северной Двины, 2/2.  
E-mail: kutinov@iepn.ru

Экзогенные геологические процессы (ЭГП) являются одним из ведущих факторов рельефообразования. Знание закономерностей развития ЭГП, их скоростей, динамики, геохимических и экологических аспектов необходимо при решении проблем рационального использования природных ресурсов, в частности, хозяйственного освоения территории: сельскохозяйственного использования земель, размещения различных сооружений и определения мер защиты от негативных последствий изменения рельефа и природной среды в целом, т.е. оценкам потенциального риска – вероятности наступления (активизации) нежелательного геоморфологического события и возможного нанесения ущерба какому-либо хозяйственному объекту и населению. Развитие ЭГП хорошо изучено для территорий с большой площадью сельскохозяйственных угодий [13]. В основном это работы по изучению эрозии почв, ее последствий и организации противоэрозионных мероприятий в агроландшафтах для территорий центральной и южной частей России. Кроме того, большое внимание при изучении ЭГП уделяется вопросам катастрофических изменений, прежде всего в русловых, эоловых, береговых структурах и др. [2,12]. В то же время вопросы развития ЭГП в северных и субарктических регионах страны освещены в значительно меньшей степени. Их изучение связано в основном с хозяйственным освоением территорий и лишь небольшое количество исследований посвящено проявлению экзогенных геологических процессов в естественных, не затронутых человеческой деятельностью ландшафтах [4,5].

Считается, что в естественных северотаежных ландшафтах Европейского Севера России экзогенные геологические процессы протекают достаточно медленно и находят слабое отражение в формах рельефа. Так, на Карте районирования территории России по степени экстремальности развития эколого-геоморфологических ситуаций, составленной Институтом географии РАН в масштабе 1:9000000 [7], интенсивность эрозионных процессов северотаежной зоны оценивается как «очень слабая» и «слабая», а экзодинамические условия (сейсмические и экзогенные) как «в целом благоприятные». Однако ситуация коренным образом изменяется при нарушении целостности растительного покрова, что неизбежно при современных методах хозяйст-



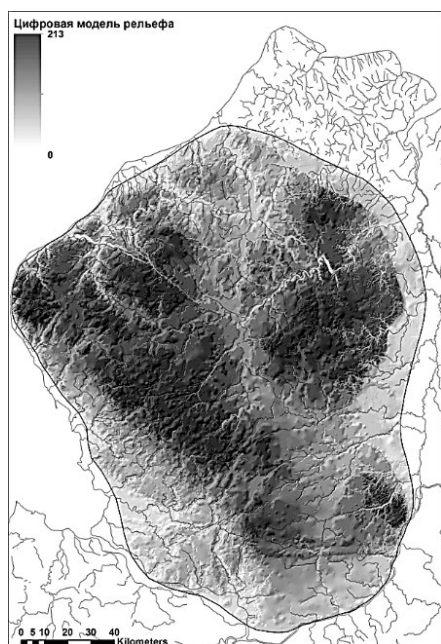
венного освоения данных территорий. В работе [11] отмечается, что «интенсивное хозяйственное освоение территорий часто приводит к активизации природных процессов или развитию новых опасных явлений, которые ранее здесь отсутствовали».

Осуществление всех видов деятельности, обеспечивающих недропользование в северных регионах РФ, включая геологоразведочные, проектно-изыскательские, строительные, эксплуатационные работы, сталкивается с серьезными трудностями в плане почти полного отсутствия актуальной, точной геопространственной информации об опасных процессах и явлениях [1]. Экстенсивный характер лесопользования и низкая скорость лесовозобновления приводят к быстрому сокращению лесных площадей [6]. Существенное влияние на северные экосистемы оказывает разведка и разработка месторождений полезных ископаемых [10]. Например, на территории Архангельской области открыты и в настоящее время разрабатываются месторождения алмазов (Архангельская алмазоносная провинция), бокситов (Северо-Онежский бокситовый район), углеводородов и т.д. Определенное влияние на северные экосистемы оказывают урбанизация и развитие дорожной сети. Природные факторы также вносят свой вклад в изменение рельефного облика северных ландшафтов. Так, в условиях переувлажнения формируется крайне обширная, разветвленная, гидрографическая сеть с высокими показателями водности и сложным гидрологическим режимом водотоков и озер. Малые перепады относительных высот и отсутствие дренирования приводят к обширному заболачиванию северных территорий. В итоге формируются болота разных типов, а при наличии мерзлых пород это провоцирует крайнюю неустойчивость грунтов. Эндогенный фактор также влияет на выраженность экзогенных процессов. В северной части Русской плиты подавляющее большинство разломов являются нарушениями со смещением слоев в теле фундамента, а в осадочном чехле им обычно соответствуют узкие зоны трещиноватости, флексуорообразные перегибы. Узлы пересечения тектонических дислокаций в осадочном чехле представляют собой сложно построенные как в вертикальной, так и в горизонтальной плоскостях объемные тела, характеризующиеся аномальными физическими свойствами. По узлам тектонических нарушений наблюдается подъем глубинных минерализованных вод, являющихся транспортером глубинных газов, в первую очередь  $\text{CO}_2$  [8]. Известно, что любое увеличение концентрации  $\text{CO}_2$  может повлиять на химическое равновесие карстовых ландшафтов, развитие которых приурочено к каменноугольным и пермским отложениям Русской плиты.

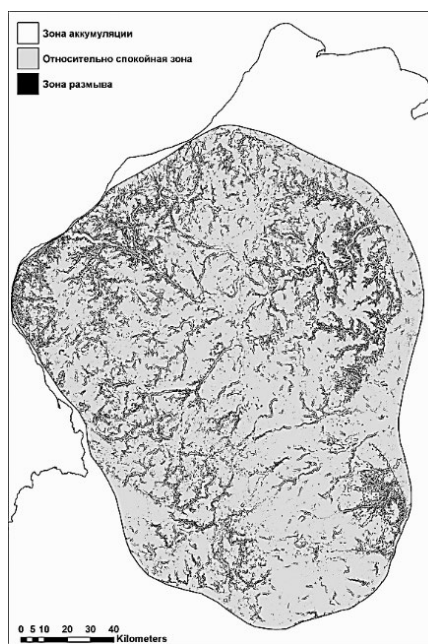
Широкое развитие геоинформационных (ГИС) технологий и систем дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) сделало возможным решение чрезвычайно сложных фундаментальных и прикладных задач геоэкологии и инженерной геологии. Использование цифрового моделирования рельефа дает возможность проведения геоморфометрического анализа и создания карт важнейших геоморфометрических показателей, а на их основе карт потенциальной экзогенной опасности, направлений поверхностного стока, геохимической миграции элементов, устойчивости ландшафтов, преобладающе-

го режима (аккумулятивный, эрозионный) и т.п. В настоящее время в геоинформатике сформировано отдельное научное направление, занимающееся цифровым анализом рельефа с целью получения практически значимой информации – геоморфометрия (англ. geomorphometry, digital terrain analysis) [14-19].

Авторами была построена цифровая модель рельефа (ЦМР) на территорию Архангельской области на основе глобальной ЦМР ASTER GDEM v.2. Методика построения подробно описана в [9]. Для проведения геоморфометрического анализа выбран тестовый участок – Беломорско-Кулойское плато (БКП). Здесь сохранился массив коренных северотаежных лесов, который является одним из крупнейших в Европе. Развиты уникальные формы карстового рельефа, что определяет специфику биоценозов данного района. Также на территории ведется активная антропогенная деятельность, связанная с разработкой открытым способом месторождений алмазов им. М.В. Ломоносов и В.П. Гриба. Таким образом, на данном участке представлены природные и антропогенные факторы, контролирующие проявление ЭГП. ЦМР на территорию БКП построена с использованием данных ASTER GDEM v.2 и электронных топографических карт масштаба 1:50000 открытого доступа ГИС Панорама (рис. 1.).



**Рис. 1. Цифровая модель рельефа Беломорско-Кулойского плато**



**Рис. 2. Потенциальное проявление природных экзогенных геологических процессов на Беломорско-Кулойском плато**

Геоморфометрический анализ растровых ЦМР базируется на расчете определенного показателя в точке (пикселе) с учетом окружения. Это позволяет количественно описать связь между точкой (пикселем) и его ближайшим окружением. Расчет большинства геоморфометрических параметров, как правило, производится на основе скользящего окна размером 3×3 пиксела [16]. Геоморфометрический анализ производился в свободном программном продукте SAGA GIS. Анализировались 3 категории геоморфометрических параметров:

1. Геометрические: угол наклона и экспозиция склонов, различные виды морфометрической кривизны поверхности, индекс расчлененности рельефа, индекс баланса геомасс. Описывают морфологические особенности территории, определяющие скорость и интенсивность потоков вещества и энергии, динамику склоновых процессов.

2. Гидрологические: русловая сеть и густота русловой сети, бассейновое моделирование, топографический индекс влажности, LS-фактор. Используются для оценки поверхностного стока, степени увлажнения поверхности и перемещения обломочного материала.

3. Топографо-климатические: прямая и рассеянная весенняя инсоляция. Данная группа показателей характеризует влияние земной поверхности на особенности распределения солнечной радиации.

Далее был проведен кластерный анализ вышеперечисленных параметров. Основной целью кластерного анализа является выделение сравнительно небольшого числа групп объектов, как можно более схожих между собой внутри группы, и как можно более отличающихся в разных группах [3].

На основе геоморфометрического и кластерного анализа построена карта потенциального проявления ЭГП на территории БКП (см. рис. 2). Выделены 3 зоны: зона максимального размыва пород, соответствующая врезанным бортам рек, карстовых оврагов и логов; зона аккумуляции обломочного материала, приуроченная к долинам рек и карстовым понижениям; зона относительного спокойствия, к ней относится большая часть территории, где проявление ЭГП маловероятно.

#### Литература

1. *Амбросимов А.В., Сизов О.С.* Дистанционное геопространственное информационное обеспечение недропользования в условиях Крайнего Севера: предотвращение рисков, связанных с термоэрозией // Геоматика. 2013. № 3, с. 50-58
2. *Ананьев Г.С.* Геоморфологическая наука за рубежом // Новые и традиционные идеи в геоморфологии: Труды V Щукинских чтений. М., 2005. С. 28-38
3. *Бериков В.С., Лбов Г.С.* Современные тенденции в кластерном анализе // Всероссийский конкурсный отбор обзорно-аналитических статей по приоритетному направлению «Информационно-телекоммуникационные системы». 2008. 26 с.
4. *Воскресенский К.С.* Современные рельефообразующие процессы на равнинах Севера России. Автореф. дисс. ... докт. геогр. наук. М., 1999. 32 с.
5. *Евсеева Н.С.* Современные процессы рельефообразования юго-востока Западно-Сибирской равнины. Автореф. дисс. ... докт. геогр. наук. Томск, 2006, 43 с.

6. *Исаченко А.Г.* Региональные аспекты состояния природной среды. Северная тайга // Состояние окружающей среды Северо-Западного и Северного регионов России. СПб.: Наука, 1995. С. 249-253
7. *Козлова А.Е., Локишин Г.П., Чеснокова И.В.* Карта районирования территории России по степени экстремальности развития эколого-геоморфологических ситуаций / Под ред. Э.А. Лихачева, Д.А. Тимофеев, А.В. Кошкарёв. М.: ООО «ДиЭмБи», 2006. 1 с.
8. *Кутинов Ю.Г., Чистова З.Б.* Разломно-блоковая тектоника и ее роль в эволюции литосферы // Литосфера и гидросфера Европейского Севера России. Геоэкологические проблемы. Екатеринбург: УрО РАН. 2001. С. 68-112
9. *Минеев А.Л., Кутинов Ю.Г., Чистова З.Б., Полякова Е.В.* Подготовка цифровой модели рельефа для исследования экзогенных процессов северных территорий Российской Федерации // Пространство и Время. 2015. № 3(21), с. 278-291.
10. *Миняев А.П., Юдахин Ф.Н.* Экологические проблемы Архангельской области // Экологические проблемы Европейского Севера: Сб. науч. трудов. Екатеринбург: Изд-во УрО РАН, 1996. С. 3-9.
11. *Осипов В.И., Кутепов В.М., Зверев В.Л. и др.* Опасные экзогенные процессы / Под ред. В.И. Осипова. М.: ГЕОС. 1999. 290 с.
12. *Сафьянов Г.А.* Предисловие // Новые и традиционные идеи в геоморфологии: Труды V Щукинских чтений. М. 2005, с. 3-4
13. *Танасиенко А.А., Путилин А.Ф., Артамонова В.С.* Экологические аспекты эрозионных процессов. Новосибирск: ГПНТБ СО РАН. 1999. 89 с.
14. *Шарый П.А.* Геоморфометрия в науках о Земле и экологии, обзор методов и приложений // Известия Самарского научного центра РАН. 2006. Т. 8. № 2, с. 458-473.
15. *Florinsky I.V.* Digital Terrain Analysis in Soil Science and Geology. Amsterdam: Elsevier, Academic Press. 2012. 379 p.
16. *Geomorphometry: Concepts, Software, Applications / by editing Tomislav Hengl, Hannes I. Reuter.* Elsevier, Developments in Soil Science. 2009. 765 p.
17. *Shary P.A., Sharaya L.S., Mitusov A.V.* Fundamental quantitative methods of land surface analysis // Geoderma. 2002. Vol. 107. No. 1-2, pp. 1-32
18. *Terrain Analysis: Principles and Applications / by editing J.P. Wilson, J.C. Gallant.* New York: John Wiley and Sons. 2000. 520 p.
19. *Wood J.* The geomorphological characterization of digital elevation models. Ph.D. Thesis. Department of Geography, University of Leicester, Leicester, UK. 1996. 185 pp.

## **ВЫДЕЛЕНИЕ ПОДЗЕМНЫХ СООРУЖЕНИЙ И КОММУНИКАЦИЙ МЕТОДАМИ ИНЖЕНЕРНОЙ ГЕОФИЗИКИ**

**В.В. Романов**

Российский государственный геологоразведочный университет им. Серго Орджоникидзе,  
117997, г. Москва, ул. Миклухо-Маклая, д. 23. E-mail: roman\_off@mail.ru

Подземное пространство крупных современных городов буквально пронизано множеством коммуникаций, труб и коллекторов. Положение подземных сооружений зачастую известно только приближённо. Основной инструмент геологического познания, разведочное бурение, в городских условиях затруднено, в том числе и по нормативным соображениям. Проходка разведочной скважины в городе возможна лишь при гарантированном отсутствии

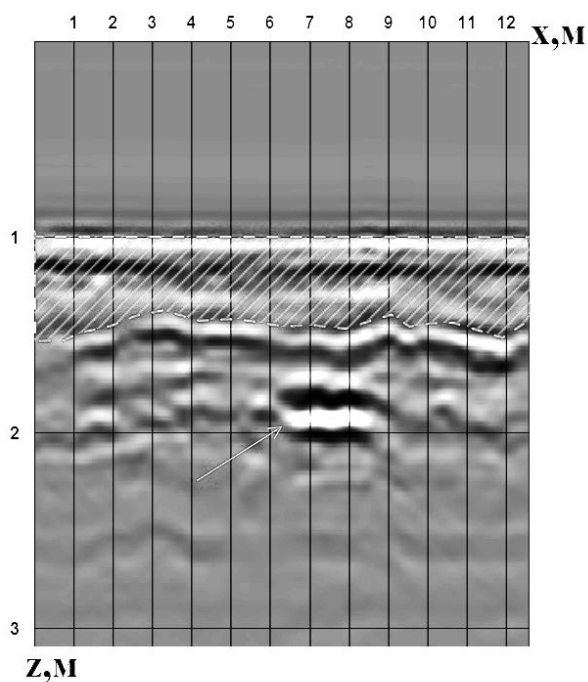
подземных кабелей, газовых магистралей и иных объектов в точке бурения. Возможности бурения в помещениях ограничены способностями малогабаритных установок.

Предварительная оценка наличия, глубины верхней кромки, положения в плане и формы подземных сооружений возможна при помощи методов инженерной геофизики [9,10]. Такие же методы эффективны при поиске карстово-суффозионных проявлений. В стандартный комплекс методов по поиску рассматриваемых объектов входят съёмка трассо- и металлоискателями, георадиолокация, сейсморазведка и электроразведка.

На незначительной глубине, в пределах 1–2 м от поверхности, эффективный поиск металлических труб и кабелей ведётся металлоискателем. При пересечении объекта с проводящими свойствами в приёмной катушке металлоискателя раздаётся отчётливый звонкий сигнал, качественно интерпретируемый оператором. Работа металлоискателя осложняется источниками электромагнитных помех и посторонними металлическими предметами.

Более широкие возможности имеет трассоискатель, оснащённый генератором переменного электрического тока. Генератор гальванически или индукционно присоединяется к видимой поверхности искомой коммуникации и создаёт в ней электромагнитное поле. Приёмное устройство трассоискателя, представляющее собой магнитометр, перемещается по поверхности над предполагаемой трассой изучаемой коммуникации. При пересечении объекта в приёмнике фиксируется положительная аномалия магнитного поля. Возможности трассоискателя ограничены проводящими свойствами грунтов, в которых проходит коммуникация, так как во влажных отложениях электромагнитное поле значительно затухает. Кроме того, имеет значение техническое состояние и коррозия коммуникации, глубина её залегания и удаление от точки съёмки до места подключения генератора. В пределах 50–100 м от точки подключения трасса коммуникации прослеживается достаточно точно при залегании объекта на глубине до 5 м в грунтах средней влажности. Трассоискатель также может примерно оценивать глубину нахождения коммуникации по уровню затухания измеряемого сигнала и работать в режиме пассивного поиска силовых кабелей под напряжением.

Более широкие возможности имеет георадиолокация [1], основанная на излучении и регистрации высокочастотных электромагнитных волн. Скорость таких волн в практически немагнитных грунтах зависит в основном от влажности, что позволяет разделять породы разного состава и состояния и находит в их толще различные неоднородности (рис. 1). Георадиолокация имеет высокую разрешающую способность, с её помощью возможно обследование стенок сооружений, в том числе на предмет микронеоднородностей – трещин и пустот. Главный недостаток георадаров – резкое уменьшение глубинности во влажных грунтах и металле. Кроме того, затруднён поиск сооружений в неоднородных насыпных грунтах и отложениях культурного слоя. Например, в центре Москвы глубина исследования георадиолокацией редко превышает 1–2 м, хотя в однородных сухих песках или мёрзлом грунте она может превышать 10 м.



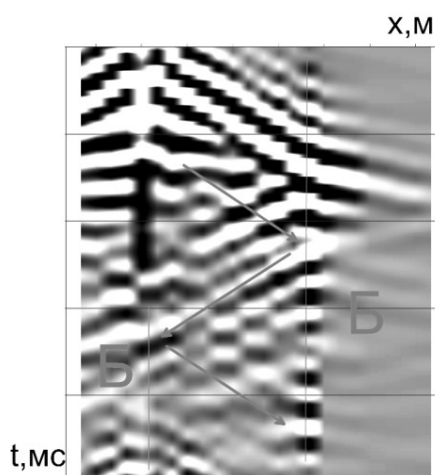
**Рис. 1. Выделение подземного туннеля методом георадиолокации. Верхняя кромка сооружения находится на глубине 1,5–2,0 м, он пройден в трещиноватых известняках, перекрытых элювием. Положение туннеля в разрезе показано стрелкой, кровля известняков прослежена пунктиром**



**Рис. 2. Выделение фрагмента подземного туннеля метрополитена методом МОВ-ОГТ. Верхняя кромка сооружения находится на глубине 25 м**

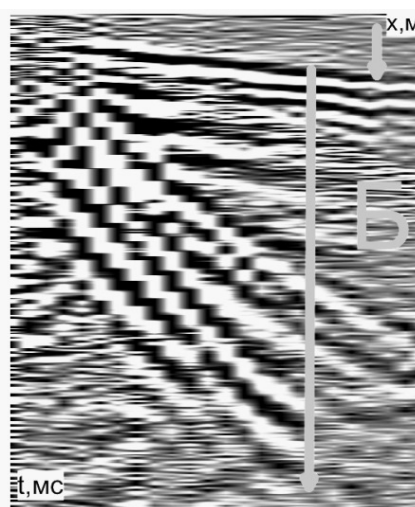
При поиске сооружений на глубинах более 10 м в черте города активно применяются методы сейсморазведки [2,4,5] и электроразведки. Наибольшей глубиной изучения и разрешающей способностью обладает сейсморазведка при помощи поперечных отражённых волн [11], обработанных по способу общих глубинных точек (МОВ-ОГТ) [6,12]. При помощи сейсморазведки указанным методом прослеживаются тоннели метрополитена на глубине 25–

30 м (рис. 2). Поверхностные сейсмические волны применяются в интервале глубин 1–10 м. Метод MASW (мультисканальный анализ поверхностных волн) отличается значительной помехоустойчивостью и высокой скоростью обработки [3,8]. Качественный анализ амплитуд поверхностных волн позволяет производить поиск сооружений с вертикальными стенками – коллекторов, колодцев и шахт. При прохождении сейсмических волн через границу высокоскоростной среды их амплитуды закономерно убывают [7], что отчетливо заметно на сейсмограммах (рис. 3) [2].



**Рис. 3. Сейсмограмма поверхностных волн, многократно отражённых от стенок вертикального колодца, пройденного в бетонном основании (Б). Стрелками показаны направления распространения волн**

**Рис.4. Сейсмограмма с записью рефрагированной волны в первых вступлениях, годограф которой искажился на стенке вертикального колодца (показано стрелкой)**



В последнее время получили распространения томографические методы, ориентированные на получение непрерывного распределения удельного распределения и скорости упругих волн по двум пространственным координатам. Сейсмотомография [10] основана на изучении годографов рефрагированных волн, которые значимо изменяются над неглубоко расположенными

подземными сооружениями (рис. 4.). В электротомографии при помощи многоканальных расстановок добиваются многократного просвечивания среды силовыми линиями постоянного электрического тока и восстановления внутренней структуры грунтовых массивов [5]. В заполненных воздухом сооружениях удельное сопротивление увеличивается, в затопленных и металлических коммуникациях – значительно уменьшается.

Рассмотренные методы при комплексном использовании позволяют быстро, надёжно и эффективно решать сложную и важную задачу – поиска и определения параметров подземных сооружений, особенно в местах, недоступных разведочному бурению.

### Литература

1. Владов М.Л., Старовойтов А.В., Калаишиков А.Ю. Некоторые вопросы интерпретации георадиолокационных данных при изучении железнодорожных насыпей // Разведка и охрана недр. – 2005. – № 12. – С. 15-18.
2. Гинодман А.Г., Гранит Б.А. Инженерно-геофизические исследования карста на территории Москвы и московского региона методом многоволновой сейсморазведки // Вестник МГСУ. – 2010. – № 4-2. – С. 120-127.
3. Гинодман А.Г., Голосов В.П., Гранит Б.А. Опыт изучения малоглубинных объектов сейсморазведкой // Вестник МГСУ. – 2013. – № 6. – С. 77-85.
4. Гинодман А.Г. и др. Обнаружение карста и сопряжённых с ним суффозионных процессов в условиях Москвы и Московского региона методом сейсморазведки // Геофизика. 2009. – № 6. – С. 20-23.
5. Иванова М.Г., Журбин И.В. Археологические и геофизические исследования средневековых поселений бассейна р. Чепца // Российская археология. – 2014. – № 1. – С. 40-53.
6. Ли В.О., Владов М.Л. Анализ эффективности 2D сейсморазведки методом ОГТ при изучении приповерхностной части разреза // Вестник Московского университета. Серия 4: Геология. – 2012. – № 3. – С. 52-60.
7. Миндель И.Г. Опыт определения параметров поглощения сейсмических волн в породах на малых глубинах // Инженерная геофизика и рудная геофизика – 2009: мат. 5-й научно-практической конференции и выставки, Геленджик, EAGE, 26-29 апреля 2009 г.
8. Молдаков В.В., Романов В.В. Применение метода многоканального анализа поверхностных волн (MASW) // Инженерная геофизика: мат. 10-й научно-практической конференции и выставки, Геленджик, EAGE, 21-25 апреля 2014 г.
9. Романов В.В. Из опыта комплексного применения сейсморазведки и георадиолокации при инженерно-геологических изысканиях на территории Москвы // Инженерные изыскания. – 2015. – № 5-6. С. 44-49.
10. Романов В.В. Интерпретация сейсмической томографии на примере изучения геологического строения оползневого склона // Разведка и охрана недр. – 2015. – № 3. – С. 34-37.
11. Романов В.В. Математическое моделирование при анализе данных метода отражённых волн в инженерной сейсморазведке // Геоинформатика. – 2014. – № 1. – С. 51-56.
12. Скворцов А.Г., Царев А.М., Садуртдинов М.Р. Методические особенности изучения сейсмогеокриологического разреза // Криосфера Земли. – 2011. – Т. XV. – № 4. – С. 110-113.



## **МОНИТОРИНГ МИГРАЦИИ НЕФТЕПРОДУКТА В ГРУНТЕ МЕТОДИКОЙ ЭЛЕКТРОТОМОГРАФИИ НА ПРИМЕРЕ ЛАБОРАТОРНОГО ЭКСПЕРИМЕНТА**

**П.А. Рязанцев, М.В. Нилова**

Институт геологии КарНЦ РАН, г. Петрозаводск, ул. Пушкинская, д. 11.  
E-mail: chthonian@yandex.ru

Одним из способов для выполнения мониторинга геологической среды являются методы геофизики [2]. Так, например, электроразведка активно используются при геоэкологическом контроле нефтяной промышленности, включающей резервуары, перегонные станции, нефтепроводы и т.д. [1]. Применение геоэлектрических методов обусловлено тем, что неизменённые нефтепродукты имеют сопротивление на несколько порядков выше, чем вмещающие породы [7]. В современной практике для решения подобных задач широко используется методика электротомографии на постоянном токе. Она позволяет на основе моделей распределения удельных электрических сопротивлений (УЭС) оценить изменение геологической среды с высокой детальностью. Большая плотность измерений обеспечивает локализацию зон, в которых протекают вторичные процессы, вызывающие изменения УЭС грунта, и позволяет проследить их динамику [3,4].

В представленной работе показаны результаты лабораторного эксперимента по определению миграции нефтепродуктов в дисперсном грунте под действием потока воды на основе электротомографических моделей. Целью исследований являлось оценка возможностей геофизических методов в качестве средства геоэкологического мониторинга. Для достижения цели было выполнено лабораторное моделирование, которое является полезным инструментом для оценки эффективности метода электротомографии [6]. В задачи эксперимента входило создание искусственного нефтяного загрязнения в модельной среде, его локализация на получаемой геоэлектрической модели, а также прослеживание динамики загрязнения в течение определённого периода времени.

Для проведения эксперимента была собрана измерительная установка (лабораторный бак) размерами 160x60x70 см. В баке была смоделирована простейшая геологическая обстановка, включающая проницаемую среду (среднезернистый песок, глинистость 3-5%, коэффициент пористости 0,6, водопроницаемый), а также водоупор, представленный слоем глины и расположенный под наклоном в 20°, что обеспечивает существование водотока (использовалась водопроводная вода с минерализацией 10 мг/л). В качестве загрязнителя выполнялась инъекция 200 мл нефтепродуктов (отработанное машинное масло) в определённый участок бака (Рис.1). После чего выполнялись измерения УЭС электроразведочной станцией СКАЛА-48М. Измерения выполнялись четырёхэлектродной симметричной электроразведочной уста-

новкой с шагом 5 см вдоль профиля, длина которого составляла 160 см, что позволило сформировать массив данных, состоящий из 126 замеров. Цикл измерения повторялся каждые 24 часа в течение 5 суток. За это время происходило смещение нефтепродуктов под действием водотока.

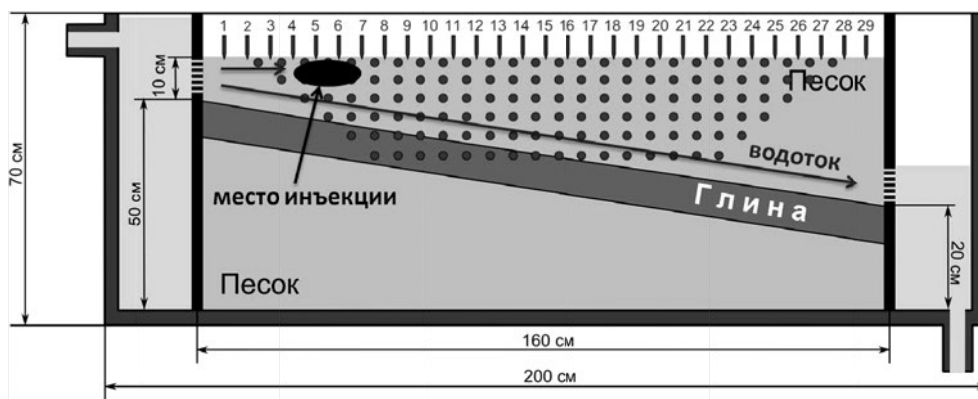


Рис. 1. Схема измерительного бака (кружки – точки измерения УЭС)

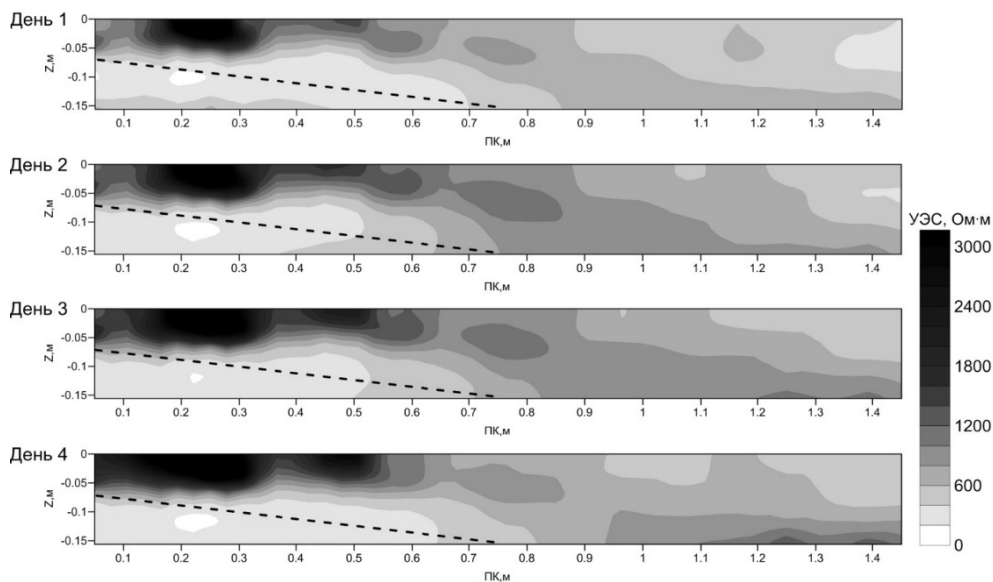


Рис. 2. Суточные модели изменения УЭС грунта под воздействием миграции загрязнения нефтепродуктами (пунктирная линия – водоупор)

Для обработки использовался способ обработки называющийся *time-lapse* электротомография (или покадровая). При её использовании решение обратной задачи (инверсия) данных для всего периода наблюдений осуществляется совместно, что позволяет подобрать более адекватные геоэлектрические модели, отражающие изменение среды [5]. Инверсия позволила получить набор разрезов УЭС, по которому отчётливо прослеживается перемещение вещества-загрязнителя в толще песка под действием течения воды (рис. 2).

На моделях по уровню УЭС отчётливо выделяются свободные от загрязнения зоны (500 Ом·м и менее), области частичного насыщения нефтепродуктами (600-2000 Ом·м) и участки наибольшей концентрации загрязнителя (2000 Ом·м и более). По истечению суток видно, что основное загрязнение локализовано в верхней части модели на ПК 0,1-0,4, куда собственно и было осуществлено его внедрение. На вторые сутки происходит заметное повышение сопротивления вдоль водотока, что связано с движением нефтепродуктов вдоль водоупора. На третьи сутки происходит образование новой области концентрации загрязнителя между ПК 0,4-0,6. Заключительная модель показывает, что образовалось три локальных максимума УЭС: первый связан с первоначальной зоной внедрения нефтепродуктов, второй образовался из-за их приповерхностного смещения, а третий образовался на глубине порядка 0,15 м (ПК 1,1-1,4) вследствие переноса загрязнителя водным потоком. В качестве проверки адекватности полученных моделей были выполнены отбор образцов и параметрические измерения их УЭС. Полученные значения показали удовлетворительную сходимость модельных и параметрических значений сопротивления.

В результате проведённых исследований был выполнен лабораторный эксперимент, на основании чего показаны возможности электротомографии для геоэкологического мониторинга дисперсных грунтов. Было установлено, что данная методика позволяет определить пространственно-временные характеристики загрязнения среды нефтепродуктами.

#### Литература

1. Геоэкологическое обследование предприятий нефтяной промышленности / Под ред. Шевнина В.А., Модина И.Н. М.: РУССО, 1999, 511 с.
2. *Огильви, А. А.* Основы инженерной геофизики. М.: Недра, 1990, 502 с.
3. *Chrétien M., Lataste J.F., Fabre R., Denis A.* Electrical resistivity tomography to understand clay behavior during seasonal water content variations // *Engineering Geology*. 2014. V169, p. 112-123.
4. *Genelle F., Sirieix C., Riss J., Naudet V.* Monitoring landfill cover by electrical resistivity tomography on an experimental site // *Engineering Geology*. 2012. V145-146, p. 18-29.
5. *Loke M. H.* Tutorial: 2-D and 3-D electrical imaging surveys [Electronic resource]. 2012, 148 p. – URL: [www.geotomo.com](http://www.geotomo.com), свободный. Яз. англ.
6. *Sentenac P., Montinaro A., Kulesa B.* Diesel transport monitoring in simulated unconfined aquifers using miniature resistivity arrays // *Environmental Earth Science*. 2010. V61, p. 107-114.
7. *Shevnin V., Delgado Rodríguez O., Mousatov A., Flores Hernández D., Zegarra Martínez H., Ryjov A.* Estimation of soil petrophysical parameters from resistivity data: their application for oil contaminated sites characterization // *Geofisica Internacional*. Universidad Nacional Autónoma de México. 2006. V45. №3, p. 179-193.

## ОЦЕНКА ГЕОМЕХАНИЧЕСКИХ РИСКОВ ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ ПОДЗЕМНЫХ ХРАНИЛИЩ ГАЗА В КАМЕННОЙ СОЛИ

А.А. Скворцов, Т.Ю. Журавлева

ООО «Газпром геотехнологии», 123290, г. Москва, ул. 1-я Магистральная, д. 11/2.  
E-mail: A.Skvortsov@gazpromgeotech.ru

Подземное хранилище газа (ПХГ) в каменной соли является сложным геотехническим сооружением с высокой степенью ответственности. В области строительства и эксплуатации ПХГ в каменной соли действует ряд нормативных документов, большая часть которых является стандартами организации. К таким документам относятся: СП 123.13330.2010 [1], СТО 2-3.5-153-2007 [2], СТО 2-3.5-784-2014 [3] и др..

Технология строительства заключается в контролируемом скважинном растворении подземных резервуаров (ПР) в залежах каменной соли определенной формы [4]. Глубина строительства данных подземных сооружений достигает полутора километров, что сопровождается высоким горным давлением. Высота выработки-емкости составляет от десятков до сотен метров, а объем может достигать 1 млн м<sup>3</sup>. Ввиду отсутствия технологической возможности обустройства постоянной крепи, с целью поддержания контура выработки, для каждого подземного резервуара расчетным путем устанавливается величина минимального (буферного) давления газа, которое выполняет роль крепи, т.е. создает противодействие внутри подземного резервуара (реакция крепи).

Таким образом, буферное давление является основополагающим технологическим параметром определяющим устойчивость подземного резервуара и его эксплуатационную надежность. Под термином «эксплуатационная надежность», в данном случае, понимается свойство подземного резервуара сохранять свои характеристики в течение всего срока эксплуатации. В процессе эксплуатации подземного резервуара могут возникнуть следующие осложнения:

- вывалы и обрушения в кровле выработки-емкости, которые могут привести к обнажению перекрывающих каменную соль горных пород, не обладающих достаточной газонепроницаемостью;
- повышенная конвергенция выработки-емкости, которая может привести к уменьшению геометрического объема и, как следствие, уменьшению активного объема хранимого газа, а также чрезмерным параметрам сдвига земной поверхности, приводящим к повреждению сооружений на поверхности.

В современных методах по оценке геомеханических рисков для подземных горных выработок на основе частных решений геомеханических задач, как правило, подразумевается получение коэффициента запаса устойчивости. Данный коэффициент рассчитывался как отношение какого-либо па-

раметра, полученного в ходе расчета (смещения, деформации или напряжения), к его предельной величине, полученной в ходе выполнения лабораторных испытаний образцов либо рассчитанной по специализированным расчетным выражениям. В данной работе вводится понятие геомеханический риск, как вероятностная мера устойчивости подземных сооружений ПХГ, обеспечивающая их безопасную эксплуатацию. Производить оценку геомеханических рисков предполагается с использованием статистического метода Монте-Карло.

Метод Монте-Карло является численным методом, основанным на получении большого числа реализаций стохастического процесса. Данный метод активно используется при моделировании различных физических, экономических и прочих задач. Он предполагает проведение серии расчетов с варьированием входных параметров и получение отклика системы с его последующей статистической обработкой.

Факторы геомеханических рисков можно разделить на две группы.

Первая группа, к которой относятся природные факторы геомеханических рисков, включает в себя:

- структурный тип залежи – пласт, купол, шток;
- глубина залегания соляного массива;
- литолого-генетические особенности строения соляной залежи;
- физико-механические и реологические свойства каменной соли;
- наличие труднорастворимых пропластков горных пород в соляной залежи;
- естественное напряженное состояние соляного массива.

Вторая группа факторов геомеханических рисков связана с технологией строительства и эксплуатации подземных резервуаров, то есть является технологической и включает в себя следующие параметры:

- форма и размеры выработки-емкости;
- минимальное (буферное) давление газа;
- максимально допустимое давление газа;
- темп отбора газа;
- оборачиваемость ПХГ.

Обе группы факторов могут привести к потере устойчивости выработок-емкостей в процессе их строительства и эксплуатации, в частности, образованию вывалов и обрушений в кровле выработок-емкостей, запредельной их конвергенции, образованию мульды сдвижения с недопустимыми параметрами, а также к нарушению герметичности во время эксплуатации, консервации и ликвидации выработки-емкости.

Согласно [2] критериями устойчивости выработки-емкости являются:

- не вся поверхность выработки принадлежит области запредельной деформации (ОЗД);
- максимальный размер ОЗД в кровле в направлении, нормальном поверхности, не превышает  $0,4l$ , где  $l$  – максимальный полупролет выработки-емкости;

– растягивающие напряжения в породном массиве не превышают прочности породы при растяжении.

При решении задачи устойчивости подземных резервуаров в каменной соли осложняющими факторами являются:

– отсутствие постоянной крепи выработки, способной воспринимать горное давление в течение всего срока эксплуатации сооружения;

– ярко выраженные реологические свойства каменной соли, требующие применения сложных геомеханических моделей;

– нестационарный режим эксплуатации подземных резервуаров (переменное давление на всем периоде эксплуатации);

– время прогнозируемой эксплуатации подземных резервуаров (50 лет).

В виду отсутствия аналитического решения для данной задачи, решение осуществляется с применением программного комплекса Simulia Abaqus, реализующего метод конечных элементов. Данный программный пакет позволяет учесть основные влияющие факторы, обусловленные технологическим влиянием и особенностями поведения материала. А также обладает сертификатом соответствия отечественным федеральным нормативным документом в области подземного строительства.

Проведение экспериментов по определению физико-механических свойств сопровождается вариацией исследуемых параметров. В некоторых случаях коэффициент вариации для выборки слишком большой, что приводит к занижению расчетных характеристик [5] и, как следствие, меньшей экономической эффективности сооружения, но при этом не учитывает возможные отклонения технологических параметров, что также влияет на устойчивость ПР. Вариация большинства физико-механических свойств горных пород и технологических параметров хорошо описывается нормальным распределением. Пример определения модуля упругости каменной соли одного из месторождений и его частотная характеристика представлена на рис. 1.

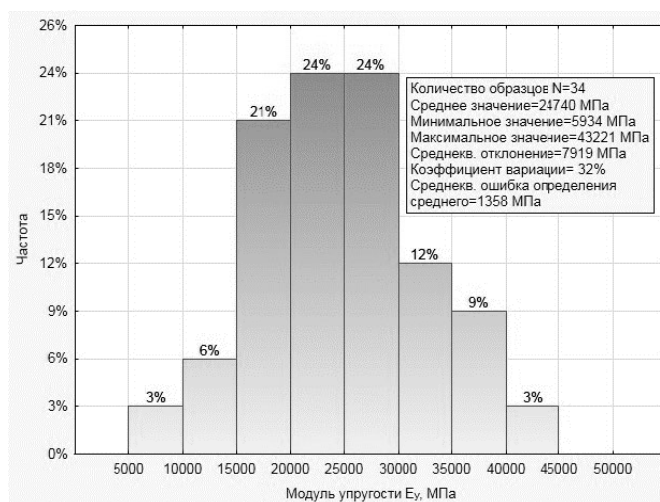
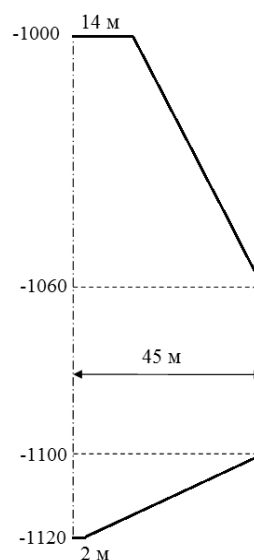


Рис. 1. Частотное распределение модуля упругости

Современные программные комплексы обладают возможностью автоматизированного расчета с учетом заданных пользователем статистических параметров распределения.

В качестве примера применения метода Монте-Карло для подземных резервуаров в каменной соли рассмотрено влияние неоднозначности физико-механических характеристик каменной соли.

В программном комплексе Simulia Abaqus возможно параметризовать все применяемые критерии, описанные выше, что позволяет обрабатывать результаты расчета статистическим методом, не прибегая к визуализации частного решения для оценки устойчивости ПР для каждого конкретного набора физико-механических свойств. Для примера рассмотрим выработку емкости в изотропном массиве каменной соли со следующими варьируемыми характеристиками: модуль упругости (E) 24740 МПа с коэффициентом вариации 32,0%; коэффициент Пуассона ( $\nu$ ) 0,21 с коэффициентом вариации 12,3 %; плотность 2,13 г/см<sup>3</sup> с коэффициентом вариации 1,5 %; параметры модели упруго-вязко-пластической модели Друкера-Прагера примем как постоянные. Параметры ползучести для модели Друкера-Прагера были получены путем регрессионного анализа экспериментальных данных по результатам испытаний образцов методом наименьших квадратов. Кровля осесимметричной выработки залегает на глубине 1000 м, расчет производится на период времени равный сроку эксплуатации подземного резервуара (50 лет) при постоянном буферном давлении P (5 МПа), размеры выработки представлены на рис. 2.

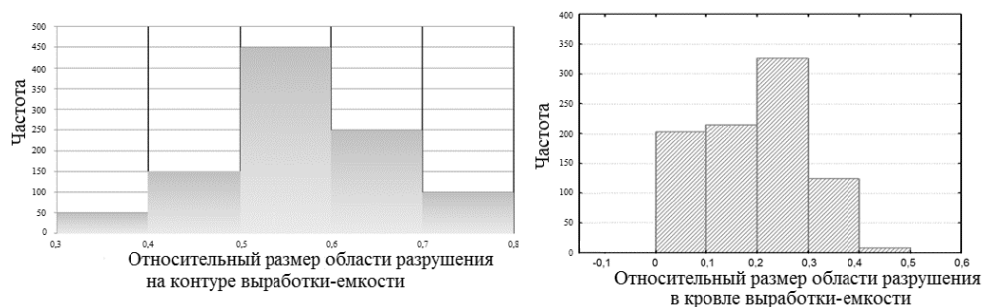


**Рис. 2. Осесимметричная форма подземного резервуара**

По результатам моделирования 1000 реализаций было получено:

- вся поверхность выработки-емкости не принадлежит ОЗД;
- максимальный размер ОЗД в кровле превышает 0,41 только в 3% случаях (рис. 3);
- растягивающие напряжения в массиве не образуются.

По результатам моделирования были получены распределения относительного размера ОЗД на контуре выработки-емкости и в кровле, приведенные на рис. 3.



**Рис. 3. Распределение относительного размера ОЗД на контуре и в кровле выработки-емкости**

Относительный размер области разрушения характеризует участки, где расчетные деформации превышают предельно допустимую величину, определяемую по результатам лабораторных экспериментов на образцах каменной соли. По результатам расчета можно сделать вывод, что для данных условий ПР будет устойчивы в 97% случаях, т.к. в 3% случаев размер ОЗД в кровле выработки превышает нормативный.

Приведенный пример в общих чертах показывает методику применения метода Монте-Карло для инженерных расчетов. Основные преимущества данного метода заключаются в том, что он позволяет учесть неопределенности связанные со строением и свойствами массива горных пород, изменчивостью и неточностью технологических параметров (например, вариативность минимального давления из-за погрешности прибора и стабилизации термобарических условий в подземном резервуаре).

Данный подход позволяет выполнять оценку рисков возникающих при строительстве и эксплуатации различных подземных сооружений количественно. Допустимый процент эксплуатационной надежности ПР определяется для каждого объекта индивидуально и является дальнейшей темой исследования.

#### Литература

1. СП 123.13330.2010. Подземные хранилища газа, нефти и продуктов их переработки.
2. СТО 2-3.5-153-2007. Подземные хранилища газа, нефти и продуктов их переработки в непроницаемых и устойчивых горных породах. Нормы и правила проектирования, строительства и эксплуатации.
3. СТО 2-3.5-784-2014. Оценка геомеханических рисков при строительстве и эксплуатации сооружений подземных хранилищ газа в каменной соли. Основные положения.
4. Казарян В.А. Подземное хранение газов и жидкостей. – М.-Ижевск, 2006. – 432 с.
5. ГОСТ 20522-96. Грунты. Методы статистической обработки результатов испытаний.



## **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГИС В ОЦЕНКЕ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОМОРФОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ ТЕРРИТОРИИ ГОРОДА НА ПРИМЕРЕ ВИТЕБСКА**

**А.Б. Торбенко, А.Н. Галкин**

Витебский государственный университет им. П.М. Машерова, 210038, Беларусь, г. Витебск, Московский пр-т, 33. E-mail: galkin-alexandr@yandex.ru

Изучением проблемы влияния геоморфологических условий на развитие и функционирование урбанизированных территорий особенно интенсивно стали заниматься со второй половины XX столетия в связи с мощным ростом городов и инженерных коммуникаций различного назначения. Сегодня такие исследования опираются на широкий круг методов от традиционных полевых исследований до дистанционного зондирования и спутниковой навигации. Неотъемлемой и довольно весомой по объему и значению частью в инженерно-геоморфологических работах является картографический блок, который зачастую рассматривается как основной итог проведенных изысканий. Кроме того, он позволяет сопоставлять результаты, полученные в совершенно различных исследованиях, так как топографическая основа является универсальной. Новые возможности перед исследователями открывают довольно широко применяемые в последнее десятилетие геоинформационные системы (ГИС), которые, кроме того, являются универсальным инструментом и позволяют говорить о реальной унификации в инженерно-геоморфологических исследованиях городов.

Исходя из вышесказанного, специализированная инженерно-геоморфологическая геоинформационная система урбанизированной территории, либо соответствующий блок в общей городской ГИС, на наш взгляд, может быть тем инструментом, который позволит оперативно решать конкретные задачи градостроительной практики на основе накопленного фактического материала и результатов предыдущих исследований. Проблема многообразия запросов и исходных данных, необходимых для решения практических инженерно-геоморфологических задач в рамках ГИС довольно легко решается за счет «блоковой» структуры систем, когда выбор и подключение отдельных блоков информации определяется исходя из конкретных требований исследователя инженерно-геоморфологической системы.

Последние несколько лет ознаменовались попытками использовать возможности ГИС в эколого-геоморфологической оценке городских территорий. Однако, анализ применения ГИС в таких исследованиях показывает, что большинство исследователей используют геоинформационные системы скорее как инструмент электронного картографирования, создавая тематические эколого-, инженерно-геоморфологические карты, оставляя без внимания возможности данных технологий по работе с информацией. На сегодняшний день существует огромное количество городских ГИС, но информация об

окружающей среде представлена в них в лучшем случае данными по загрязнению, а особенности рельефа отражены лишь на топографической основе. Справедливости ради надо отметить, что цифровая модель рельефа сопровождает многие ГИС урбанизированных территорий, но при этом она выполняет роль не более чем основы для эффективной подачи разнородной информации о городской среде. Кроме того, слабым звеном существующих ГИС на наш взгляд является отсутствие в них информации о базовом уровне данных по характеристикам окружающей среды (например, данные бурения при строительстве, микроклиматические наблюдения пунктов мониторинга гидрометеослужб и пр.), которые могут существенно расширить возможности применения информационных систем. Нами предпринята попытка создать на примере г. Витебска геоинформационную систему, которая учитывала бы все перечисленные нюансы и удовлетворяла бы запросам практики градостроительства и устойчивого развития урбанизированных территорий.

Витебск расположен на северо-востоке Беларуси, занимает площадь около 125 км<sup>2</sup>. Более чем тысячелетняя история города предопределила коренное изменение его естественного рельефа в результате деятельности человека.

Территория принадлежит бассейну Западной Двины и кроме самой реки дренируется ее достаточно крупными притоками – Лучесой и Витьбой, а также рядом более мелких водотоков, что определяет высокую степень расчлененности. Климат умеренно-континентальный со среднегодовым количеством осадков 724 мм, большая часть которых выпадает в летний период.

В морфоструктурном отношении исследуемая территория представляет собой денудационную столово-останцовую равнину с выходами девонских доломитов на поверхность в районе г.п. Руба (в 15 км от Витебска). Своеобразие современной гидрографической сети свидетельствует о наличии локальных линейных разломов. Эти факторы во многом предопределили сложную динамику последнего поозерского ледника, формирование крупных приледниковых бассейнов, неравномерность аккумуляции четвертичной толщи.

В геоморфологическом отношении г. Витебск расположен на пологохолмистом участке одноименной моренной возвышенности и отличается сочетанием различных комплексов и форм рельефа. Основные орографические черты территории сформировались в конце плейстоцена – начале голоцена, в процессе сложной динамики отступающего поозерского ледникового покрова и деградации крупных приледниковых бассейнов (Полоцкий, Суражский, Лучосинский). Значительна также роль флювиальной морфоскульптуры, которая в основном контролирует динамику рельефа в настоящее время. Наиболее возвышенные водораздельные участки имеют отметки в пределах 170–210 м. Наиболее низкие отметки приурочены к долинам рек – 123–143 м. Относительные превышения колеблются от 3–7 м на равнинах до 5–15 м на возвышенных участках рельефа, глубина вреза речных долин от 4 до 30 м. Средние уклоны поверхности 3–10%, крутизна склонов речных долин и оврагов достигает местами 20–30% [1].

Антропогенная нагрузка исключительно высока. Промышленный потенциал составляют более 300 предприятий машиностроительной, металлообрабатывающей, легкой и пищевой промышленности, производства электроприборов, строительных материалов и деревообработки. Автомобильный парк города насчитывает более 110000 машин только физических лиц. В городе работают несколько автотранспортных предприятий, десятки трамвайных, троллейбусных и автобусных маршрутов; функционирует речной транспорт. Витебск является крупным узлом железных дорог на Смоленск, Санкт-Петербург, Гомель, Полоцк.

Естественно, что все это сказывается на состоянии окружающей среды в целом и эколого-геоморфологических условиях в частности. И хотя, в общем, экологическую ситуацию в городе можно охарактеризовать как удовлетворительную, ежегодно фиксируются превышения ПДК загрязняющих веществ в атмосфере и водных объектах города, высок уровень шумового и геофизического загрязнения среды [2].

**Характеристика используемых ГИС-платформ.** Для решения поставленных задач нами использовались возможности ГИС-платформ Mapinfo Professional и ArcGIS, а также ряд других программ (Easy Trace, Photoshop и др.). Явными плюсами Mapinfo Professional являются относительное быстрое действие, обеспеченность всем спектром инструментов современного ГИС-анализа и построения карт, широкая распространенность, интуитивная понятность интерфейса, возможность обмена данными с другими ГИС-платформами. В процессе работ применялся практически весь спектр аналитических возможностей данной ГИС – инструменты районирования, построения тематических карт и графиков, Vertical Mapper и т.д. В отличие от Mapinfo Professional, ArcGIS более «тяжеловесна» и поэтому требует для нормальной работы серьезного аппаратного обеспечения, что редко доступно для рядового пользователя. Однако, если решить эту проблему, то сетевые возможности и блок аналитики, особенно в случае с инженерно-геоморфологическими исследованиями на наш взгляд у этой ГИС выше.

Таким образом, базы данных и основные карты, отражающие геоморфологические условия и характеристики окружающей среды, выполнялись нами в Mapinfo Professional (рис. 1), но некоторые элементы анализа данных и картографирования базировались на возможностях ArcGIS (рис. 2). Кроме того, структура ГИС позволила использовать также возможности широко распространенных Excel и Access.

**Структура ГИС.** Инженерно-геоморфологическая ГИС территории Витебска, включает несколько объединенных единой пространственной привязкой или топографической основой блоков, которые фактически представляют базы данных:

1) характеристик фоновых естественно-антропогенных условий (геоморфология и геологические особенности, гидрогеологические условия, подземные и поверхностные воды, общие климатические характеристики и микроклиматические особенности территории, влияющие на развитие рельефообразующих процессов, биогенные факторы развития рельефа);

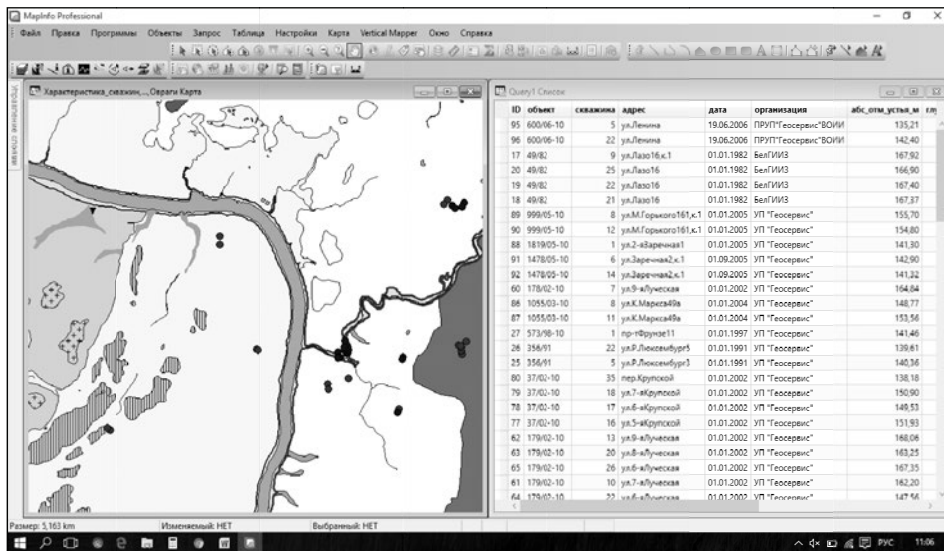
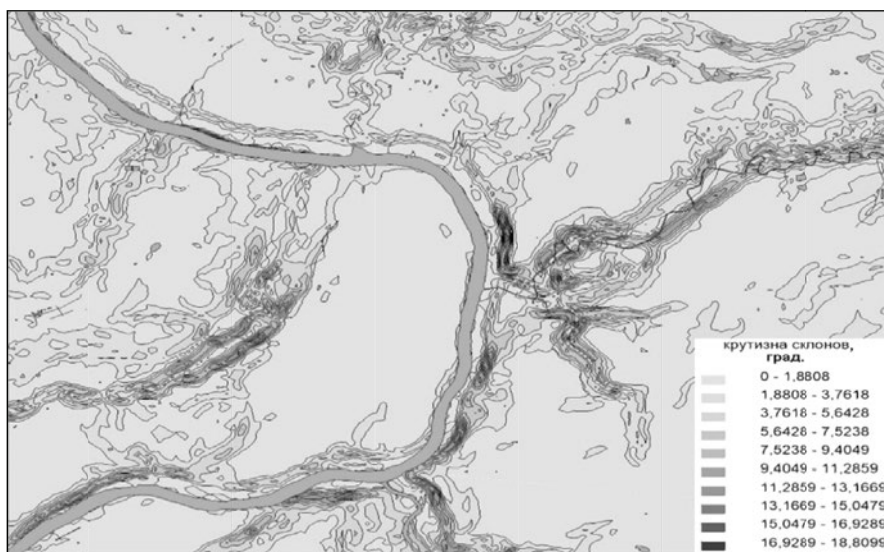


Рис.1. Фрагмент геоморфологической карты с данными по скважинам (выполнено в MapInfo Professional)



Рис.2. Драпировка 3-D модели рельефа города данными по четвертичным отложениям (выполнено в ArcScene 10)



**Рис.3. Карта крутизны склонов территории Витебска**

2) показателей антропогенных (техногенных) условий рельефообразования (строительство, гидротехнические работы, деятельность, связанная с земляными работами и пр.), загрязнения различных сред в пределах территории и влияния его на геолого-геоморфологические особенности территории;

3) результаты анализа данных первых двух блоков, которые находят отражение в оценке эколого- и инженерно-геоморфологических параметров среды, общей степени напряженности экологической ситуации, районирования и др., и формируются исходя из конкретных запросов пользователя ГИС (рис. 3).

Характеристика каждого элемента природной среды, антропогенной нагрузки, проведение районирования базируется на выделении критериев, которые ранжируются по качественному, либо количественному признаку. Данные блоков ГИС представляются в виде электронных карт, диаграмм, рабочих наборов, отчетов на которых выделяются зоны распространения объектов, явлений и т.д., или же зоны различной интенсивности их проявления.

#### **Литература**

1. Павловский А.И., Галкин А.Н., Красовская И.А., Тимошкова А.Д., Галкин П.А. Геоморфологическое строение территории Витебска // Літасфера. 2009. №1 (30), с. 130-134.
2. Торбенко А.Б., Галкин А.Н., Красовская И.А., Тимошкова А.Д. Техногенные факторы экологических изменений на территории г. Витебска // Природные ресурсы. 2007. №2, с. 53-60.

## ОСОБЕННОСТИ ОЦЕНКИ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ПРИБРЕЖНОЙ ЗОНЫ КЕРЧЕНСКОГО ПРОЛИВА

**Т.В. Хребтова, Л.Е. Подлипенская, А.В. Ошкадер**

Керченский государственный морской технологический университет,  
298309, г. Керчь, ул. Орджоникидзе 82.  
E-mail:tkhrebtova@mail.ru, lida.podlipensky@gmail.com, anna\_oshkader@mail.ru

Прибрежная зона Керченского пролива обладает значительным природно-ресурсным потенциалом. С учетом отечественных исследований в области прибрежно-морского природопользования [1] в данной работе прибрежная зона рассматривается как полоса суши и моря, тесно связанная между собой экологическими, экономическими, социальными факторами, как единое целое с точки зрения экономики и экологии. Сухопутная граница прибрежной зоны была определена границами территорий местных административных образований, непосредственно примыкающих к проливу. Для сухопутной части этой зоны характерна высокая плотность населения. В ней проживает 95% всего населения Керченского полуострова, при общей площади прибрежной зоны 400 км<sup>2</sup>, что составляет всего 10 % от общей площади района. Прибрежная зона находится под воздействием факторов, как природного, так и техногенного характера. Среди природных факторов наибольшее развитие в этой зоне имеют оползни [6], паводковые наводнения [7], абразионные процессы и др. Техногенная нагрузка обусловлена наличием предприятий морехозяйственного комплекса (порты, паромная переправа, судостроительные и судоремонтные предприятия), рыбного хозяйства, пищевой промышленности, рекреации и др. Рекреационный потенциал прибрежной зоны во многом сдерживается напряженной экологической обстановкой, что снижает рекреационное значение прибрежной зоны пролива в целом. В связи с этим возникла необходимость выполнения комплексной оценки экологического состояния с целью выработки стратегии рационального природопользования и управления прибрежной зоной.

Необходимым условием для этого является объединение многочисленной и зачастую разрозненной мониторинговой информации. Кроме того, возникает необходимость выработки единого методологического подхода, и создания организационной основы управления с точки зрения экологического зонирования участков суши и акватории, одновременно как со стороны Республики Крым, так и Краснодарского края.

Информационной основой выполнения данной работы послужили отчеты НИР КГМТУ, научные публикации ЮгНИРО, ГОИН [3], фондовые и архивные материалы «Центра гигиены и эпидемиологии РК», доклад о состоянии окружающей среды в РК [2], данные публичной кадастровой карты, а также данные природоохранных организаций РФ и РК, открытый доступ к которым обеспечен законодательно. Достоверность использованных в работе

статистических данных обеспечивается субъектами мониторинга, которые осуществляют сбор данных и их первичную обработку.

Комплексная оценка экологического состояния прибрежных зон Керченского пролива проводилась на основании индикаторов, характеризующих экологическую обстановку в обозначенных территориальных единицах. Были выявлены показатели, которые характеризуют состояние как природной среды, так и техногенной. Это позволило определить особенности региона и выработать эколого-системные подходы для осуществления комплексной оценки. Показатели были объединены в четыре модуля. В первый модуль вошли показатели, характеризующие качество природной среды и состояние природных ресурсов (атмосферный воздух и морская среда). Во второй модуль включены показатели, которые характеризуют развитие экологических ситуаций природного характера (оползневые явления и паводковые наводнения). В третий модуль отнесены показатели техногенного воздействия (плотность населения и уровень техногенной нагрузки), и в четвертый модуль – показатели рекреационного и рыбохозяйственного природопользования (объекты рекреации и рыбохозяйственные предприятия).

Для осуществления комплексной оценки была разработана когнитивная схема, которая представляет собой иерархическую систему последовательного преобразования исходных данных в унифицированную форму с последующей интеграцией (Рис.1). На первом уровне находятся входные показатели, являющиеся результатами экологического мониторинга в административно-территориальных единицах прибрежной зоны Керченского пролива РК. Они представлены, как правило, в натуральных единицах. Далее, в результате применения широко известных методик для оценки качества состояния отдельных компонент природной среды, эти показатели были переведены в относительную форму (уровень 2). Затем, после использования методов унификации [5] преобразованы в стандартную форму (третий уровень) со шкалой  $[0, 1]$ , где  $i_1-i_7$  – унифицированные показатели качества окружающей природной среды и антропогенной нагрузки в прибрежной зоне Керченского пролива,  $w_1-w_2$  – унифицированные показатели степени освоенности прибрежной зоны объектами рекреации и рыбохозяйственной деятельности.

После проведения двухэтапной интеграции унифицированных показателей были получены следующие оценки:  $Z_1$  – оценка состояния природной среды;  $Z_2$  – оценка ЧС природного характера;  $Z_3$  – оценка техногенной нагрузки;  $Z$  – итоговый интегральный показатель, характеризующий экологическую ситуацию по результатам комплексной оценки.  $W_{fish}$  – оценка степени развития рыбохозяйственной деятельности;  $W_{recre}$  – оценка степени развития рекреационной деятельности;  $W$  – итоговый интегральный показатель, характеризующий степень освоенности прибрежной зоны объектами рекреации и рыбохозяйственной деятельности.

Для расчета показателей была разработана математическая модель [4], соответствующая схеме, представленной на рис. 1.

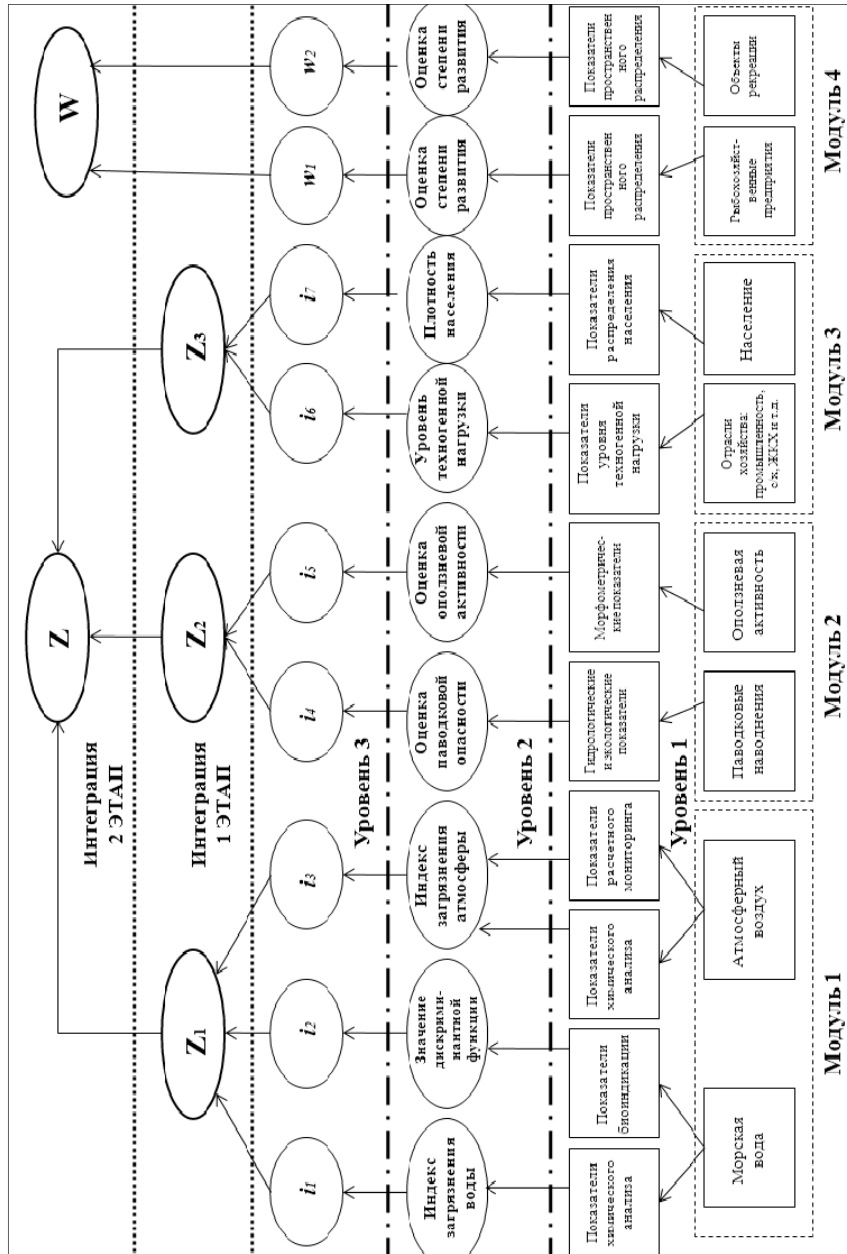


Рис. 1. Схема комплексной экологической оценки прибрежной зоны Керченского пролива

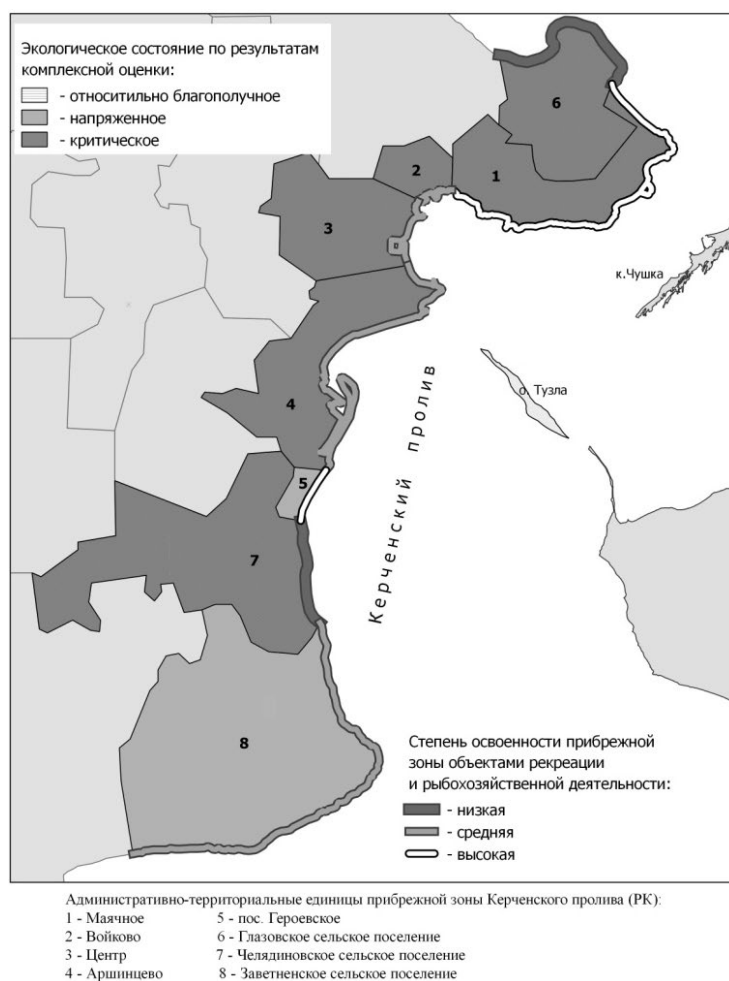


В данной модели унификация различных показателей осуществлялась при помощи линейных, кусочно-линейных и нелинейных преобразований, а для интеграции использовались линейные модели взвешенных показателей.

Особенностями предложенного подхода являются открытость и резервность модели. Эти два свойства позволяют расширять число как отдельных показателей, так и их групп (модулей) в зависимости от целей исследования, наличия мониторинговых данных и региональных особенностей изучаемой территории. Кроме того, данная модель дает возможность на этапе анализа выполнить интегральную оценку состояния, как морской среды, так и сухопутной части прибрежной зоны. В данном случае возможно выполнение экологической оценки, как по итоговым показателям, так и по отдельным компонентам, что в свою очередь позволяет создавать экологические карты в различных комбинациях отображаемых картографируемых объектов и показателей в зависимости от задач исследования и целей анализа.

С помощью алгоритма «обратного хода» выявляются причины ухудшения экологической ситуации. Предложенный подход может быть использован на стадии формирования управленческих решений для оптимизации экологических условий проживания населения в прибрежной зоне.

Для работы с пространственными данными по комплексной оценке прибрежной зоны Керченского пролива и соответствующим им атрибутивной информацией на основе программы Quantum GIS был создан локальный ГИС-проект «Kerch\_proliv», который позволил сгенерировать большое количество экологических карт. Были получены карты, отражающие современную экологическую ситуацию в прибрежной зоне по различным показателям для одномерного ранжирования: по уровню техногенной нагрузки, оползневой активности, паводковой опасности, степени развития рекреационной и рыбохозяйственной деятельности и др., по интегральным показателям ( $Z_1, Z_2, Z_3, W_{fish}, W_{recre}, Z, W$ ), и их сочетаниям для двумерного ранжирования. Это позволило провести пространственный анализ экологической ситуации в прибрежной зоне как покомпонентно, так и комплексно, что расширяет возможности интерпретации и анализа результатов оценки. Так, например, по результатам оценки экологического состояния региона и степени развития рыбохозяйственной и рекреационной деятельности установлено, что 75 % административных районов побережья характеризуются критической экологической ситуацией. Тем не менее, в районах № 1 и 5 наблюдается высокая степень развития рыбохозяйственных объектов, осуществляющих вылов и переработку рыбы, и объектов рекреации (Рис.2). Следует отметить, что принятый проект Керченского перехода затрагивает техногенно нагруженную часть города (район № 3 – Центр, рис. 2). Его строительство и эксплуатация, а также автомобильная и железнодорожная трассы, несомненно, повлияют на экологическое состояние прибрежной зоны.



**Рис.2. Карта-схема двумерной оценки экологического состояния прибрежной зоны Керченского пролива**

Таким образом, разработанная модель является эффективным инструментом комплексной оценки, позволяющей учесть большое количество разноплановых факторов, их взаимовлияние и значимость в итоговой оценке.

#### Литература

1. Айбулатов Н.А. Деятельность России в прибрежной зоне моря и проблемы экологии. М.: Наука, 2005. – 364 с.
2. Доклад о состоянии и охране окружающей среды Республики Крым за 2014 год. – Симферополь: Министерство экологии и природных ресурсов Республики Крым, 2014. – 230 с.

3. Качество морских вод по гидрохимическим показателям: ежегодник / под ред. Коршенко А.Н. – М.: Наука, 2014. – 210 с.

4. Комплексная оценка прибрежных зон Керченского пролива: отчет о НИР (заключительный) / КГМТУ; рук. Хребтова Т.В. – Керчь, 2015. – 79 с. – Исполнители: Подлипенская Л.Е., Ошкадер А.В. – Библиогр.: с. 69-79. – N ГР 115111610026.

5. Кудрик И.Д., Ошкадер А.В., Подлипенская Л.Е. Система унифицированных индикаторов как инструмент оценки экологических ситуаций прибрежных зон // Природно-ресурсный потенциал, экология и устойчивое развитие регионов России. – Пенза: РИО ПГСХА, 2015. – С.44-47.

6. Кудрик И.Д., Хребтова Т.В. О необходимости проведения противооползневых и берегозащитных мероприятий на Керченском полуострове // Экологическая безопасность и охрана окружающей среды в регионах России. – Волгоград, 2015. – С. 181-187.

7. Хребтова Т.В., Кудрик И.Д., Подлипенская Л.Е. Подходы к оценке опасности развития наводнений на территории г. Керчь // Анализ, прогноз и управление природными рисками в современном мире. – М.: РУДН, 2015. – С. 286-292.

## **СОДЕРЖАНИЕ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ КАРТЫ РЕСПУБЛИКИ САХА (ЯКУТИЯ) МАСШТАБА 1:1500000**

**А.А. Шестакова, В.Б. Спектор, Я.И. Торговкин**

Институт мерзлотоведения им. П.И. Мельникова СО РАН  
677010, Якутск – 10, ул. Мерзлотная, 36.  
E-mail: aashest@mail.ru, vbspector@mpi.ysn.ru, torgovkin@mpi.ysn.ru

Инженерно-геологическая карта Республики Саха (РС) Якутия (Я) масштаба 1:1500000 необходима для планирования, реализации и эксплуатации технических проектов на территории РС (Я) и смежных регионов. Практическое значение карты заключается в информационном обеспечении планирования, реализации и эксплуатации крупных инженерных сооружений на территории РС. Научное значение карты заключается в систематизации данных по особенностям распределения различных природных факторов, их взаимовлиянии и прогноз изменения окружающей среды при возведении и эксплуатации инженерных сооружений.

На карте показаны грунтовые и геокриологические условия (рис. 1), а на картах-врезках (масштаб 1:15000000) – сейсмичность, схемы районирования по различным факторам инженерно-геологических условий, надмерзлотных вод, строения криолитозоны, экзогенных и эндогенных процессов и общая схема инженерно-геологического районирования территории РС (Я).

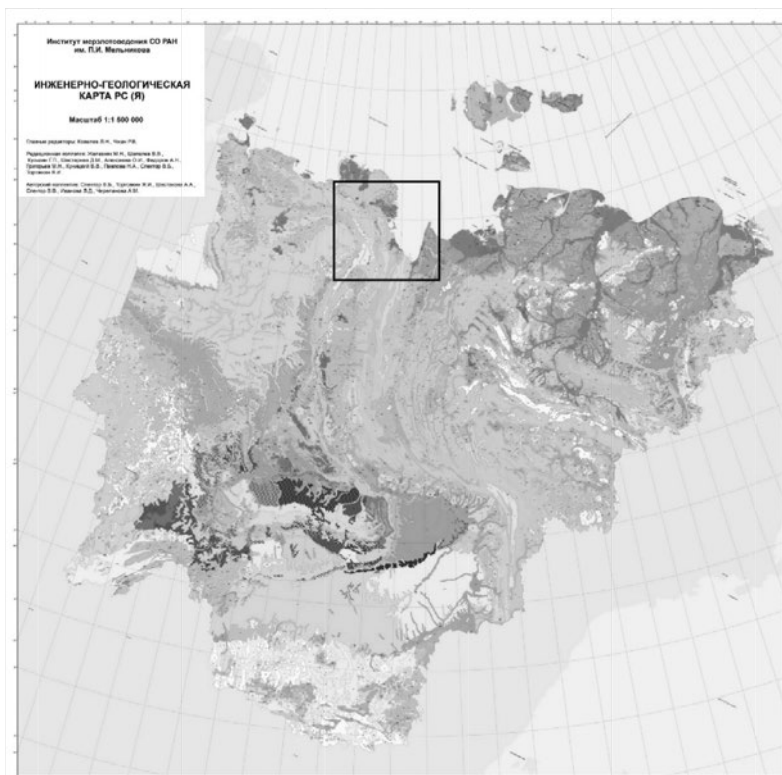
Предлагаемую карту можно считать продолжением работ по составлению Современной Инженерно-геологической карты России, начатой в 2008 г. под руководством В.С. Круподерова и В.Т. Трофимова.

Карта составлена в электронном варианте в формате «ArcGIS 10, version 10.1». На электронном макете карты картографируемая информация,

согласно легенде к карте, была сгруппирована по следующим разделам: 1) инженерно-геологические группы и виды грунтов и геокриологические факторы; 2) гидрогеологические факторы; 3) активные разрывные нарушения; 4) рельеф; 5) гидрографическая сеть.

Источником информации для составления карты послужили материалы среднемасштабной геологической съемки, а также обобщения, сделанные по данным разных лет [1, 2, 3, 4], блоки Геологической карты РС (Я) масштаба 1:500000, изданные в разные годы и др. А также в значительной части фондовые работы, хранящиеся в фондах Государственного комитета по геологии и недропользованию РС (Я) и в фондах Института мерзлотоведения СО РАН.

Районирование территории РС (Я) по особенностям инженерно-геологических условий проведено с учетом региональных факторов по принципам, изложенным В.Т. Трофимовым [5]. Наиболее крупные региональные единицы, выделяемые на карте – области, которые принадлежат к одной из крупных тектонических структур (платформа, горно- складчатая область, молодая платформа и др.) и в которых преобладает однотипный рельеф (горный, равнинный, равнинно-низменный или др.).



**Рис. 1. Инженерно-геологическая карта РС (Я).  
Масштаб 1:1500000**

В качестве единиц подчиненного ранга выделены районы, основным признаком которых является преимущественное распространение грунтов одного класса или группы или их устойчивых сочетаний. Каждый из районов охарактеризован с точки зрения главных черт геологического строения, тектонических особенностей, новейшей тектоники, активных экзогенных процессов, агрессивности надмерзлотных вод, преобладающего комплекса видов и разновидностей грунтов.

Основным содержательным элементом представляемой карты является грунтовый фактор инженерно-геологических условий, который отображается цветом. Наиболее устойчивые разновидности грунтов и их сочетаний, отображаются на карте менее яркими и светлыми оттенками, наименее прочные – более густыми и яркими.

В условиях повсеместного распространения многолетней мерзлоты грунт является составной частью единой криогенной геосистемы. Под криогенной геосистемой [6] понимается геологическое образование вместе с совокупностью ледяных включений. В нашем случае, в области сплошного распространения многолетней мерзлоты, грунтовая составляющая является основой криогенной геосистемы, которая состоит из двух подсистем: литогенной и криогенной. Выбор литогенной (грунтовой) составляющей в качестве базового структурного элемента позволяет выделять границы криогенных (мерзлотно-грунтовых) геосистем различных иерархических уровней [6, с. 77]. На карте выделены криогенные геосистемы низких иерархических уровней – грунтовые «монопородные» тела или их ассоциации, объединяемые по признаку сходства физических и, прежде всего, прочностных свойств, в том числе и обусловленных разными температурами грунтов.

Для нашей карты температурный показатель имеет большое значение, поскольку от него зависят прочностные свойства грунтов. Мерзлые льдистые дисперсные грунты, имеющие температуру выше  $-5^{\circ}\text{C}$  являются пластично-мерзлыми, а ниже этого порога – твердомерзлыми.

Обозначение разновидности грунта на карте показано в виде дроби, в которой цифра в числителе обозначает вид грунта и соответствует номеру знака в разделе легенды «грунтовые условия», а знаменатель характеризует разновидность грунта и соответствует номеру знака в разделе легенды «геокриологические факторы».

Гидрогеологический фактор отображается на карте крапом. В пределах территории подавляющее распространение имеют неагрессивные надмерзлотные гравитационные воды криолитозоны, которые подразделяются на три подтипа: надмерзлотная верховодка, воды сезонноталого слоя, надмерзлотные грунтовые воды [7].

Современные активные разрывные нарушения показаны на карте в виде красных линий.

Легенда карты состоит из трех разделов: грунтовой (литогенной) и геокриологической составляющих и гидрогеологического фактора. Самостоятельными знаками выделяются площади распространения видов и разновидностей

ностей грунтов, которые выражаются в масштабе карты и мощности которых составляют 10 и более метров.

Грунтовая составляющая занимает первый раздел легенды (рис. 2).

| Класс   | Группа    | Подгруппа и тип          | Виды и разновидности грунтов   |     |
|---|-----------|--------------------------|--|-----|
| Сочетание мерзлых осадочных грунтов   |           | полукальных и дисперсных | Пески, песчаники, алевролиты, аргиллиты, угли  | 65  |
|   |           |                          | Пески, песчаники, аргиллиты, угли, глины   | 66  |
|   |           |                          | Глины, пески, алевролиты, аргиллиты  | 67  |
|   |           |                          | Глины, пески, песчаники, алевролиты, угли  | 68  |
| Дисперсные мерзлые  | Несвязные | Осадочные                | Глибы, валуны, щебень, галька, гравий  | 69  |
|   |           |                          | Глибы, валуны, щебень, галька, гравий с песчано-сутинистым заполнителем  | 70  |
|   |           |                          | Валуны, щебень, галька, гравий, глибы, с песчано-сутинистым заполнителем   | 71  |
|   |           |                          | Галечники, пески, супеси   | 72  |
|   |           |                          | Галечники, пески, супеси, суглинки   | 73  |
|   |           |                          | Пески, галечники, супеси, суглинки   | 74  |
|   |           |                          | Пески, супеси с гальной гравием, щебнем  | 75  |
|   |           |                          | Пески  | 76  |
|   |           |                          | Пески, супеси  | 77  |
|   |           |                          | Пески, супеси, суглинки  | 78  |
|   |           |                          | Пески, супеси, суглинки, галиты  | 79  |
|   |           |                          | Пески, супеси, суглинки, галечники, галиты   | 80  |
|   |           |                          | Пески, супеси, суглинки, глины, с гальной, гравием, щебнем   | 81  |
|   |           |                          | Пески, супеси, суглинки, глины   | 82  |
| Супеси, суглинки, илы   | 83        |                          |  |     |
| Суглинки, супеси, пески, галька   | 84        |                          |  |     |
| Суглинки, супеси, с гальной гравием, щебнем, валунами   | 85        |                          |  |     |
| Суглинки, супеси, глины, пески с гальной гравием, щебнем  | 86        |                          |  |     |
| Суглинки, супеси, глины, пески, галиты с гальной  | 87        |                          |  |     |
| Суглинки, супеси  | 88        |                          |  |     |
| Илы минеральные и органические, супеси, пески, торф   | 89        |                          |  |     |
| Глины, суглинки, с гальной, гравием, щебнем, древесой   | 90        |                          |  |     |
| Глины, суглинки   | 91        |                          |  |     |
| Лессовидные суглинки, супеси  | 92        |                          |  |     |
| Торф, или органические, минеральные, суглинки, супеси   | 93        |                          |  |     |
| Лед   | 94        |                          |  |     |
| Дисперсные мерзлые  | Связные   | Осадочные                | Валуны, глибы, галечники (70) на известняках, мергелях, доломитах (38)   | 95  |
|   |           |                          | Валуны, глибы, галечники (70) на сочетании полускальных и дисперсных грунтов (63) или полускальных грунтах (20), реже скальных грунтах (2) | 96  |
|   |           |                          | Галечники, пески, супеси, суглинки (74) на известняках, доломитах (8)  | 97  |
|   |           |                          | Галечники, пески, супеси, суглинки (74) на чередовании карбонатных и торфяных полускальных грунтах (38)                                    | 98  |
|   |           |                          | Пески, супеси, с гальной гравием щебнем (75) залегают на сочетании полускальных и дисперсных грунтов (65)                                  | 99  |
|   |           |                          | Пески, супеси (77) залегают на сочетании полускальных и дисперсных грунтов с прослойкой глины (53)   | 100 |
|   |           |                          | Пески, супеси (77) залегают на сочетании полускальных и грубообломочных дисперсных грунтов с прослойкой глины (54)                         | 101 |
|   |           |                          | Пески, супеси (77) залегают на известняках, доломитах (8)  | 102 |
|   |           |                          | Пески, супеси (77) залегают на сочетании полускальных и дисперсных грунтов (65)  | 103 |
|   |           |                          | Пески, супеси (77) залегают на полускальных грунтах: песчаниках, алевролитах, аргиллитах с прослойками известняков (19)                    | 104 |
|   |           |                          | Пески, супеси (77) залегают на полускальных грунтах: песчаниках, алевролитах, аргиллитах, конгломератах (18)                               | 105 |
|   |           |                          | Пески, супеси (77) залегают на полускальных: алевролитах, песчаниках, аргиллитах (27)  | 106 |
|   |           |                          | Пески, супеси (77) залегают на известняках, доломитах, мергелях (43)   | 107 |
|   |           |                          | Пески, супеси (77) залегают на известняках, доломитах, мергелях (43)   | 108 |
| Другие мерзлые дисперсные грунты (мощность 3-10м) залегают на известняках, доломитах и песчаниках |           |                          | Валуны, глибы, галечники (70) на известняках, мергелях, доломитах (38)   | 95  |
|   |           |                          | Валуны, глибы, галечники (70) на сочетании полускальных и дисперсных грунтов (63) или полускальных грунтах (20), реже скальных грунтах (2) | 96  |
|   |           |                          | Галечники, пески, супеси, суглинки (74) на известняках, доломитах (8)  | 97  |
|   |           |                          | Галечники, пески, супеси, суглинки (74) на чередовании карбонатных и торфяных полускальных грунтах (38)                                    | 98  |
|   |           |                          | Пески, супеси, с гальной гравием щебнем (75) залегают на сочетании полускальных и дисперсных грунтов (65)                                  | 99  |
|   |           |                          | Пески, супеси (77) залегают на сочетании полускальных и дисперсных грунтов с прослойкой глины (53)   | 100 |
|   |           |                          | Пески, супеси (77) залегают на сочетании полускальных и грубообломочных дисперсных грунтов с прослойкой глины (54)                         | 101 |
|   |           |                          | Пески, супеси (77) залегают на известняках, доломитах (8)  | 102 |
|   |           |                          | Пески, супеси (77) залегают на сочетании полускальных и дисперсных грунтов (65)  | 103 |
|   |           |                          | Пески, супеси (77) залегают на полускальных грунтах: песчаниках, алевролитах, аргиллитах с прослойками известняков (19)                    | 104 |
|   |           |                          | Пески, супеси (77) залегают на полускальных грунтах: песчаниках, алевролитах, аргиллитах, конгломератах (18)                               | 105 |
|   |           |                          | Пески, супеси (77) залегают на полускальных: алевролитах, песчаниках, аргиллитах (27)  | 106 |
|   |           |                          | Пески, супеси (77) залегают на известняках, доломитах, мергелях (43)   | 107 |
|   |           |                          | Пески, супеси (77) залегают на известняках, доломитах, мергелях (43)   | 108 |

Рис. 2. Фрагмент грунтовой составляющей инженерно-геологических условий

Мерзлые грунты в инженерной геологии подразделяются на, те же таксономические единицы, что и талые грунты. По сравнению с традиционно выделяемыми группами собственно скальных и полускальных, дисперсных грунтов, в легенде выделяется группа ассоциации скальных и полускальных грунтов, сочетания полускальных и дисперсных грунтов.

В самостоятельную группу выделены также «двухслойные» разрезы (рис. 2), в которых верхняя часть представлена дисперсными грунтами мощностью от 3 до 10 м, а нижняя другими классами и группами грунтов. Всего в легенде выделено 124 вида и разновидности грунтов влияющих на инженерно-геологические свойства территорий.

Криогенная составляющая отражена во втором разделе легенды. Параметры выделения этой составляющей в легенде представлены в таблице. Номера знаков, проставленные в легенде, представляют собой знаменатель цифрового обозначения знака на карте. Числитель этой дроби, как было показано выше, может отвечать любому из 124 знаков цифрового обозначения грунтовой составляющей.

Таблица

**Геокриологический фактор инженерно-геологических условий**

| Класс грунтов  | Среднегодовая температура грунтов на подошве слоя годовых колебаний С° | Льдистость грунтов и номер на карте |         |        | Физические свойства грунтов |
|--|--|-------------------------------------|---------|--------|-----------------------------|
|  |  | Сильная                             | Средняя | Слабая |                             |
| Скальные и полускальные                                  | Ниже .....-5, сплошная мерзлота  | 1                                   | 2       | 3      | Твердомерзлые               |
|  | +3 ..... -5, сплошная мерзлота   | 4                                   | 5       | 6      |                             |
|  | -1 .....-3, преимущественно сплошная мерзлота                          | 7                                   | 8       | 9      | Высокотемпературно прочные  |
|  | 0 .....-1, массивно-островная и прерывистая мерзлота                   | 10                                  | 11      | 12     |                             |
|  | Ниже .....-5, сплошная мерзлота  | 13                                  | 14      | 15     |                             |
| Дисперсные и сочетание полускальных и дисперсных грунтов | -3 ..... -5, сплошная мерзлота   | 16                                  | 17      | 18     | Пластичномерзлые            |
|  | -1 .....-3, преимущественно сплошная мерзлота                          | 19                                  | 20      | 21     |                             |
|  | 0 .....-1, массивно-островная и прерывистая мерзлота                   | 22                                  | 23      | 24     |                             |
|  | Частое чередование талых и мерзлых грунтов                             | 25                                  |         |        |                             |

Анализ представленных на карте материалов позволяет предварительно оценить инженерно-геологические условия РС (Я) и выделить территории наименее устойчивые в инженерно-геологическом отношении.

К наименее устойчивым территориям относятся, в первую очередь, площади развития дисперсных высокольдистых грунтов – «ледовый комплекс», охватывающие область Приморских низменностей и Центрально-Якутский район области Средней Сибири. На участках выхода низкотемпературных (ниже -5 °С), твердомерзлых разновидностей грунтов на побережье арктических морей наблюдаются высокие скорости термоабразии (несколько десятков метров в год), а в береговых обрывах русел рек – высокие скорости боковой эрозии (до 20 м/год). На поверхности полей распространения этой разновидности грунтов протекает интенсивный термокарст даже в условиях среднегодовых температур около -15°÷-20° С.

Высокотемпературные разновидности (выше  $-5^{\circ}\text{C}$ ) ледового комплекса сосредоточены в Центрально-Якутском районе, где подвергаются интенсивному разрушению в результате природных и антропогенных воздействий. Инженерные сооружения, использующие эти грунты в качестве оснований без специальных мероприятий, регулирующих их тепловой режим, характеризуются крайне низкими степенями устойчивости.

Остальные виды грунтов на территории РС (Я) характеризуются значительно более высокой степенью устойчивости и могут быть использованы в качестве оснований инженерных сооружений при условии соблюдения определенных правил регулирования их теплового режима.

При оценке динамических условий (эндогенных и экзогенных процессов) наименее благоприятной для инженерных сооружений являются Верхояно-Колымская, Охотско-Чукотская и Алдано-Становая горные районы, характеризующиеся интенсивным проявлением склоновых процессов и высокой сейсмичностью.

Следует принять во внимание то, что некоторые площади Республики характеризуются развитием крайне низких зимних температур (ниже  $-40^{\circ}\text{C}$ ), которые вызывают температурные деформации инженерных сооружений. Эти площади охватывают Центрально-Якутский район и практически всю Верхояно-Колымскую область.

#### Литература

1. Геологическая карта Якутской АССР. Масштаб 1:1500000. Редактор Л.И. Красный. Отпечатана на Картфабрике ГУГК, г. Омск, 1978.
2. Геологическая карта Республики Саха (Якутия). Масштаб 1:15000000. Редактор В.А. Янжиншин. Л.: Картафабрика ВСЕГЕИ, 2006.
3. Геология Якутской АССР. М.: Недра, 1981. 300 с.
4. Геокриологическая карта СССР масштаба 1:2500000. Картпредприятие, 1997.
5. Трофимов В.Т., Красилов Н.С. Инженерно-геологические карты: учебное пособие. М.: КДУ, 2007. 384 с.
6. Хименков А.Н. Геосистемный подход в геокриологии // Криосфера Земли. 2013. Т. XVII. № 2, с. 74-82.
7. Шепелев В.В. Надмерзлотные воды криолитозоны. Н.: «Гео», 2011, 169 с.



## **8. СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ НОРМАТИВНО-МЕТОДИЧЕСКОЙ ДОКУМЕНТАЦИИ В ИНЖЕНЕРНОЙ ГЕОЛОГИИ**

---

---

### **ВОПРОСЫ ГРАДОСТРОИТЕЛЬНОГО ОСВОЕНИЯ ПОДЗЕМНОГО ПРОСТРАНСТВА В ДОКУМЕНТАХ СТРАТЕГИЧЕСКОГО ПЛАНИРОВАНИЯ**

**В.Л. Беляев**

НИУ «Московский государственный строительный университет,  
129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26. E-mail: gseb@mgsu.ru.  
Национальное объединение изыскателей и проектировщиков,  
119019 г. Москва, ул. Новый Арбат, дом 21. E-mail: info@nopriz.ru

Последние годы характеризуются попыткой воссоздания в России системы государственного стратегического планирования и прогнозирования в новых рыночных условиях. Импульсом этому служит принятие в 2014 году ФЗ о стратегическом планировании (172-ФЗ), в развитие которого Минэкономразвития России подготовило пакет подзаконных актов и методических документов, которые частично уже находят утверждение. В число документов стратегического планирования согласно 172-ФЗ входят и схемы территориального планирования федерального и регионального уровня (СТП), а также отраслевые стратегии, подготовка которых в отличие от СТП в постперестроечный период практически не велась.

В этой связи во исполнение поручения президиума Совета при Президенте РФ по модернизации экономики и инновационному развитию Минстроем России ведется подготовка стратегии инновационного развития строительной отрасли Российской Федерации на период до 2030 года (далее – Стратегия). По замыслу разработчика Стратегия должна служить обеспечению безопасности территорий и качества строительного производства, обоснованного замещения импорта, конкурентоспособности российской строительной продукции.

Имея инновационный аспект, Стратегия по своему статусу, строго говоря, не является «чисто» отраслевой, а по процедуре разработки не вполне отвечает порядку подготовки отраслевых документов стратегического плани-

рования, в частности, не имея возможности базироваться на стратегии пространственного развития РФ, разработка которой только начинается [1]<sup>1</sup>.

Другой особенностью является то, что Стратегия не в полной мере учитывает структуру градостроительной деятельности, предписанную ГрК РФ, узко акционируясь на технологии проектно-изыскательского и строительного производства. Между тем особенности государственной системы управления в сфере градостроительства таковы, что территориальное планирование как ее ключевой элемент, и служащее ему целеполаганием стратегирование, входят в компетенцию Минэкономразвития России, а инструменты реализации территориального плана, включая градостроительное проектирование – в компетенцию Минстроя России. Не смотря на очевидность того, что основы безопасности, например, закладываются именно на планировочных уровнях, в Стратегии практически не отражены вопросы планировки территории, градостроительного нормирования, территориального зонирования и ИСОГД, которыми ведает Минстрой (в этой связи можно предположить либо вариант подготовки самостоятельного проекта «градостроительной» стратегии в этой части, либо вариант соответствующего дополнения Стратегии).

Другим значимым пробелом Стратегии является отсутствие даже упоминания о градостроительном развитии подземного пространства (далее также – ГРПП), которое в мире само по себе становится особой инновационной урбанистической технологией. Инновационность эта связана с тем, что многие города и даже страны, склоняясь к модели компактного территориального развития и приходя к убеждению о недопустимости гиперповышения этажности и сверх уплотнения городской застройки, обнаруживают новый пространственный стратегический ресурс и внутренний скрытый резерв своего развития буквально под ногами, причем по площади своей превышающий земельный ресурс. Кроме того подземный ресурс дает возможность комплексного использования в ходе развития территории и извлекаемых геоматериалов, геознергетики и подземных вод [2].

Считается также, что ГРПП полностью соответствует модели устойчивого развития, повышая геоэкологическую (возможность снижения выбросов углекислого газа, уровня шума, сейсмичности и пр.) и иную безопасность, а также комфортность (приближение сервисов, «всепогодность») пространственной искусственной среды обитания человека<sup>2</sup>. Бытующее в России представление о супердороговизне подземного строительства также не находит подтверждения при стратегическом взгляде на оценку его комплексной эффективности в разрезе концепции жизненного цикла строительного объекта,

---

<sup>1</sup> Возможно, логично было бы разрабатывать вначале отраслевую стратегию, а с учетом этого – документ в части инноваций, регулируемый иными нормативными правовыми актами

<sup>2</sup> Именно поэтому, например, исследование проблем подземного пространства в Плане фундаментальных научных исследований РААСН на 2013 – 2020 годы и отнесено к разделу «Градостроительные основы повышения качества и безопасности городской среды» [3].

что все чаще применяется, например, в схожей ситуации при оценках эффективности зеленого строительства.

В этой связи крайне важно, чтобы именно в документах стратегического планирования, прежде всего, при оценке природно-ресурсного потенциала и формировании основ политики пространственного развития находили отражение основные аспекты ГРПП. В инновационном контексте они должны быть отражены и в рассматриваемой Стратегии.

Прежде всего, в ее составе целесообразно уточнить онтологию предметной области, включаемые в нее понятия и связи между ними<sup>1</sup>. Как уже отмечено, само понятие «строительная отрасль» требует более четкой дефиниции в разграничении или объединении (как минимум в формальной увязке) с «градостроительным проектированием», включая направление ГРПП путем оптимизации структуры ОКВЭД и других государственных классификаторов.

При анализе современного состояния строительства в мире целесообразно учесть отмеченные выше и иные тенденции развития подземного градостроительства. Это поможет дать оценку тенденций развития строительной отрасли в части ГРПП. Они, по нашему мнению связаны с традиционной недооценкой роли ГРПП. Крупные города страны, включая Москву, крайне неэффективно используют свои пространственные ресурсы. В результате взамен качественного развития, наблюдается их экстенсивный рост (территориальное расползание, «разжижение» пространства), разрушение исторической среды диссонансной высотной застройкой, что вкуче не способствует ни повышению качества жизни, ни экономической консолидации (капитализации) территории. Отсутствие политического внимания государства к ГРПП способствует технологическому отставанию, неконкурентоспособности и в собственно подземном строительстве, которое в последние годы усугубилось нивелированием объемов и качества изыскательских работ и научных исследований (а также низкой эффективностью внедрения их результатов), проблемами правового и технического регулирования, снижением профессионального уровня подготовки кадров и новой проблемой импортозамещения<sup>2</sup>. Однако главная причина такого отношения к ГРПП связана с «краткосрочным» характером государственного и бизнес-мышления (о псевдодорогивизне ГРПП см. выше). Названные обстоятельства и тенденции отставания в ГРПП также следует в Стратегии рассматривать в качестве серьезного инновационного вызова.

Для его преодоления потребуются смена парадигмы госуправления в области градостроительной деятельности, нацеленной на интенсификацию пространственного развития с рассмотрением ГРПП начиная с уровня градостроительной политики как равноценного элемента такой деятельности, как

---

<sup>1</sup> Применительно к ГРПП это является отдельной актуальной задачей в контексте увязки и соотнесения основных терминов: «подземное пространство», «недра», их «развитие», «освоение» и пр.

<sup>2</sup> Например, зависимостью от импортных поставки ТПМК, компьютерной техники, программ и пр. в метростроении.

особой инновационной технологии устойчивого развития территории крупных городов страны. Такая политика должна строиться на ужесточении требований (при одновременной мотивации) к эффективности использованию городской земли, других природных ресурсов. Подобные требования в частности прозвучало в ходе Всемирной конференции по климату, проведенной в г. Париже в ноябре 2015 года, и в условиях международной глобализации не может быть игнорировано в России.

Следует понимать, что ГРПП по определению имеет стратегическую направленность, так как дает отдалённые во времени, но вполне очевидные эффекты, и что без четкого перспективного целеполагания в данном случае не обойтись. При построении такой политики на федеральном уровне целесообразно ориентироваться на прогрессивные модели концепции «нового урбанизма» (модели «компактный» «зеленый», «умный» город).

Рассматривая, таким образом, инновационное ГРПП как стратегический приоритет, можно считать, что целевая установка состоит в реализации потенциала градостроительного использования подземного пространства как альтернативы (по соизмеримости эффекта) наземному строительству, обеспечивающей повышение качества искусственной пространственной среды жизнедеятельности. Главная задача при этом состоит во взаимной увязке процессов наземного и подземного освоения территории путем совершенствования системы госуправления как особой «градостроительной» технологии (см. также выше).

Для достижения этого необходимо выстроить и одобрить на госуровне «дорожную карту» действий на среднесрочный период с включением отдельных направлений в рассматриваемую Стратегию, либо соответственно в «градостроительную стратегию», о которой шла речь выше [4].

На наиболее значимом (с позиций госуправления) уровне градпроектирования целесообразно обеспечить рыночный анализ спроса и предложения. Это, во-первых проведение комплекса социологических, экономических и иных исследований спроса именно на инновационное ГРПП (анализ потребности такого развития), дифференцированных по различным типам городов и группам респондентов. Их целесообразно сочетать с мотивацией спроса, разъяснением стратегических преимуществ такого способа пространственного развития (PR-составляющая исследований).

В рамках проведения исследований предложения ГРПП речь может идти о разработке ряда моделей: геологических 3D моделей, ГИС-моделей, экономических моделей. Безусловно, их целесообразно проводить в рамках обоснования генпланов конкретных городов, однако общие подходы технологий моделирования должны быть едиными и их создание требует обоснования.

Аналогичным образом обстоит дело с обоснованием и детализацией разработки соответствующих разделов «градостроительной» политики на региональном и местном уровне в составе соответствующих документов стратегического планирования.

Основным инструментом управления пространственным развитием города, включая ГРПП, является его территориальный (генеральный) план, с обоснованием и включением в него разделов сбалансированного и комплексного ГРПП по модели «глубокий город» [2, 4].

В рамках научного обоснования системы реализации территориального плана: градостроительного зонирования, а также планировки территории можно говорить о совершенствовании и детализации 3D градпроектирования, комплексном использовании и модернизации существующих подземных структур (объекты метрополитена, ГО и др.), создании систем мониторинга реализации генплана города, мотивации и координации в части ГРПП. Отдельным направлением исследований является обеспечение охраны особо ценных объектов (памятников истории и культуры, ООПТ) путем ГРПП.

В части разработок по системе обеспечения ГРПП к приоритетам, безусловно, следует отнести обоснование системы правового регулирования (подготовка концепции развития федерального гражданского, земельного законодательства, но в первую очередь законодательства о градостроительной деятельности и о недрах для внесения соответствующих законов в Госдуму ФС РФ).

Серьезных обоснований требует система градостроительного нормирования, технического регулирования и стандартизации в области ГРПП. При этом новые и обновляемые нормативы градпроектирования и СП также должны быть ориентированы на учет инноваций, в частности на их параметризацию, ориентированную в свою очередь на автоматизированную оценку соответствия. Шире также необходимо при этом использовать оценку геоэкологических и иных рисков.

Важнейшим элементом управления являются информационные системы в градостроительстве (ФГИС ТП, ИСОГД, соответствующие блоки ИПД) Они также требуют системного переосмысления, обоснования скоординированного развития, включая разделы, обеспечивающие ГРПП, увязанные с информационными системами в недропользовании. Именно в рамках такой работы может быть наконец, эффективно и радикально решена задача построения системы государственного фонда инженерных изысканий, который в крупнейших городах целесообразно вести в формате GeoBIM в рамках постоянно действующих 3D моделей [5].

Сам блок инженерных изысканий, непосредственным образом связанный с информатизацией ГРПП в свою очередь требует концептуального переосмысления и системной технологической перестройки. Сложнейшей и актуальной смежной задачей является построение национальной системы 3D кадастра, дефицит которой испытывает сегодня именно рынок объектов подземной недвижимости.

Снятию экономического барьера будет способствовать подготовка методики оценки эффективности по модели концепции жизненного цикла (суммарных затрат ЖЦ), а также обоснование разработки и применения инновационных технологий строительства и эксплуатации подземных объектов. Это, наряду с принятым в 2015 году ФЗ о ГЧП позволит запустить модели

такого партнерства в проектах ГРПП. Целесообразно и правомочно ставить вопрос об обосновании системы государственных льгот и преференций для ГРПП.

Представляется перспективным сотрудничество градостроителей и горняков в частности в рамках соглашения НИУ МГСУ и ИПКОН РАН как в части большей направленности фундаментальных исследований на решение градостроительных задач, так и в части обогащения инструментария инженерных изысканий, градостроительного и архитектурно-строительного проектирования результатами академических разработок в части использования и охраны недр. Целесообразно подключение к этому и усилий ИГЭ РАН.

В части кадрового обеспечения необходимо обоснование скорейшее принятие пакета стандартов профессиональной деятельности по направлению ГРПП, связанных с ними образовательных стандартов и введение практики прохождения аттестации специалистов. Необходимо также обосновать принятие специальных образовательных программ, обновить паспорта научных специальностей ВАК.

Практически важно предусмотреть обоснование экспериментальных проектно-изыскательских и планировочных работ (модели госфонда изысканий, подземные комплексы на базе ТПУ и объектов метрополитена и др.), а также расширить международное сотрудничество.

Для доработки стратегических документов в части ГРПП в последние годы созданы организационные структуры и условия (Комитет по освоению подземного пространства НОПРИЗ, подсекция Технологической платформы «Строительство и архитектура», секция ОНТС Градкомплекса г. Москвы, подразделения НИУ МГСУ, заключение ряда соглашений о сотрудничестве). Такая работа должна быть продолжена при активном участии уполномоченных Министерств, региональных властей, РАН и РААСН с синхронизацией их усилий в части ГРПП.

#### Литература

1. Постановление Правительства РФ от 29.10.2015 N 1162 «Об утверждении Правил разработки, корректировки, осуществления мониторинга и контроля реализации отраслевых документов стратегического планирования Российской Федерации по вопросам, находящимся в ведении Правительства Российской Федерации».
2. Li, H., A. Parriaux, et al. (2011). The way to plan a viable Deep City: from economic and institutional aspects. The Joint НКІЕ-НКІР Conference on Planning and Development of Underground Space. Hong Kong, The Hong Kong Institution of Engineers & The Hong Kong Institution of Planners: 53-60.3.
3. Распоряжение Правительства РФ от 03.12.2012 №2237-р.
4. *Беляев В.Л.* Основы подземного градостроительства: монография/ В.Л. Беляев; М-во образования и науки Росс. Федерации, ФГБОУ ВПО «Моск. гос. строит. ун-т». – Москва: МГСУ, 2012. – 255 с. (Библиотека научных разработок и проектов МГСУ).
5. *Алтаев С.Н., Беляев В.Л., Е.А. Ломакин* Развитие городского подземного пространства – путь от дорожной карты к проектным решениям // Сб. трудов Междунар. научн. конференции «Российский опыт строительства метрополитена в г. Москве. Тенденции. Проблемы. Перспективы». – М., 2014. – С. 7-14.

## ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРЕДПОСЫЛКИ РАЗВИТИЯ НОВЫХ МОДЕЛЕЙ ГОРОДСКОГО ПРОСТРАНСТВА

**Е.В. Булдакова**

Институт геоэкологии им. Е.М. Сергеева РАН, 101000, г. Москва, Уланский пер., д. 13, стр. 2.  
E-mail: e\_buldakova@mail.ru

Стремительная урбанизация, высокая интенсивность строительства в России в совокупности с широкой реализацией инвестиционных проектов обуславливают необходимость адаптации существующей территориально-планировочной системы к современным реалиям, разработки новых методических подходов и внедрение инноваций в области проектирования и реализации проектов пространственного развития городов. Одним из приоритетных направлений современного пространственного планирования и градостроительства является создание комфортной и безопасной городской среды. Отсутствие достоверной актуальной информации о геоэкологической обстановке при принятии управленческих решений может привести к необоснованным экономическим затратам и возникновению вторичных негативных последствий. Для управления рисками необходима оперативная систематизированная и визуализированная пространственно-временная информация о территории. Это требует разработки нового уровня технологий оптимальной организации пространственного планирования на основе геоэкологических принципов, что является актуальной фундаментальной задачей теории и практики градостроительного освоения.

В настоящее время, в крупных городах есть все предпосылки для разработки комплекса технологий и методик, направленных на обеспечение их инновационного развития, повышения инвестиционной привлекательности и роста человеческого капитала. Поэтому остро стоит проблема развития новых моделей городов, которые отвечали бы критериям устойчивого развития, имели высокий экорейтинг и обеспечивали их инновационное развитие. Так, на передний край градостроительной политики выходит повышение удовлетворенности населения и минимизация накопленного экологического ущерба в городах.

Современные глобальные тренды определяют модели будущего развития городов:

- Урбанизация мировой экономики.
- Развитие «глобальных» городов (Гонконг, Лондон, Москва, Мумбаи, Нью-Йорк, Париж, Сан-Паулу, Шанхай, Сингапур, Сеул, Токио, Торонто).
- Разрастание городов, а также необходимость адаптации национальной системы к реалиям массовой урбанизации
- Рост населения.

Ответом на эти тренды являются разрабатываемые в настоящее время комплексные проекты, направленные на обеспечение инновационного разви-

тия городов. Среди основных стратегических направлений в этих проектах можно выделить три составляющих: модернизация транспортной инфраструктуры, возрождение общественных пространств, перепланировка уже освоенного городского пространства (набережных, промышленных зон или городского центра) или расширение с захватом пригородных территорий. Все это обуславливает деформацию окружающей среды, увеличение техногенной нагрузки на единицу площади городского пространства, что с одной стороны ведет к разрушению значимых элементов городской среды, а с другой – к увеличению риска возникновения опасных природных (в том числе, геологических) процессов. Поэтому реализация подобных проектов не может проходить без учета геоэкологических факторов, обеспечивающих благоприятную обстановку для функционирования объектов экономики и жизнедеятельности человека, что требует сбалансированности между социальными, экономическими и экологическими интересами в области политики и принятия решений по планированию. Однако полноценное решение вопросов управления невозможно без выделения объекта управления и определения его границ.

Анализ пространственной дифференциации урбанизированных территорий, основанный на геосистемном принципе, при котором в качестве основной территориальной единицей исследований в городе принимается урбогеосистема, помогает решить эту проблему. Преимуществом такого подхода, является то, что границы урбогеосистемы, с одной стороны обусловлены естественными границами природных объектов в городе, с другой – учитывают воздействие самого города на природные компоненты [1]. Это позволяет рассматривать урбанизированную территорию в установленных границах как целостную динамическую урбогеосистему [2]. Выделение урбогеосистем основано на многомерном моделировании пространства для установления закономерностей их функционирования, взаимосвязи между природными компонентами и геоэкологическими ограничениями, геоэкологической стабильностью и стратегией развития урбанизированной территории. С точки зрения управления пространством городов подобный подход к выделению территориальных единиц имеет ряд преимуществ: позволяет провести комплексную геоэкологическую оценку, определить основные пространственные параметры, учесть негативные проявления опасных природных (в том числе геологических) процессов, определить потенциал развития и мероприятия по инженерной подготовке и защите окружающей среды, оптимизировать природоохранную деятельность не только в отдельной урбогеосистеме, но и на сопредельных территориях на основе принципа системности ее осуществления во времени и пространстве.

Современная концепция стратегического развития города должна включать следующие элементы:

- лучшие (на уровне мировых стандартов) планировочные и градостроительные решения;
- технологии и идеи повышения экорейтинга, инвестиционной привлекательности города и обеспечения безопасности проживания;



- соответствие тем назревшим потребностям, без обеспечения которых невозможно поддержание высокого уровня показателей человеческого капитала.

Учитывая все вышесказанное, на сегодняшний день есть все предпосылки для создания новых современных моделей городского пространства, которые обладали бы достаточной гибкостью, чтобы решить сложные задачи будущего развития, при этом обращали внимание на местные природные, экологические и социальные условия и сложившиеся городские традиции. Для этого необходимо разработать «аналитическую систему комплексной поддержки принятия решений в управлении планированием и освоением городского пространства», куда отдельным блоком была бы интегрирована информация по геоэкологической оценке территории города. Такая система должна обладать следующими свойствами: динамически реагировать на изменения в городской среде, давать возможность проводить экспертизу предлагаемых сценариев развития территории города, визуализировать результаты анализа с помощью таблиц, графиков и карт, учитывать мнение различных специалистов (геоэкологов, инженер-геологов, градостроителей, архитекторов, органов власти и местных жителей, и др). Учитывая современный уровень развития IT-технологий, в том числе геоинформационных технологий (GIS, GPRS, GPS), которые используются для совершенствования городского землепользования и позволяют сделать его более прозрачным, для эффективного управления, проектирование новых моделей городов необходимо осуществлять на их основе. Один из подходов создания новых моделей городов представлен на схеме (рис. 1).

Недоучет геоэкологических факторов и отсутствие достоверной информации об опасных геоэкологических явлениях и процессах, не позволяет выделить конкретные стратегические пространства для осуществления целенаправленных мер по снижению риска. В качестве «моста» для интеграции геоэкологической пространственной модели города в аналитическую систему комплексной поддержки принятия решений в проектировании и градостроительном освоении можно использовать технологии геоинформационного картографирования. В дальнейшем это позволит осуществлять кроссплатформенное размещение данных (Linux, Windows, MacOSX). Кроме того, необходимо использовать SOA технологию, т.е. веб-сервисную службу облачного (cloud) размещения или корпоративного интернета. Реализация получаемых оценочных и инвентаризационных графических и аналитических материалов осуществлять преимущественно только с помощью открытого ПО (open source), на основе лицензий Apache, MIT, BSD, LGPL. Надо отметить, что данные лицензии не исключают коммерческого использования конечного продукта в виде закрытого (proprietary) кода, а также возможно создание мобильного клиента (Android, iOS). Использование следующих решений: SQL и NoSQL хранилища данных, machine learning и data mining алгоритмы анализа и прогноза, автоматическая генерация отчетов и графиков, возможность анализа большого числа разнородных данных (big data). Все это открывает возможности для использования современных краудсорсинговых технологий с

целью повышения комфортности проживания населения, оптимального управления и принятия, соответствующих мер по минимизации градостроительных конфликтов возникающих при интенсивной эксплуатации территории города.



**Рис. 1. Интегральная структура проектирования современной модели города**

Таким образом, вопрос устойчивого управления урбанизированными территориями можно решить с помощью следующих подходов: предотвращение опасных природных явлений за счет согласованности карт опасностей со схемами пространственного планирования; широкое использование инженерно-геологических карт в строительстве и проектировании; повышение качества пространственного планирования за счет внедрения геоинформационных технологий и создания 3-D моделей; применение новых инструментов мониторинга и методик, в том числе городских информационных сетей освоения городского пространства, учитывая запреты или ограничения.

*Исследование выполнено при поддержке гранта Российского научного фонда (проект № 16-17-00125).*

#### Литература

1. Булдакова Е.В., Минакова Т.Б. Принципы и критерии выделения урбогеосистем при геоэкологической оценке регионов // Геоэкология, инженерная геология, гидрогеология, геокриология. 2013. № 4. С. 376-384.
2. Форрестер Дж. Динамика развития города (перевод с англ.). М.: Прогресс, 1974. 285 с.

## **СПЕЦИФИКА ОЦЕНКИ ИЗУЧЕННОСТИ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ ПРИ ОБСЛЕДОВАНИИ ГРУНТОВ ОСНОВАНИЙ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ ДЛЯ РАЗНЫХ ЭТАПОВ ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА СТРОИТЕЛЬНЫХ ОБЪЕКТОВ**

**Е.А. Воронцов, Т.А. Аранбаев**

НИУ МГСУ, кафедра Инженерной геологии и геоэкологии,  
Москва 129337, Ярославское шоссе, 26. E-mail: krokhapo@mail.ru

Обследование грунтов оснований зданий и сооружений является специальным видом работ выполняемых при инженерно-геологических изысканиях для строительства.

Изыскательские работы по обследованию грунтов оснований существующих зданий и сооружений являются весьма востребованными для разных этапов жизненного цикла строительных объектов, и позволяющими решать различные инженерные задачи.

Однако в нормативных документах вопросы обследования грунтов оснований существующих зданий и сооружений проработаны не для всех этапов жизненного цикла и освещены часто недостаточно.

Эти работы нередко проводятся на прединвестиционном этапе, например, в рамках обследования строительного объекта для обоснования возможности приобретения его в собственность или оформления в аренду. Наиболее часто обследование грунтов оснований существующих зданий и сооружений выполняется для инженерного обоснования их реконструкции или капитального ремонта. Традиционно обследование грунтов оснований эксплуатируемых зданий и сооружений осуществляется в случае необходимости диагностики причин деформаций и повреждений их конструкций.

В настоящее время широкое распространение получили изыскательские работы по обследованию грунтов оснований существующих эксплуатируемых зданий и сооружений, попадающих в зону влияния строительных работ (нового строительства, реконструкции, перекладки инженерных коммуникаций и т.п.) особенно в крупных городах, в том числе Москве, Санкт-Петербурге и др.

Важное значение имеют изыскательские работы по обследованию грунтов оснований объектов незавершенного строительства при их расконсервации для возобновления строительных работ.

В некоторых случаях, особенно в условиях плотной городской застройки, для ликвидируемых строительных объектов (сносимых зданий и сооружений) оказывается актуальным совместно с обследованием фундаментов выполнение обследования их основания (например, для оценки и минимизации влияния, технологических вибродинамических воздействий от сноса на близко расположенные сохраняемые здания и сооружения).

Выполнение обследования грунтов оснований существующих зданий и сооружений для разных этапов жизненного цикла строительных объектов, несомненно, имеет свои определенные характерные особенности.

Первоочередным и крайне важным видом работ при обследовании грунтов оснований зданий и сооружений для разных этапов жизненного цикла строительных объектов является оценка изученности инженерно-геологических условий. Оценка изученности инженерно-геологических условий должна носить опережающий характер по отношению к другим видам изыскательских работ, выполняемых при обследовании грунтов оснований существующих зданий и сооружений. Важность оценки изученности инженерно-геологических условий изыскателями часто недооценивается, и подобные работы нередко выполняются формально [2, 6].

Оценивая изученность инженерно-геологических условий целесообразно учитывать определенное соответствие получаемых отчетных изыскательских материалов по обследованию грунтов основания зданий и сооружений задач, решаемым для конкретного этапа жизненного цикла строительного объекта (таблица 1).

Для разных этапов жизненного цикла строительных объектов характерен свой преимущественный охват зоны изучения грунтов основания, что влияет на уровень и равномерность изученности геологической среды и инженерно-геологических условий.

При оценке изученности инженерно-геологических условий существующих зданий и сооружений для задач обследования их оснований на разных этапах жизненного цикла строительных объектов в отчетных изыскательских материалах необходимо выделять следующие характерные зоны, отличающиеся размерами исследований:

- слой грунтов, непосредственно подстилающий подошву фундаментов существующих зданий и сооружений (мощностью до 0,5-1,0 м);
- активную сжимаемую толщу грунтов, определенную расчетом и принятой при разработке моделей грунтового основания;
- всю фактическую область взаимодействия строительного объекта с геологической средой;
- массив грунтов в пределах сопредельной территории строительного объекта (для оценки влияния строительства нового здания / сооружения).

Необходимость выполнения изыскательских работ по обследованию грунтов оснований существующих эксплуатируемых зданий и сооружений, расположенных в районах сложившейся плотной городской застройки и попадающих в зону влияния строительных работ, может возникать многократно. В этой связи вопросы оценки изученности инженерно-геологических условий для этапа эксплуатации (повторной эксплуатации) строительных объектов приобретают особенную важность.

Изыскательская информация по обследованию грунтов оснований зданий и сооружений получаемая на стыке двух компонент природно-технической системы «строительного объекта» и «геологической среды» может содержаться как в отчетной документации по инженерно-геологическим

изысканиям, так и в отчетной документации по обследованию строительных конструкций зданий и сооружений, а также в исполнительной строительной документации (документации котлована, реализованного усиления грунтов основания, водопонижения, дренирования и т.д.).

Таблица 1

**Соответствие отчетных изыскательских материалов  
по обследованию грунтов оснований зданий и сооружений этапам  
жизненного цикла строительных объектов**

| <b>Этап жизненного цикла строительного объекта</b>         | <b>Отчетные изыскательские материалы по обследованию грунтов оснований зданий и сооружений</b>   |
|--|--|
| Предынвестиционный и предпроектный                         | Справки об оценке инженерно-геологической изученности территории строительства; технические отчеты и заключения по комплексному обследованию строительного объекта (включая грунты основания) для обоснования возможности приобретения его в собственность или оформления в аренду |
| Проектирование   | Технические отчеты и заключения по результатам оценки инженерно-геологических условий строительства для обоснования различных стадий проектирования  |
| Строительство  | Акты освидетельствования котлованов; протоколы опытных испытаний свай; технические отчеты и заключения по результатам доразведки инженерно-геологических условий со дна котлована; материалы мониторинговых наблюдений   |
| Консервация-расконсервация                                 | Технические отчеты и заключения по результатам уточнения инженерно-геологических условий для возобновления незавершенного строительства; материалы мониторинговых наблюдений   |
| Эксплуатация   | Технические отчеты и заключения по результатам обследования грунтов оснований зданий и сооружений для диагностики причин деформаций и повреждений их конструкций, или в случае их попадания в зону влияния строительства; материалы мониторинговых наблюдений                      |
| Проектное обоснование реконструкции (капитального ремонта) | Технические отчеты и заключения по результатам обследования грунтов оснований реконструируемого здания (сооружения)  |
| Реконструкция  | Акты выполнения работ по закреплению грунтов, выполнению технической мелиорации грунтов; материалы мониторинговых наблюдений   |
| Повторная эксплуатация                                     | Технические отчеты и заключения по результатам обследования грунтов оснований зданий и сооружений для диагностики причин деформаций и повреждений их конструкций, или в случае их попадания в зону влияния строительства; материалы мониторинговых наблюдений                      |
| Ликвидация   | Результаты обследования оснований сносимого здания (сооружения) и зданий попадающих в зону влияния строительных работ; материалы мониторинговых наблюдений   |
| Восстановление   | Технические отчеты и заключения по результатам оценки инженерно-геологических условий строительства  |

Практика ведения изыскательских работ показывает, что далеко не весь объем фондовых изыскательских данных по обследованию грунтов оснований зданий и сооружений аккумулируется в геологических фондах [1-3]. В частности, результаты проходки шурфов или акты освидетельствования котлованов в геологические фонды во многих случаях не передаются. Значительная часть изыскательских данных по обследованию грунтов оснований зданий и сооружений, полученных для отдельных этапов жизненного цикла строительных объектов, в геологические фонды не попадает, аккумулируется только у Заказчика и Исполнителя работ. При этом такие данные часто теряются, и поэтому изыскателями повторно либо никогда не используется, либо используется весьма редко. Указанная ситуация может быть исправлена в случае включения подобной информации в изыскательский раздел Паспорта строительного объекта [4].

В докладе приводятся иллюстрированные примеры оценки изученности инженерно-геологических условий при обследовании грунтов оснований зданий и сооружений для разных этапов жизненного цикла строительных объектов Москвы и Московской области.

#### Литература

1. *Воронцов Е.А.* Некоторые особенности изученности инженерно-геологических условий территорий города Москвы с разной застройкой, их учет при постановке и проведении инженерно-геологических изысканий // Сб. «Денисовские чтения. I». – М.: МГСУ, 2000. С. 106-110.
2. *Воронцов Е.А.* Городские геофонды и их значение для практики инженерных изысканий // Естественные и технические науки. 2015. № 6 (84). С. 200-203.
3. *Воронцов Е.А., Шульгин П.Ю.* Некоторые особенности инженерно-геологических изысканий при реконструкции промзон на территории города Москвы // Естественные и технические науки. 2015. № 6 (84). С. 208-211.
4. *Дудлер И.В., Воронцов Е.А.* Теоретические аспекты технологии инженерных изысканий для строительства // Научное обозрение. 2015. № 15. С. 170-173.
5. *Дудлер И.В., Лярский С.П., Воронцов Е.А., Шульгин П.Ю.* Критерии необходимости, приоритеты и принципы предпроектных инженерно-геологических изысканий // Сергеевские чтения. Роль инженерной геологии и изысканий на предпроектных этапах строительного освоения территорий. Выпуск 14. Материалы годичной сессии Научного совета РАН по проблемам геоэкологии, инженерной геологии и гидрогеологии (22 марта 2012 г.). – М.: РУДН, 2012. – С. 337-342.
6. *Костарев В.П., Виноградова С.А.* Ключевой вопрос современных инженерно-геологических изысканий // Сергеевские чтения. Роль инженерной геологии и изысканий на предпроектных этапах строительного освоения территорий. Выпуск 14. Материалы годичной сессии Научного совета РАН по проблемам геоэкологии, инженерной геологии и гидрогеологии (22 марта 2012 г.). – М.: РУДН, 2012. – С. 342-344.
7. *Тюнина Н.В.* Установление и оценка категории инженерно-геологической изученности территорий мегаполисов как необходимое условие применения метода аналогий при изысканиях // Сергеевские чтения. Международный год планеты Земля: задачи геоэкологии, инженерной геологии и гидрогеологии. Выпуск 10. Материалы годичной сессии Научного совета РАН по проблемам геоэкологии, инженерной геологии и гидрогеологии (20-21 марта 2008 г.). – М.: ГЕОС, 2008. – С. 493-497.

## КАТЕГОРИИ ИЗУЧЕННОСТИ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ СТРОИТЕЛЬСТВА (ПОНЯТИЯ, КРИТЕРИИ И ПРИНЦИПЫ ОЦЕНКИ ПРИ ИЗЫСКАНИЯХ)

Е.А. Воронцов<sup>1</sup>, И.В. Дудлер<sup>2</sup>

<sup>1</sup> НИУ МГСУ Москва 129337, Ярославское шоссе, 26, krohapo@mail.ru.

<sup>2</sup> Научный Совет РАН по проблемам геоэкологии, инженерной геологии и гидрогеологии. Москва, 101000, Уланский пер., д. 13, стр. 2. div-33@yandex.ru

Выполнение всех видов инженерных изысканий для строительства всегда должно начинаться с оценки предшествующей изученности природных или природно-техногенных условий. В полной мере это относится и к производству инженерно-геологических изысканий. Вместе с тем приходится констатировать, что в нормативных документах и научно-технической литературе нет четких определений соответствующих понятий, отсутствуют представления о принципах и критериях выделения уровня изученности рассматриваемых условий.

Прежде всего, следует обратить внимание на неточное использование как равнозначных терминов «инженерно-геологическая изученность» и «изученность инженерно-геологических условий». С позиции практики инженерно-геологических изысканий это различные понятия: первое относится к территории вне привязки к конкретному строительному объекту, а второе всегда воспринимается в связи с условиями строительства конкретных зданий, сооружений и их комплексов.

**Инженерно-геологическая изученность территории** – понятие, характеризующее, главным образом, наличие и масштаб инженерно-геологической съемки осваиваемой или освоенной строительством территории. Используется, главным образом, на этапах предпроектных работ.

**Изученность инженерно-геологических условий строительства** – понятие, характеризующее уровень изученности инженерно-геологических условий создаваемой и/или созданной ранее природно-технической системы «геологическая среда – строительный объект – территория его размещения и техногенного влияния». Используется на всех этапах жизненного цикла строительного объекта.

С целью единообразия использования терминов в нормативных документах при характеристике природных условий и строительных объектов (категории сложности инженерно-геологических условий, геотехнической категории сложности строительных объектов и др.) представляется целесообразным ввести термин **категория изученности инженерно-геологических условий** и выделять три категории: низкая – I, средняя – II и высокая – III.

Необходимость введения в нормативные документы категорий изученности ИГУ для строительства особо опасных и технически сложных объектов была обоснована МИСИ-МГСУ ещё в 1980 г. при разработке первых в стране

рекомендаций к инженерно-геологическим изысканиям для строительства АЭС [5], а затем в 2005 г. в связи с актуальными задачами городского строительства [1; 3]. Первым и удачным опытом разработки категорий изученности ИГУ строительства на территории городов явились исследования, проведенные Н.В. Тюниной, изложенные в её диссертации и опубликованной статье [7]. Заметим, что хотя в этой работе автором рассматривалась инженерно-геологическая изученность территории города, но ряд используемых критериев позволял оценивать и изученность ИГУ строительства применительно к задаче выбора объекта-аналога на стадии подготовки проектной документации [4]. В одном из последних нормативных документов по инженерным изысканиям для размещения, проектирования и строительства АЭС [4] требования к оценке инженерно-геологической изученности территорий и категории изученности инженерно-геологических условий строительства отдельных зданий и сооружений АЭС содержатся в текстовой части документа, но, к сожалению, отсутствует приложение, конкретизирующее критерии выделения таких категорий.

В методологическом отношении важнейшее значение имеет концепция **системного подхода** к установлению, оценке и учету категории изученности ИГУ строительства при изысканиях. С этих позиций представляется необходимым руководствоваться следующими **принципами** её оценки:

*системности* – оценка и учет категории изученности ИГУ на всех этапах жизненного цикла строительных объектов (ЖЦСО);

*адекватности* – соответствия особенностям ПТС, этапу ЖЦСО, стадии/этапу изыскательских работ, и, следовательно, решаемым задачам;

*комплексности* – учёт всех факторов, характеризующих сложность ИГУ;

*приоритетности* – выделение приоритетно значимой информации для конкретной ПТС, этапа ЖЦСО и решаемых задач инженерных изысканий;

*верификации* – проверки надежности источников изыскательской информации, времени и способов её получения, а также выполнение в необходимых случаях «заверочных» разведочных работ;

*своевременности* – своевременные оценка и оперативный учет уровня изученности ИГУ при выполнении изыскательских работ.

Необходимо отметить широкий спектр задач инженерных изысканий, требующих предварительной оценки категории изученности ИГУ строительства и/или строительного объекта:

– анализ и согласование технического задания на проведение инженерно-геологических изысканий;

– разработка программ инженерно-геологических изысканий;

– поиск объекта-аналога при использовании метода инженерно-геологических аналогий;

– выработка изыскательских рекомендаций;

– экспертиза материалов инженерно-геологических изысканий;

– обоснование постановки изыскательского прогнозного и охранного мониторинга;



– составление изыскательского раздела Паспорта строительного объекта;

– оперативное обоснование управляющих и технических решений при возникновении чрезвычайных ситуаций, в том числе для установления причин аварий зданий и сооружений.

Чем выше категория изученности ИГУ строительства, тем более объективен подход к решению указанных задач.

Категорию изученности ИГУ следует оценивать и учитывать на всех этапах ЖЦСО, причем не только применительно к изученности строительной площадки или контуру здания/сооружения, но и в пределах зоны влияния данного объекта на окружающую застроенную или застраиваемую территорию.

В общем случае при установлении категории изученности ИГУ должны рассматриваться те же факторы, которые определяют и категорию сложности инженерно-геологических условий конкретной территории и строительного объекта. При этом инженерный аспект инженерно-геологических изысканий требует рассмотрения, оценки и учёта не только качественных, но и, главным образом, количественных значений характеристик (параметров) геологической среды и её компонентов.

При оценке категории изученности ИГУ следует выделять приоритетно оцениваемые факторы. При этом выбор таких приоритетных факторов в общем случае зависит от особенностей строительного объекта, территории его размещения, этапа жизненного цикла объекта и стадии/этапа изыскательских работ.

При оценке инженерно-геологической изученности территорий строительства, как правило, ограничиваются оценкой данных о наличии инженерно-геологической съёмки рассматриваемой территории, обычно ограничиваясь рассмотрением карт мелкого и среднего масштаба, реже крупного масштаба (обычно не крупнее 1:10000). Таких данных для решения о категории изученности ИГУ строительства для ряда этапов ЖЦСО, прежде всего проектирования зданий и сооружений, явно недостаточно.

Принципиальное значение имеет фиксация **критериев** оценки изученности ИГУ строительства.

При оценке категории изученности ИГУ должен реализоваться и **геологический и инженерный аспекты** рассматриваемого понятия. Это должно находить отражение в учитываемых факторах и критериях изученности ИГУ конкретных территорий и объектов.

Можно предложить выделять **разные уровни критериев** для оценки категории изученности ИГУ строительства:

первый – для предынвестиционного и предпроектного этапов изысканий;

второй – для этапов разработки проектной документации;

третий – для этапа ведения строительных работ, в том числе при реконструкции строительных объектов;

четвертый – для этапа эксплуатации зданий, сооружений и застроенных территорий.

По мере перехода от начальных этапов ведения изыскательских работ к последующим этапам должно возрасть не только количество рассматриваемых факторов ИГУ строительства. Необходимо учитывать и большее количество конкретизирующих их параметров геологической среды, необходимых и достаточных для оценки категории сложности ИГУ строительства [2]. Данное положение иллюстрируется в докладе на примере ряда факторов ИГУ применительно к изысканиям для строительства особо опасных и технически сложных строительных объектов [6].

На этапе предынвестиционных и предпроектных изысканий критериями оценки категории изученности ИГУ должны являться не только материалы инженерно-геологической съемки разных масштабов, но также данные о наличии сети мониторинговых наблюдений, выявление и районирование опасных геологических процессов, приоритетно значимых для рассматриваемой территории и ряд других данных. На этапах изысканий для обоснования проекта и рабочей документации необходимо учитывать весь комплекс критериев, характеризующих и категории сложности инженерно-геологических условий строительства [2]. На этапах строительства и эксплуатации зданий и сооружений, особенно на застроенных территориях с неизбежными техногенными изменениями геологической среды, одним из важнейших критериев в оценке категории изученности ИГУ является наличие прогнозов ожидаемого изменения геологической среды и данных изыскательского мониторинга. Последнее требование актуально также для выполнения такого специального вида инженерных изысканий, как обследование грунтов оснований эксплуатируемых и реконструируемых зданий и сооружений, в том числе попадающих в зону влияния нового строительства.

Для всех рассмотренных случаев одним из важнейших критериев изученности ИГУ является пространственная равномерность изучения рассматриваемой территории в границах размещения строительного объекта и зон его влияния на окружающую среду, в том числе в пределах фактического взаимодействия зданий, сооружений и технологических процессов с геологической средой.

Следует подчеркнуть, что при изысканиях должен реализоваться оптимальный *алгоритм установления, оценки и учета* категории изученности ИГУ в строительстве.

Наличие данных о категориях изученности ИГУ территорий размещения строительных объектов в различные периоды их освоения позволит обоснованно строить и оценивать *динамические модели техногенного изменения геологической среды*. Изучение и оценка этих изменений при изысканиях актуальны и обязательны.

Уровень ответственности объективной оценки категории изученности ИГУ существенно возрастает в связи с выполнением отечественными специалистами и организациями инженерных изысканий за рубежом для строительства АЭС и других особо опасных и технически сложных объектов.

В настоящее время назрела необходимость в разработке нового поколения нормативных документов в области инженерных изысканий для строительства, в том числе возвращение легитимности территориальных норм. В эти документы в обязательном порядке должны войти регламентации к оценке категории изученности инженерно-геологических и других природных и природно-техногенных условий строительства. При этом должны учитываться специфика региональных природных условий, особенности техногенных нагрузок, опыта строительства и других особенностей региона. Представляется полезным создание и ведение электронной базы категорий изученности ИГУ зданий, сооружений и застроенных территорий.

В докладе обсуждаются рекомендуемые авторами алгоритм установления, оценки и учета категории изученности ИГУ строительства, а также критерии её оценки для разных этапов ведения изыскательских работ и объектов исследования. Приводятся примеры, иллюстрирующие необходимость дифференцированного подхода к оценке категории изученности ИГУ для разных строительных объектов и территорий (АЭС, ГЭС, линейных и других специфических сооружений), в том числе размещенных в регионах с существенно различающимися инженерно-геологическими условиями – сейсмичность, многолетняя мерзлота, подтопление, карст и т.д.

К сожалению, в современных условиях реализация высказанных предложений представит известные трудности, но она неизбежно потребует в дальнейшем для повышения уровня изыскательских работ, в том числе с учётом вовлечения в эту деятельность молодых специалистов.

#### Литература

1. *Воронцов Е.А.* Некоторые особенности изученности инженерно-геологических условий территорий города Москвы с разной застройкой, их учет при постановке и проведении инженерно-геологических изысканий // Сб. «Денисовские чтения. Ю». М.: МГСУ, 2000. С. 106-110.
2. *Дудлер И.В., Хайме Н.М.* Оценка категорий сложности инженерно-геологических условий для строительства особо опасных, технически сложных и уникальных объектов. // Геоэкология, инженерная геология, гидрогеология, геокриология. 2011. № 1. С. 75-86.
3. *Дудлер И.В., Воронцов Е.А., Тюнина Н.В.* Требования к инженерно-геологическим изысканиям для строительства высотных, башенно-пролетных и других уникальных зданий и сооружений (регламентации СП 11-105-97 часть V и их развитие для условий г. Москвы) // Девятая Международная специализированная выставка «Инвестиции. Строительство. Недвижимость. REALTECH – 2004». Мат. семинара «Актуальные проблемы строительства высотных зданий». М.: МГСУ, 2005. С. 10-13.
4. *Дудлер И.В., Тюнина Н.В.* Концепция применения метода инженерно-геологических аналогий при изысканиях для строительства и реконструкции на городских территориях // VII-я Международная конференция «Новые идеи в науках о Земле». Материалы докладов. Т.4. КДУ, 2005. С. 72.
5. Рекомендации по инженерно-геологическим изысканиям для проектирования атомных электростанций. П-813-84 / Гидропроект. М.: Энергоатомиздат, 1986. 47 с.
6. СП 151.13330.2012 Инженерные изыскания для размещения, проектирования и строительства АЭС.
7. *Тюнина Н.В.* Установление и оценка категории инженерно-геологической изученности территорий мегаполисов как необходимое условие применения метода аналогий при изы-

сканиях // Сергеевские чтения. Международный год планеты Земля: задачи геоэкологии, инженерной геологии и гидрогеологии. Выпуск 10. Материалы годичной сессии Научного совета РАН по проблемам геоэкологии, инженерной геологии и гидрогеологии (20-21 марта 2008 г.). М.: ГЕОС, 2008. С. 493-497.

## **МИКРОБИОЛОГИЯ ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ СРЕДЫ И ИНЖЕНЕРНЫЕ ИЗЫСКАНИЯ**

**А.Д. Деменев, Н.Г. Максимович, Е.А. Хайрулина, В.Т. Хмурчик**

Естественнонаучный институт Пермского государственного национального  
исследовательского университета (ЕНИ ПГНИУ), 614990, ул. Генкеля, 4.  
E-mail: nmax54@gmail.com

Неотъемлемой частью инженерных изысканий является прогноз изменения состояния компонентов геологической среды на период строительства и эксплуатации сооружений. Особенно важным является оценка рисков возникновения процессов негативно влияющих на безопасность эксплуатации объектов. Инженерная деятельность человека нарушает условия протекания многих природных процессов, в том числе микробиологических. В ряде случаев это ведет к существенной активизации микробиоты, способной в короткие сроки оказать нежелательное влияние на параметры геологической среды.

Активность микробиологических процессов зависит от множества факторов и ее сложно спрогнозировать. Определенные количественные и качественные характеристики геологической среды, полученные при инженерных изысканиях, могут существенно изменяться в ходе строительства и эксплуатации сооружений. Это может привести к ухудшению экологической обстановки, повлиять на свойства грунтов и в конечном счете на безопасность сооружения [12].

В процессе жизнедеятельности микроорганизмы используют многие химические элементы и обладают способностью воздействовать на минералы, органические и неорганические вещества, что обуславливает их значительное влияние на свойства грунтов, минеральный состав, структуру, дисперсность, напряженное состояние. Интенсивное развитие микробиологических процессов оказывает значительное влияние на окислительно-восстановительный потенциал и кислотно-щелочной баланс среды [2, 5-10, 12, 13].

Микроорганизмы способны разрушать важнейшие минеральные компоненты горных пород, такие как силикаты, алюмосиликаты и карбонаты [21]. Вынос элементов из минералов в присутствии микроорганизмов в два-три раза выше, чем под действием воды или органических соединений. Особенности выноса элементов определяются прочностью связей атомов в

структуре кристаллической решетки, типом микроорганизмов и условиями разложения [23]. Более активное воздействие на грунт обусловлено способностью микроорганизмов окислять и восстанавливать элементы с переменной валентностью, входящие в состав кристаллических решеток минералов, влиянием метаболитов (неорганических и органических кислот и щелочей, слизей, сероводорода и др.). Минерал при этом может быть полностью разрушен либо трансформирован в другой при избирательном выносе элементов. Случаи полного микробного разрушения были установлены для нефелина, биотита, карбонатов [1].

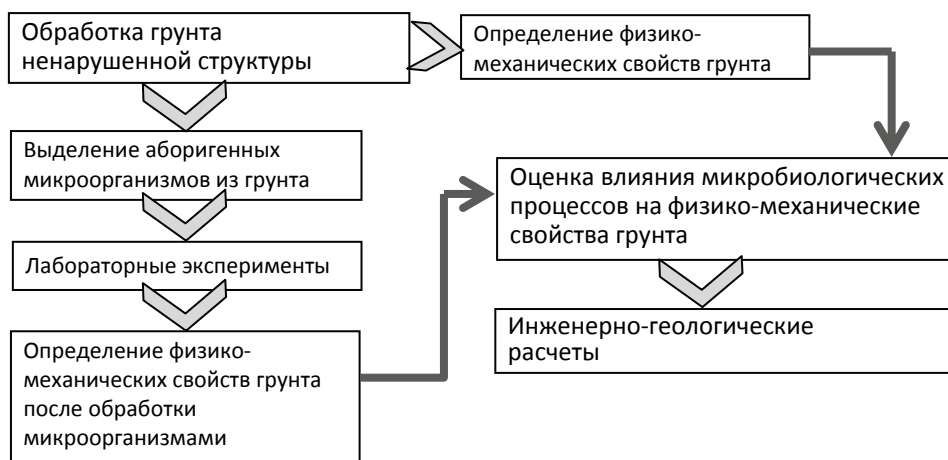
Развитие микробиологической составляющей увеличивает содержание тонкодисперсной фракции, способствует формированию тонкой пористости, снижению проницаемости и водоотдачи песчаных грунтов. Сорбция бактериальных клеток и продуктов их метаболизма на глинистых частицах приводит к формированию биопленок, что значительно ослабляет интенсивность молекулярных взаимодействий между частицами, приводит к снижению прочности и показателей деформационных свойств [4]. Трансформации твердого компонента часто сопряжены с потреблением или выделением газов и, таким образом, с изменениями газового состава грунта. Установлено [13], что микроорганизмы могут увеличивать поровое давление грунта и придавать ему плавучие свойства.

Анализ нормативных документов показывает, что комплекс инженерных изысканий предполагает изучение лишь некоторых аспектов микробиологической деятельности.

В рамках *инженерно-экологических изысканий*, согласно СП 47.13330.2012 [20], предполагается изучение микробиоты с точки зрения санитарно-гигиенической ситуации. Утвержден перечень контролируемых показателей в грунтах, почвах, поверхностных и подземных водах, также в ряде случаев рекомендовано проводить газогеохимические исследования для анализа активности метангенерирующей и метанооксиляющей микрофлоры [15, 16].

*Инженерно-гидрометеорологические изыскания* предусматривают общую оценку современного экологического состояния водной и воздушной экосистем и их устойчивости к возможным воздействиям [20]. Необходимость анализа микробиологического состояния поверхностных вод в российских нормативных документах не определена.

*Инженерно-геологические изыскания* направлены на комплексное изучение условий взаимодействия проектируемых объектов с геологической средой, включая прогноз возможных изменений её параметров [17-20]. В части микробиологических исследований в комплексе инженерно-геологических изысканий нормативными документами рекомендуется оценивать биоагрессивность подземных вод, в районах распространения органоминеральных и органических грунтов рекомендуется проводить дополнительные исследования по определению содержания органических веществ. [19, 20]. Свойства органоминеральных и органических грунтов следует устанавливать с учетом их возможного уплотнения, осушения и инженерной подготовки территории.



**Рис 1. Исследования влияния микробиологических процессов на свойства грунтов**

Агрессивность грунтов в инженерной геологии рассматривается как негативное химическое, бактериологическое или физико-химическое влияние на различные строительные конструкции. Рекомендуется оценивать биоагрессивность грунта по качественным признакам: окраске грунта и наличию восстановленных соединений серы, а также по наличию грибов и тионовых бактерий. Предполагаются также меры по защите от биокоррозии [3]. На территории г. Санкт-Петербурга, дополнительно к общепринятым методам исследований инженерно-геологических условий, в РВСН 20-01-2006 [14] предлагается более детальное изучение микробиологических процессов. На стадии изысканий для строительства новых зданий и сооружений необходимо определить степень микробной пораженности грунтов, степень агрессивности грунтовых вод, вызванной жизнедеятельностью микроорганизмов, наличие условий для биохимической газогенерации; наличие возможных источников питания для микроорганизмов, а также составить прогноз возможных изменений физико-механических свойств грунтов и развития различных процессов в основаниях зданий и сооружений под воздействием микроорганизмов. В РВСН 20-01-2006 достаточно широко рассмотрено влияние микробиологических процессов на строительные конструкции, здания и сооружения, подчеркнута необходимость прогноза изменений гидрохимической обстановки территории и физико-механических свойств грунтов в процессе эксплуатации инженерных сооружений, однако методики исследований для составления прогноза возможных изменений физико-механических свойств грунтов, необходимого для обеспечения безопасной эксплуатации инженерных сооружений, не приводится.

Таким образом, в существующих нормативных документах не представлены единые критерии для оценки нежелательных микробиологических

процессов, не разработаны методики, позволяющие спрогнозировать изменение параметров геологической среды в ходе эксплуатации зданий и сооружений.

При решении ряда задач необходимо исследовать природные компоненты на интенсивность протекания в них микробиологических процессов: не только установить присутствие различных физиологических групп микроорганизмов, но и дать оценку степени их потенциальной опасности. Отдельные методы, которые могут быть использованы с этой целью, были описаны авторами в составе комплекса исследований активности микробиоты в работе [12]. Возможный порядок проведения исследований физико-механических свойств грунтов представлен на рис. 1.

Несмотря на очевидность возможного негативного влияния микроорганизмов на геологическую среду, в настоящее время нет нормативных документов, четко регламентирующих методики микробиологических исследований при инженерных изысканиях. Кроме того, особенно важным является разработка и принятие нормативной базы по исследованию микробиоты и ее активности в грунтах, т.к. изменение их свойств может привести к возникновению аварийных ситуаций с непредсказуемыми последствиями.

*Работа выполнена при частичной финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (грант а\_15-05-07461).*

#### Литература

1. Болотина И.Н., Сергеев Е.М. Микробиологические исследования в инженерной геологии // Инженерная геология. 1987. № 5. С. 3-17.
2. Вернадский В.И. Проблемы биогеохимии // Труды биогеохимической лаборатории. Т. 16. М.: Наука, 1980. 320 с.
3. ГОСТ 9-602-2005. Единая система защиты от коррозии и старения. Сооружения подземные. Общие требования к защите от коррозии. М.: МГС СНГ, 2006.
4. Дашко Р.Э., Александрова О.Ю., Котюков П.В., Шидловская А.В. Особенности инженерно-геологических условий Санкт-Петербурга // Развитие городов и геотехническое строительство. 2011. № 13. С. 25-71
5. Дашко Р.Э., Шидловская А.В. Биотическая и абиотическая компоненты в подземной среде: их генезис и влияние на состояние и свойства песчаных отложений // Записки Горного института. 2012. Т. 197. С. 209-215.
6. Дашко Р. Э., Шидловская А. В., Панкратова К. В., Жукова А. М. Техногенная трансформация основных компонентов подземного пространства мегаполисов и ее учет в геомеханических расчетах (на примере Санкт-Петербурга) // Записки Горного института, 2011. Т. 190. С. 65-71.
7. Кофф Г.Л., Кожевина Л.С. Роль микроорганизмов в изменении геологической среды // Инженерная геология. 1981. № 6. С. 63-74.
8. Кузнецов С.И., Иванов М.В., Ляликова Н.Н. Введение в геологическую микробиологию. М.: Изд-во АН СССР, 1962. 239 с.
9. Максимович Н.Г., Хмурчик В.Т. Влияние микроорганизмов на минеральный состав и свойства грунтов // Вестник ПГУ. 2012. Сер. Геология. Вып. 3 (16). С. 47-54. URL: <http://nsi.psu.ru/labs/gtp/stat/2012/0394.pdf>.

10. Максимович Н.Г., Хмурчик В.Т. Микробиологические процессы в грунтовых плотинах // Инженерные изыскания. 2013. № 9. С. 66–72. URL: <http://nsi.psu.ru/labs/gtp/stat/2013/0410.pdf>.
11. Максимович Н.Г., Хмурчик В.Т., Лаздовская М.А., Деменев А.Д. Комплекс методов исследования микробиологической активности в грунтовых плотинах // Вестник Санкт-Петербургского университета. Сер. 7. Геология. География. 2014. № 4. С. 88-100. URL: <http://nsi.psu.ru/labs/gtp/stat/2014/0435.pdf>.
12. Максимович Н.Г., Хмурчик В.Т., Хайрулина Е.А., Деменев А.Д. Изучение микробиологических процессов в комплексе инженерных изысканий // Инженерные изыскания. – 2015. № 9. С. 40-44.
13. Радина В.В. Роль микроорганизмов в формировании свойств грунтов и их напряженного состояния // Гидротехническое строительство. 1973. № 9. С. 22-24.
14. РВСН 20-01-2006 (ТСН 20-303-2006). Защита строительных конструкций, зданий и сооружений от агрессивных химических и биологических воздействий окружающей среды. СПб.: Правительство Санкт-Петербурга, 2006.
15. СанПиН 2.1.7.1287-03. Санитарно-эпидемиологические требования к качеству почвы. М.: Минздрав РФ, 2003.
16. СП 11-102-97. Инженерно-экологические изыскания для строительства. М.: Госстрой России, 1997.
17. СП 11-105-97. Инженерно-геологические изыскания для строительства. Часть I. Общие правила производства работ. М.: Госстрой России, 1997.
18. СП 11-105-97. Инженерно-геологические изыскания для строительства. Часть II. Правила производства работ в районах развития опасных геологических и инженерно-геологических процессов. М.: Госстрой России, 2000.
19. СП 11-105-97. Инженерно-геологические изыскания для строительства. Часть III. Правила производства работ в районах распространения специфических грунтов. М.: Госстрой России, 2000.
20. СП 47.13330.2012 (актуализированная редакция СНиП 11-02-96). Инженерные изыскания для строительства. Основные положения. М.: Госстрой России, 2012.
21. Ehrlich H.L. Geomicrobiology. New York: Marcel Dekker Inc., 1996. 719 p.
22. Maksimovich N.G., Khmurchik V.T. The influence of microbiological processes of subsurface waters and grounds in river dam basement / Engineering Geology for Society and Territory. Vol. 6. Applied Geology for Major Engineering Projects (ed. by G. Lollino et al.). Springer, 2015. P. 563-565.
23. Maurice P.A., Vierkorn M.A., Hersman L.E., Fulghum J.E. Dissolution of well and poorly ordered kaolinites by an aerobic bacterium // Chemical Geology. 2001. V. 180. № 1-4. P. 81-97.

## ПАСПОРТИЗАЦИЯ ОТРАБОТАННЫХ ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК НА УРАЛЕ КАК СПОСОБ УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНОПРИРОДНЫМИ ГЕОЛОГИЧЕСКИМИ ОПАСНОСТЯМИ

**С.Н. Елохина, А.А. Киндлер**

ФГБОУ ВПО «Уральский государственный горный университет»,  
620144, Екатеринбург, ул. Куйбышева, 30. E-mail: elohina.s@mail.ru

Условия ликвидации и консервации отработанных горных выработок (ОГВ) определяет «Инструкция о порядке ведения работ по ликвидации и консервации опасных производственных объектов, связанных с пользовани-



ем недр» (РД 07-291-99), в которой определены требования к Проекту ликвидации (консервации) опасного объекта. Последний должен включать разнообразные материалы, характеризующие объект ликвидации (описание зон проникновения токсичных и вредных веществ, хранение и захоронение которых осуществлялось, агрессивных шахтных и рудничных вод во вмещающий горный массив и др.), экологические, геодинамические (маркшейдерские), гидрогеологические и др. прогнозы, также сроки, способы и последовательность выполнения работ (технических мероприятий).

Несмотря на вышеперечисленные требования, реализуемая система рекультивации и реабилитации территории ликвидируемых рудников на Урале явно недостаточна [4, 5]. Возможными причинами сложившейся ситуации являются, во-первых, невыполнение мероприятий, предусмотренных «Проектом ...». Очень часто отсутствует закладка техногенных пустот, включая глубины менее 80 м, что является обязательным требованием РД 07-291-99. Например, согласно ведомости пустот на частично затопленном Богомоловском руднике.

Во-вторых, часто выявляется недостаточность запроектированных мероприятий, возможно, в результате недоучета всех опасных геологических процессов. Например, на Гумешевском и Дегтярском рудниках [5].

В-третьих, полное отсутствие «Проектов ликвидации...» и, следовательно, рекультивационных мероприятий, на территории старых рудников, закрытых ещё до середины XX в. Остановка и закрытие рудников, шахт, карьеров, копий на территории Урала происходит на протяжении тысячелетий, по крайней мере, с эпохи раннего металла [2]. Точное количество ОГВ и степень их геологической опасности на территории Урала на сегодняшний день до конца не выяснены.

В целом выполнить полностью требования РД 07-291-99 представляется весьма сложной и дорогостоящей задачей, упростить которую позволит предварительное ранжирование ликвидируемых объектов, например, по степени их техногенной уязвимости или техноприродной геологической опасности [3]. Под техноприродной геологической опасностью (ТПГО) понимается процесс, свойство или состояние литосферы (по Е.М. Сергееву, геологической среды), представляющее угрозу для людей (социальный риск), объектов экономики (физический и экономический риск) и окружающей среды (экологический риск) [7]. При этом риск (его вероятность) пропорционален уязвимости рассматриваемого объекта, а уязвимость – это свойство материального объекта утрачивать способность к выполнению своих естественных или заданных функций в результате воздействия опасного процесса. Современной природоохранной тенденцией на территории РФ является оценка и страхование природных (техноприродных) опасностей и рисков, несмотря на то, что в РД 07-291-99 подобные мероприятия не предусмотрены.

Исследованиями авторов в пределах влияния ряда одиночных ОГВ и целых рудников описан комплекс природно-техногенных процессов, сопровождающих затопление ОГВ, создающих различные ТПГО [3]. Процессы,

в основном синергетичные по своему проявлению, затрагивают все аспекты литосферного сообщества, подземные и поверхностные морфоструктурные элементы ландшафтов, включая проявления экзогеодинамики, и тесно связаны со степенью техногенной нарушенности подземной гидросферы [1, 4]. Оценка последней может рассматриваться в рамках оценки уязвимости геологической среды, а её проявлением – замена природных подземных водоносных систем на техногенные и природно-техногенные.

Отметим, что чрезвычайные и опасные ситуации на Урале возникали как непосредственно после прекращения рудничного водоотлива (г. Верхняя Пышма, пос. Крылатовский и др.), так на уже давно забытых ОГВ (гг. Екатеринбург, Каменск-Уральский и др.). Во втором случае, учет и контроль подобных объектов мог бы обеспечить большую безопасности проживания людей и окружающей природной среды (ОПС).

Для учета специфических техногенных и природно-техногенных объектов, к которым авторы имеют все основания относить ОГВ, применяется их паспортизация и инвентаризация.

Из нормативных документов РФ следует, что «**паспорт объекта**» – это нормативно-технический документ, включающий данные по привязке и характеристике объекта. Например, согласно ГОСТ 17.0.0.04.90, каждое промышленное предприятие, использующее природные ресурсы (предприятие-природопользователь) должно иметь **экологический паспорт**. В экологическом паспорте находят отражение три группы показателей:

- показатели влияния предприятия на состояние окружающей среды;
- показатели организационно-технического уровня природоохранной деятельности предприятия;
- общие и частные показатели анализа затрат на природоохранную деятельность.

Форма экологического паспорта закреплена в ГОСТ Р 17.0.0.06-2000. Она включает 64 таблицы, скомпонованные в 9 разделах. Как правило, экологический паспорт содержит сведения общего характера об используемой технологии (какого типа процесс реализован на предприятии), об источниках воздействия (источниках выбросов, сбросов, образования отходов), данные по использованию предприятием природных ресурсов (воздуха, природных вод, почв, лесных ресурсов, нефти, каменного угля, торфа, природного газа и т.д.), вторичных ресурсов (электроэнергии, ГСМ, мазута и т.д.) и данные по определению влияния хозяйственной деятельности предприятия на ОПС. В паспорте приводятся схемы промплощадок, результаты расчетов рассеяния загрязняющих веществ в окружающей среде и тому подобные материалы. Каждые 3-4 года необходимо обновлять и дополнять документацию.

Другим видом являются **технические паспорта**, которые разрабатываются, согласно Постановлению Госгортехнадзора РФ от 02.06.1998 («Рекомендации о содержании и порядке составления паспорта гидротехнического сооружения»), для гидротехнических сооружений (ГТС). Основой паспорта ГТС служит проектная документация и материалы технического обследования. Он содержит в краткой форме сведения:

- о фактической конструкции ГТС;
- о фактической технологии эксплуатации;
- о фактических характеристиках обслуживающих ГТС и систем;
- о составе эксплуатационного персонала и обслуживающей техники.
- о состоянии;
- графические и фотоматериалы.

Существуют и другие виды паспортов.

В отличие от паспортизации **инвентаризация** представляет собой систематизацию сведений о целом ряде специфических объектов. Инвентаризация должна решать следующие вопросы:

- выявления, регистрации и учета определенного вида специфических объектов;
- определение площадей, занятых объектами определенного вида;
- оценку их условий размещения и текущего состояния;
- оценку степени их влияния на окружающую природную среду (ОПС);
- оценку соответствия объекта экологическим, строительным и санитарным нормам и правилам;
- организации мониторинговых наблюдений за состоянием недр и ОПС;
- составление территориальных схем расположения нарушенных земель, а также опасных природных и техногенных объектов.

Например, в 1995 году Департаментом государственного экологического контроля Минприроды России утверждены «Временные методические рекомендации по проведению инвентаризации мест захоронения и хранения отходов в Российской Федерации».

При инвентаризации и паспортизации ОГВ отправной точкой для инвентаризации и паспортизации могут послужить учетные таблицы горных объектов Управления горного надзора Ростехнадзора России. В современной практике составление паспорта ОГВ наиболее благоприятно на стадии разработки и утверждения проекта рекультивации ликвидируемых и консервируемых горных предприятий. Однако множество уже существующих заброшенных горных объектов требуют специального их выявления и описания, например, как это было сделано на территории Режевского ПМЗ.

Поскольку ОГВ интересны не только своими собственными характеристиками, но и зоной воздействия на ОПС (в первую очередь, на литосферу), разработка формы паспорта представляется непростой задачей. Синергетика техногенных и природно-техногенных процессов и многокомпонентность литосферы, проявляются во взаимосопряженном изменении гидрогеологических, инженерно-геологических и других условий и систем, показатели которых следует изучать и закреплять в паспортных данных объектов [4].

Учитывая описанный выше опыт разработки экологического паспорта, паспорт ОГВ целесообразно представить серией таблиц, сгруппированных по взаимосвязанным блокам: тип ОГВ; привязка объекта; горно-технический; геологический; инженерно-геологический; гидрогеологический; гидрологи-

ческий; экологический; технологический (мониторинга); картографический и фотодокументации.

Каждый из 10 блоков содержит до 10 таблиц и приложений [6], что сопоставимо с объемом экологического паспорта. Большой объем информации требует применения информационных технологий в виде электронных баз данных (БД) ОГВ. Паспорта объектов прикрепляются к инвентаризационным ведомостям. Вся информационно-аналитическая система требует не только создания, но и систематической актуализации, что выглядит уместно в рамках государственного мониторинга состояния недр (ГМСН) Минприроды России.

Помимо универсального (полного паспорта) электронные базы позволят получать тематические реестры и паспорта ОГВ. Тематическим критерием выборки может быть выбран целый ряд квалификационных критериев: тип выработки, полигональные объекты (административные и водохозяйственные районы и т.п.), предусмотренные в разделе справочной информации (районирование гидрографическое и водохозяйственное, административное по ОКТМО и ОКАТО и т.п.); степень рекультивации выработок, необходимость ведения мониторинга разного уровня, по грациям ТПГО (в баллах) и другие. Тематические реестры и паспорта (выборки), не только упрощают аналитическую работу, но и оптимизируют объем бумажной продукции.

На территории Уральского федерального округа Уральским региональным центром ГМСН совместно с Уральским государственным горным университетом начаты работы по созданию региональной БД ОГВ, как подсистемы базы данных опасных экзогенных геологических процессов. Разработка и апробация системы проводится на отдельных наиболее изученных объектах Свердловской области.

Таким образом, на сегодняшний день достаточно остро стоит проблема ОГВ, не оцененное количество которых несет в себе техноприродные геологические опасности для населения и инженерных сооружений.

Инвентаризация и паспортизация объектов является стандартным приемом для информационного обеспечения управления разными аспектами хозяйственной, технической и природоохранной деятельности. ОГВ имеют все основания для выделения их в отдельную категорию опасных и специфических объектов. Их паспортизация позволит точнее оценивать и управлять природными рисками на территории старых горнодобывающих регионов.

Разработана структура универсальных электронных паспортов ОГВ, выбираются критерии получения тематических реестров и паспортов, а также электронная среда для накопления и актуализации данных, совместимая с БД ГМСН.

#### Литература

1. Бондарик Г.К., Пендин В.В., Ярг Л.А. Инженерная геодинамика: Учебник. – М.: КДУ. 2007. – 440 с.
2. Горная энциклопедия. Т. IV // Под ред. Е.А. Козловского. – М.: Советская энциклопедия. 1989. – 534 с.

3. *Елохина С.Н.* Техноприродные опасности на затопленных рудниках Урала // Известия вузов. Горный журнал. – 2005. – № 3. – С. 120-127.
4. *Елохина С.Н.* Горнорудный техногенез постэксплуатационной стадии на территории Урала // Литосфера. – 2013. – № 5. – С. 170-183.
5. *Елохина С.Н.* Гидрогеоэкологические последствия горного техногенеза на Урале. – Екатеринбург: ООО «УИПЦ», 2013. – 187 с.
6. *Елохина С.Н. Киндлер А.А., Кононученко А.И.* К вопросу паспортизации отработанных горных выработок // Сергеевские чтения. Вып. 17. Инженерно-геологические и геоэкологические проблемы городских агломераций: мат-лы годичной сессии Научного совета РАН по проблемам геоэкологии, инженерной геологии и гидрогеологии (19-20 марта 2015 г.). – М.: Изд. РУДН, 2015. – С. 33-37.
7. Природные опасности России. Том 6. Оценка и управление природными рисками (Под ред. А.Л. Рогозина). – М.: Издательская фирма «КРУК», 2003. – 320 с.

## **ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ И ПРОЕКТИРОВАНИЕ ГОРОДОВ**

**В.Г. Заиканов**

Институт геоэкологии им. Е.М. Сергеева РАН, 101000, г. Москва. Уланский пер., д. 13, стр. 2.  
E-mail: zaikanov@geoenv.ru

Сложившаяся практика проектирования городских объектов обязательно связана с учетом экологических и геоэкологических ограничений. Их недоучет при проектировании в дальнейшем выражается в ущербе окружающей природной среде и здоровью человека. Для снижения этого негатива разрабатываются федеральные и региональные законы и нормативные документы, цель которых определить допустимость воздействий в границах существующих нормативных экологических ограничений для сохранения качества компонентов окружающей природной среды, штатного функционирования технических объектов и сохранения здоровья людей.

Социально-экономические потери, связанные с опасными природными явлениями увеличиваются с каждым годом, но как считают многие специалисты, это происходит не вследствие увеличения их частоты, а из-за отсутствия мероприятий по их предотвращению. Политика прогнозирования в Европе, основанная на пространственном планировании, является более эффективной и менее затратной, чем меры по раннему предупреждению опасных природных явлений. В западноевропейской литературе пространственное планирование рассматривается как наиболее эффективный экономический инструмент в области предотвращения опасных природных процессов и явлений, через запреты и ограничения. Современные схемы пространственного планирования городов должны учитывать данные о природных и техногенных опасностях – причинах ущерба.

В Экологической доктрине РФ и Стратегии инновационного развития РФ говорится, что актуальным является решение фундаментальных задач, направленных на развитие территории и практики планирования городского пространства для обеспечения комфортной и безопасной среды в будущем.

Существовавшая в недалеком прошлом практика реализации проектов без учета текущего и прогнозного состояния природной среды, без оценки последствий хозяйственной деятельности привела к ухудшению экологической ситуации и появлению территорий социальной напряженности в местах расположения экологически неблагоприятных градообразующих предприятий.

Согласно Конституции РФ (ст.76 п.2) [1] по предметам совместного ведения, к которым относятся охрана окружающей среды, природопользование и обеспечение экологической безопасности, должны разрабатываться, издаваться и корректироваться федеральные законы и принимаемые в соответствии с ними законы и иные нормативные акты субъектов федерации. Причем нормативно-правовая база в этой области на региональном уровне должна формироваться на основе федеральных законов с учетом местных условий.

Актуальной проблемой в городе является нерациональное использование его природной основы, особенно подземной компоненты. Перенаселенность города активно изменяет природную среду, что предопределяет необходимость комплексного анализа экологического и геоэкологического (геологического) факторов. На сегодняшний день геоэкологический фактор рассматривается в составе экологического без выделения его специфики. В нормативных документах он отсутствует вообще. В действующем СП 11-102-97 [2] геоэкологические исследования сводятся к опробованию воздуха, почв и грунтов. Становится неясным, почему только эти компоненты являются объектом геоэкологических исследований в инженерно-экологических изысканиях для строительства. По-видимому, это связано с тем, что для этих видов работ разработаны требования, критерии и методы исследований. А ведь состояние геологической среды города и безопасность проживания в нем зависит от геоэкологических условий, т.е. изменений под воздействием человека сформировавшихся за период его функционирования. Наличие слабых, тиксотропных и техногенных грунтов с изменяющимися характеристиками может привести к деформации фундамента, а также вызвать вертикальные деформации оснований зданий и сооружений. Немалую роль в оценке качества геологической среды играет проявление на территории города опасных экзогенных геологических процессов. Кроме того интенсивность и экстенсивность изменения геологического пространства непосредственно зависит от проектируемого объекта. От высотности объекта зависит техногенная нагрузка на геологическую среду, и как следствие, изменение ее свойств. Нерациональное использование подземного пространства города часто приводит к возникновению и активизации геологических процессов, в частности подтопления, оползней, суффозионно-карстовых, эрозии.

Ежегодное строительство новых зданий и сооружений в городе сокращает площади свободных и пригодных для освоения земель. Поэтому аль-

тернативой этому становится проектирование и строительство высотных объектов и освоение подземного пространства городов, а это проблемы геоэкологии. Поэтому геоэкологический фактор, а соответственно специфические геоэкологические исследования должны проводиться как самостоятельные, т.е. выделенные в особый блок. Естественно необходимо определить, где должна быть у этих исследований их «экологическая ниша». Для этого в пункт 2 СП 11-102-97 (основные понятия и определения) должны быть внесены дополнения касающиеся обоснования понятий «геоэкологические условия» и «геоэкологическая оценка». Далее в последующих пунктах того же СП и в СНиП 11-02-96 [3] должны быть определены: состав работ и требования к ним, не только общие технические, но и поэтапной разработки проектной и проектной документации.

Что же необходимо сделать, чтобы этот блок стал обязательным в изысканиях для проектирования. Во-первых, надо обосновать однозначность основных понятий геоэкологии, которые будут использоваться в проектировании и закрепить их определениями в нормативных документах. Во-вторых, должны быть разработаны новые геоэкологические технологии, используя имеющийся опыт в этой области, цель которых проектирование и планирование будущих безопасных городов. При этом должен быть решен ряд задач. Это разработка требований по применению геоэкологических технологий для обеспечения безопасности городских территорий, разработка методики геоэкологической оценки для планирования и проектирования безопасных городов и наконец, разработка Руководства по реализации предлагаемых геоэкологических технологий.

Анализ взаимоотношений проектируемого объекта с окружающей средой, согласно существующим требованиям последовательно проходит ряд уровней, на которых наращивается детальность используемых при проектировании данных. Предпроектный уровень проработки отвечает на вопрос возможности размещения объекта на основе анализа вариантности и дает геоэкологическое и экологическое обоснование, т.е. оценку варианта. Именно на этой стадии должна прорабатываться геоэкологическая обоснованность и целесообразность принятых решений. Следующий проектный уровень, на котором разрабатывается рабочая документация и состав которой определен нормативными документами и законами РФ и субъектов федерации – это проектный. Причем экологическая составляющая является его обязательной частью.

Конечно, геоэкологическое направление еще достаточно молодое в градостроительном проектировании. В настоящее время известно небольшое количество исследований, посвященных геоэкологическим проблемам урбанизированных территорий и их безопасности, которые являются скорее экспериментальными разработками без широкого применения в проектировании. Поэтому развитие геоэкологических технологий является актуальной задачей планирования и проектирования безопасных для природы и человека городов.

Тенденция роста городов «вверх», усиление техногенной нагрузки на подземное пространство (геологическую среду) подводит основы проектирования и планирования городского пространства к обоснованию создания и применения новых прорывных геоэкологических технологий, которые в будущем должны обеспечить развитие безопасных городов на основе сбалансированного учета природных, экологических, геоэкологических, экономических, социальных факторов и накопленного экологического ущерба. Для обоснования безопасного проживания населения в городах будущего необходимо в проектировании уже сегодня использовать технологии, которые гарантируют ему наиболее комфортные условия завтра. Современные законодательные и нормативные документы планирования и проектирования городов пока этого не обеспечивают.

В основе своей, разработка проектной документации в части охраны окружающей природной среды должна опираться на новые геоэкологические технологии, т.е. фактически проводиться геоэкологическое проектирование. Под последним понимается обоснованный выбор проектных и организационных решений для конкретных хозяйственных объектов, реализация которых обязана обеспечить устойчивое развитие территории намечаемой деятельности. Иными словами проектными решениями должна сохраняться природно-техногенная геосистема, как функциональное целостное образование, а не только её отдельные компоненты (вода, воздух, почвы, растения и др.).

Прогнозный геоэкологический анализ на проектируемых городских территориях должен учитывать многоуровневность связей «здание – грунты основания». В городских условиях, когда возводится не одно, а много зданий, образующие кварталы, микрорайоны и др., разделенные улицами и связанные коммуникациями возникает второй, более высокий уровень взаимодействия – «квартал-геоэкологические тела в его основании». Более высокий – третий уровень, «город-геологические тела в его основании». Таких уровней может быть не три, а больше, в зависимости от размеров города. Совокупный уровень воздействия инженерных сооружений это не только их масса и динамика эксплуатации, но и опасные геологические процессы, тепловое, вибрационное воздействие, питание и разгрузка подземных вод и др.

Таким образом, геоэкологические факторы фактически выходят за рамки экологических или инженерно-экологических как они сформулированы в нормативных документах. Со времени утверждения СП-102-97 прошло около двадцати лет. За это время инженерно-геологическая наука, в том числе и геоэкологическое направление значительно продвинулись вперед. Однако и в актуализированной редакции СНиП 11-01-96 (СП 47.13330.2012) опубликованной в 2013 году, так же как и в предыдущем издании, в составе работ геоэкологические изыскания сводятся к опробованию и оценке загрязнения атмосферного воздуха, почв, грунтов, поверхностных и подземных вод. Интересно то, что другие геоэкологические исследования в нормативной литературе не упоминаются вообще, т.е. комплексная оценка воздействия человека на компоненты природной среды (геоэкологическая оценка) фактически не прописана и потому может не выполняться. А именно комплексная геоэколо-



гическая оценка территории, а не оценка состояния компонентов природной среды, как показывает опыт, наиболее востребован при проектировании. Это существенный недостаток нормативной литературы, т.к. оценочный фактор позволяет проектировщикам выбрать наиболее обоснованные и наименее затратные проектные решения. Поэтому в СП и СНиП по инженерным изысканиям для строительства необходимо в составе работ предусмотреть самостоятельный геоэкологический блок, который используя материалы уже выполненных изысканий должен отвечать за выполнение комплексной геоэкологической оценки территории проектирования и на её основе разработку рекомендации для проектирования. Поэтому, чтобы этот геоэкологический блок заработал как итоговый оценочный в инженерных изысканиях, а проектирование встало на геоэкологические рельсы, необходимо разрабатывать и использовать в нормативной литературе новые геоэкологические технологии, наработки по которым уже появляются в научной литературе, а некоторые используются в практике проектирования. Очевидно это должен быть комплекс работ опирающийся на разработанные: требования, методы выполнения комплексной геоэкологической оценки и Руководства по их реализации. Конечно, геоэкологические технологии должны обязательно базироваться на фундаментальных исследованиях в этой области. Применение геоэкологических технологий должно сделать проектирование урбанизированных территорий и крупных хозяйственных объектов не только более экологичным, менее проблемным, но и безопасным.

#### **Литература**

1. Конституция Российской Федерации.
2. СП 11-102-97. Инженерно-экологические изыскания для строительства. – М., 1997. – 40 с.
3. СНиП 11-02-96 (СП 47.13330.2012). Инженерные изыскания для строительства. Основные положения. Актуализированная редакция. – М., 2013. – 109 с.

### **АЛГОРИТМ ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКОГО ОБОСНОВАНИЯ СХЕМ ТЕРРИТОРИАЛЬНОГО ПЛАНИРОВАНИЯ РАЙОНОВ ПОДМОСКОВЬЯ (НА ПРИМЕРЕ КРАСНОГОРСКОГО РАЙОНА)**

**В.В. Караковский**

МГУ им. М.В. Ломоносова, г. Москва, Ленинские горы, д. 1, 119991.  
E-mail: admin@geol.msu.ru

За последние десятилетия накопилось множество серьезных проблем в правовом регулировании в сфере градостроительства Российской Федерации. В настоящее время Комитет по архитектуре и градостроительству города

Москвы проводит анализ и систематизацию нормативно-правовых актов (в том числе природоохранных) в строительной деятельности. Основные выявленные проблемы связаны с излишней бюрократизацией всей системы градостроительного регулирования, большим количеством нормативно-правовых документов, не имеющих определенного правового статуса и часто друг друга дублирующих. Для решения этих проблем в скором времени, возможно, будут созданы информационно-аналитические системы управления градостроительным развитием территории (ИАС УГРТ) [1].

Поэтому при разработке схем территориального планирования (СТП) возникает вопрос: какие документы использовать?

Отдельные затруднения вызывает раздел охраны окружающей среды. Критерии, по которым должен составляться данный раздел, в Градостроительном кодексе вообще не прописаны. Геоэкологические проблемы эпизодически представлены лишь в некоторых санитарных правилах.

Между тем, в связи с большой актуальностью, геоэкологическое обоснование уже давно применяется при генеральном планировании территорий, например, в генпланах Москвы, Казани, Воронежа.

Отдельной проблемой остается содержание картографического материала, требующего проработанной нормативно-методической базы региональных инженерно-геологических исследований. Отсутствие систематизации и четких требований к выпускаемым картам часто приводит к визуализации необоснованного или плохо проанализированного материала. Здесь можно использовать положительный опыт института ВСЕГИНГЕО, который сформировал требования к содержанию инженерно-геологических карт масштаба 1:1000000, в виде федерального методического документа по современному мелкомасштабному инженерно-геологическому картографированию [4]. Такие же шаги следует предпринять и для более важных в градостроительном плане масштабов 1:50000-10000 (масштаб СТП).

Следовательно, необходимо регламентировать геоэкологическое обоснование СТП и дать определенные критерии геоэкологической оценки рассматриваемой территории.

Для этого требуется разработка четкого алгоритма геоэкологического обоснования СТП, в том числе картографического материала.

Алгоритм геоэкологического обоснования территории должен строиться в зависимости от следующих факторов: финансовые и временные затраты на геоэкологическую оценку; масштаб рассмотрения территории; наличие и качество имеющейся информации; эффективность, достоверность и точность итоговых результатов, в том числе картографических.

Кратко эти факторы можно обозначить так: затраты, масштаб, исходные данные, результативность. Все они взаимосвязаны: чем подробнее рассмотрение (масштаб), тем эффективнее должны быть результаты (результативность), которые зависят от исходных данных, а повышение качества информации требует больших затрат.

Таблица 1.

## Алгоритм оценки природной устойчивости (защищённости) геологической среды

| Шаг                              | Метод   | Районирование, ед. измерения                                 | Источник                                   | Примечание  | Стадия, масштаб                 |
|----------------------------------|---|--|--|---|---------------------------------|
| <b>Качественные методы</b>       |   |  |  |   |                                 |
| 1                                | Качественный по методу экспертных оценок (МЭО)  | По устойчивости геологической среды, в баллах                | [5]  | Данный метод имеет низкую достоверность и точность, и выделяет лишь наиболее общие зоны ПУГС. Может использоваться на начальной стадии проектирования в условиях дефицита информации и для быстрого поверхностного анализа  | СТП, масштаб 1:25-50000         |
| 2                                | Качественный по МЭО. Унифицированный вариант  |  | Предложено автором на основе [3, 5, 8]     | Данный метод имеет чуть большую достоверность и точность, выделяет лишь наиболее общие зоны ПУГС. Может использоваться на начальной стадии проектирования в условиях дефицита информации и для быстрого поверхностного анализа. Из-за меньшего числа параметров значительно ускоряет анализ               | СТП, масштаб 1:25-50000         |
| <b>Полуколичественные методы</b> |   |  |  |   |                                 |
| 3                                | Полуколичественный статистический: МЭО+корреляционный анализ + метод анализа иерархий   | По защищенности водоносных горизонтов, в баллах              | Предложено автором на основе [2, 3, 7, 8]  | Данный метод имеет большую достоверность и точность, уточняет и обосновывает общие зоны ПУГС. Может использоваться на начальной стадии проектирования в условиях дефицита информации, но для более глубокого анализа. Время расчета увеличивается, но можно автоматизировать.                             | СТП, масштаб 1:25-50000         |
| 4                                | Полуколичественный статистический: Логистическая регрессия и ROC-анализ                 | По защищенности водоносных горизонтов, в расчетных значениях | Предложено автором на основе [3, 8, 9, 10] | Данный метод имеет наибольшую достоверность и точность в рамках статистики, уточняет и обосновывает зоны ПУГС. Может использоваться в качестве проверки для предыдущих стадий или альтернативного варианта при отсутствии количественного расчета. Время расчета увеличивается, но можно автоматизировать | СТП, ГП, ПП, масштаб 1:10-25000 |
| <b>Количественные методы</b>     |   |  |  |   |                                 |
| 5                                | Количественный. Расчет времени достижения загрязняющих веществ до водоносного горизонта | По защищенности водоносных горизонтов, в сутках              | [3, 8]                                     | Данный метод имеет наибольшую достоверность и точность из всех предложенных методов, выделяет зоны защищенности водоносных горизонтов. Требуется большое количество информации и временных затрат.  | СТП, ГП, ПП, масштаб 1:10-25000 |

По мнению автора, при геоэкологическом анализе должны совместно рассматриваться как природные условия устойчивости геологической среды, так и техногенная нагрузка, оказывающая влияние на геологическую среду.

Для всех районов ближайшего Подмосковья наиболее острой проблемой является состояние подземных вод московского артезианского бассейна, которые используются в питьевом водоснабжении [5, 6]. Поэтому анализ устойчивости должен основываться, прежде всего, на оценке защищенности подземных вод.

Примерный алгоритм оценки природной устойчивости, использованный автором при анализе СТП Красногорского района, выглядит следующим образом (см. табл. 1).

Теоретически можно остановиться на любом из этих шагов, но для наиболее представительного геоэкологического анализа необходимо пройти весь алгоритм. В отсутствии информации, финансирования и времени алгоритм допустимо пройти до 3-4 шага. Для более полного и объективного анализа требуется проведение бурения, что заметно увеличивает стоимость и время анализа. Для стадии СТП такой анализ является нецелесообразным.

Помимо анализа природных условий по подобному принципу должна анализироваться техногенная нагрузка. Геоэкологический анализ, проведенный по предложенному алгоритму, может быть включен в раздел по охране окружающей среды для существующего и прогнозного состояния.

Данную методику геоэкологического анализа следует внедрить в сферу нормативно-правового природоохранного регулирования в рамках информационно-аналитической системы управления градостроительным развитием территории.

## Литература

1. Балбашевский В.В., Степыгина Л.И., Курочкин В.Н., Непомнящий С.В., Поповский Ю.Б. Правовое регулирование градостроительной деятельности на уровне федерального законодательства. Отв.ред. А. М. Балбеко. – М.: ЛЕНАНД, 2014. – 156 с.
2. Вуколов Э.А. Основы статистического анализа. Практикум по статистическим методам и исследованию операций с использованием пакетов STATISTICA и EXCEL: учебное пособие. – 2-е изд., испр. и доп. – М.: ФОРУМ, 2008. – 464 с. – (Высшее образование).
3. Гольдберг В.М. Взаимосвязь загрязнения подземных вод и природной среды. – Л.: Гидрометеоздат, 1987. – 248 с.
4. Молодых И.И. Современные инженерно-геологические карты мелкого масштаба как основа безопасного развития урбанизированных территорий. Сергеевские чтения. Инженерно-геологические и геоэкологические проблемы городских агломераций. Вып. 17. – М.: РУДН, 2015. – 608 с.
5. Орлов М.С., Питьева К.Е. Гидрогеоэкология городов. – М.: Изд-во ИНФРА-М, 2012. – 219 с.
6. Осипов В. И. Москва: Геология и город / глав. ред.: В.И. Осипов, О.П. Медведев. – М.: АО «Московские учебники картолитография», 1997. – 400 с.
7. Саати Т. Л. Принятие решений. Метод анализа иерархий. – М.: Радио и связь, 1993
8. Шестаков В.М. Гидрогеодинамика: Учебник. – 3-у изд. – М.: Изд-во МГУ, 1995. – 368 с.

9. *Davis J., Goadrich M.* The Relationship Between Precision-Recall and ROC Curves // Proc. Of 23 International Conference on Machine Learning, Pittsburgh, PA, 2006.

10. *Fawcett T.* ROC Graphs: Notes and Practical Considerations for Researchers // 2004 Kluwer Academic Publishers.

## **НЕОБХОДИМОСТЬ ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ В СТРАТЕГИЧЕСКОМ И СРЕДНЕСРОЧНОМ ПЛАНИРОВАНИИ**

**Е.А. Карфидова<sup>1</sup>, А.П. Сизов<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> Институт геоэкологии им. Е.М. Сергеева РАН, 101000, г. Москва, Уланский пер. д. 13 стр. 2.  
E-mail: e.karfidova@yandex.ru

<sup>2</sup> Московский государственный университет геодезии и картографии, 105064, г. Москва,  
Гороховский пер. д 4. E-mail: cadastre@miigaik.ru

Стратегическое планирование развития государства определяется как важнейшее научное и социальное завоевание XX века [7, с. 25]. В РФ последние годы символизируются развитием государственной политики в части долгосрочного планирования развития территорий, а с выходом федерального закона о стратегическом планировании (2014) и положения о стратегии пространственного развития (2015) задачи формирования логической цепочки реализации задач стратегического планирования (долгосрочные – среднесрочные – краткосрочные планы) становятся наиболее актуальными.

В этой системе на всех трех уровнях управления разрабатываются концепции социально-экономического развития территории, основы государственной политики по основным направлениям развития, создаются планы их реализации, национальные/федеральные и ведомственные/отраслевые стратегии развития и планы их реализации, наконец, федеральные и региональные целевые программы. Появились наиболее весомые по социально-экономической значимости: концепции демографической политики, создания и развития гражданской защиты, стратегия национальной безопасности, энергетическая и транспортная стратегия. В области экологии/геоэкологии наиболее значимыми являются Основы государственной политики в области экологического развития Российской Федерации на период до 2030 года и план их реализации (2012), основы государственной политики в Арктике, в области использования лесов и земельного фонда, особо охраняемых природных территорий; отраслевые стратегии и планы реализации: водная стратегия, развития лесного комплекса, развития геологической отрасли, и даже ряд стратегий сохранения редких видов (животных, растений и грибов).

Анализ критики разрабатываемых плановых документов позволяет согласиться с утверждением, что «прослеживается системный разрыв между долгосрочными документами планирования – концепциями, доктринами, стратегиями и среднесрочными документами» [7, с. 165].

В спектре рассматриваемых документов необходимо отметить появление принципиально новых и наиболее инновационных концепций открытых данных и открытости исполнительных органов власти, которые по основополагающему тезису об открытой экологической информации, содержательно неразрывно связаны с экологическим обеспечением устойчивого развития, а технологически – с концепцией разработки инфраструктуры пространственных данных.

При всем многообразии долгосрочных планов в свете геоэкологических проблем отсутствуют документы по следующим проблемам:

- Развития инженерных изысканий,
- Защиты и сохранения (запасов) питьевых подземных вод,
- Комплексной защиты территорий от негативных природно-техногенных процессов.

В настоящее время на практике логическим продолжением долгосрочных и среднесрочных плановых документов считается разработка схем территориального планирования, регламентируемых Градостроительным кодексом. Созданная в 2012–2014 гг. Федеральная государственная информационная система территориального планирования (ФГИС ТП) претендует на звание единственного среднесрочного планового документа развития территории, что неправильно, так как в основе развития территории лежит не только градостроительная, но и землеустроительная деятельность.

С позиций права для обеспечения устойчивого развития необходимо руководствоваться земельным правом (Земельным кодексом, федеральными законами о землеустройстве и государственном мониторинге земель). Да и при составлении схемы территориального планирования грамотный специалист при размещении объекта капитального строительства запросит программы и планы землеустройства и данные государственного мониторинга земель.

В то же время в руководстве к описанию и отображению объектов в документах территориального планирования (на трех уровнях управления) имеются серьезные пробелы, вызванные невниманием к вопросам системной классификации [4] и ставящие под угрозу рассмотрение и решение важнейших геоэкологических проблем. На основе анализа основных регламентирующих документов территориального планирования, опыта разработки схем территориального планирования субъектами Федерации, зарубежного опыта (в первую очередь, стран СНГ и стран – бывших республик в составе Советского Союза) [6] предлагается включить в число объектов, необходимых для использования при территориальном планировании:

1. Новый раздел «Инженерно-геологические данные», в котором предусмотреть описание и отображение:

- Районов распространения различной категории сложности инженерно-геологических условий (ИГУ);
- Районов/зон с особыми природно-техногенными условиями;
- Зон различной инженерно-геологической изученности;

- Районов/зон инженерно-геологического районирования;
- Зон инженерной защиты территории.

2. Новый раздел «Данные землеустройства», в котором предусмотреть описание и отображение:

- Зон нарушенных земель и зон рекультивации нарушенных земель;
- Зоны земель сельскохозяйственного назначения по планам агротехнических, агрохимических, мелиоративных, фитосанитарных и противоэрозионных мероприятий;
- Зоны земель не сельскохозяйственного назначения с развитием негативных процессов по данным государственного мониторинга: эрозионных, подтопления, засухи, засоления, заболачивания, подверженных опустыниванию, захламленных землях, землях, подвергшихся радиоактивному загрязнению, загрязненных нефтью и нефтепродуктами, тяжелыми металлами, средствами химизации сельского хозяйства.

3. Дополнение к разделу 48. Описание и отображение зон с особыми условиями использования территории: в дополнение к водоохранным зонам – Гидрогеологические окна, как водоохранные зоны для сохранения подземных вод стратегического запаса (в первую очередь, питьевых вод).

4. Дополнение к разделу 50. Описание и отображение экологически неблагоприятных территорий, установленных в состоянии экологического бедствия или экологической катастрофы – чрезвычайные ситуации, связанные с изменением состояния: суши (почвы, недр, ландшафта), атмосферы (воздушной среды), гидросферы (водной среды) и биосферы.

В добавление к объектам – опасным процессам и явлениям для отображения последствий чрезвычайные ситуаций: просадка, (провалы) земной поверхности, торфяные пожары, подземные пожары горючих ископаемых, депрессионные гидрогеологические воронки, высокая пожарная опасность лесов.

5. Дополнение к разделу 51. Описание и отображение зон формирования ландшафтов: зоны особых тектонических условий и геодинамически активные зоны.

6. Дополнение к разделу 53. Описание и отображение районов распространения грунтов: газонасыщенные грунты.

7. Дополнение к разделу 57. Описание и отображение зон оценки экологического состояния территории: качество питьевых подземных вод и зоны потенциальной радоноопасности.

Целесообразно закрепить нормативно-методическими документами положение о том, что система классификация объектов и их параметров – важнейшая составляющая территориального планирования, по своим свойствам должна быть понятной, открытой, и дополняемой. Необходимость открытости подкрепляется положениями концепции открытых данных; свойства дополняемости на примере геоэкологии обосновываются развитием системы знаний о природных и природно-техногенных процессах (так, понятия о гидрогеологических окнах и радоноопасности возникли за последние 20 лет,

с развитием инструментальных методов и картографического представления).

К сожалению, отсутствие инженерно-геологических и геоэкологических данных в системе объектов территориального планирования, слабая осведомленность общества о значимости геоэкологических исследований сказывается и на процессе формирования открытых данных, находящихся в стадии становления. Концепции открытых данных и открытости исполнительных органов власти четко не определяют подходы к содержательной части информации, развивая в основном технологическую составляющую. В графике раскрытия приоритетных социально-значимых наборов данных [1] имеются разделы: 3. Наблюдение за поверхностью Земли, 4. Состояние окружающей среды и характеристика источников загрязнений и 21. Общественная безопасность, но в этих разделах нет подраздела: Данные об опасных геологических процессах и явлениях (землетрясения, карст, карст-суффозия, сели и др.). Такое положение дел надо срочно исправлять.

С развитием стратегических методов планирования, основанных на анализе социально-экономических процессов, использование индикативного метода, как «процесса формирования системы индикаторов (показателей) и разработка на их основе (экономических) мер государственного воздействия на (экономические) процессы для достижения установленных показателей» [7, с. 156] становится крайне важным для вписывания геоэкологических исследований в систему стратегического и среднесрочного планирования и формирования их востребованности в обществе и структурами исполнительной власти.

Формирование среднесрочных планов, как механизма реализации задач стратегического планирования, на взгляд авторов, может происходить по двум основным сценариям: на основе развития взаимодействия между градостроительным и земельно-имущественным комплексами [2] и на основе комплексного среднесрочного планирования, обеспечивающего межотраслевой баланс в согласии с бюджетом. Второй сценарий имеет серьезные преимущества, но развитие его возможно лишь при внедрении новых методов стратегического и среднесрочного планирования и поддержке субъектами Федерации, накопившими опыт разработки региональных моделей территориального планирования.

Возвращаясь к наиболее злободневным вопросам учета геоэкологических исследований в стратегическом и среднесрочном планировании, формируем примерную постановку задач защиты от негативных природно-техногенных процессов. Последние включают в себя катастрофические, опасные и негативные природные и природно-техногенные процессы (по последствиям и размеру ущерба). Возможна классификация процессов по времени (стремительные (час–сутки), быстрые (в пределах недели), медленно протекающие (годы, десятилетия, столетия)). Катастрофические и опасные процессы, как чрезвычайные ситуации различного масштаба, вписываются в систему территориального планирования. Для этих процессов разработаны и совершенствуются методы оценки риска, ущерба и предупреждения. Ситуа-



ция же с «медленными» процессами иная. Информация о них присутствует в государственных и региональных докладах о состоянии и использовании земель, из года в год пугающих ухудшением состояния и деградацией земель, почвенного и растительного покрова, расширением ареалов проблемных и кризисных экологических ситуаций [5]. Настораживает, что в «Основах государственной политики в области экологического развития Российской Федерации на период до 2030 года» негативные процессы упомянуты в преамбуле, но далее не упоминаются вообще. В Стратегии социально-экономического развития ЦФО на период до 2020 года (2011) в разделе 18. Сохранение окружающей среды и обеспечение экологической безопасности при всем многообразии предусматриваемых конкретных и ясных мер, по преодолению/уменьшению негативного процесса, вызывающего деградации земель, не наблюдается. В решении этих проблем в стратегическом и среднесрочном планировании крайне важна разработка соответствующих показателей-индикаторов.

Информационная основа мониторинга земель складывается из системы оценок путем измерения процесса или явления, с каждым годом опирающаяся все больше и больше на методы дистанционного зондирования и данные дистанционного зондирования Земли (ДДЗЗ).

Представляется принципиально важным в анализе негативных природных и природно-техногенных процессов ответ на вопрос: располагают ли соответствующие службы необходимым современным инструментарием? По материалам международного конгресса инженер-геологов IAEG-2014 [8] в обеспечении мониторинга деформации земной поверхности (проседание, склоновые деформации, трещины, анализ взаимосвязей деформаций с гидрогеологическими изысканиями, водозабором подземных вод, изменением уровней водоносных горизонтов) появились принципиально новые методы и средства: инструменты измерения и навигации, методы дистанционного зондирования на основе радарных средств с интерферометрией, лазерное сканирование, цифровая фотограмметрия, программно-технологические методы обработки ДДЗЗ с комплексированием нескольких методов зондирования и их валидации, взаимосвязи обработки данных зондирования и инженерно-геологических, гидрогеологических и геотехнических изысканий. Доклады от нескольких стран Европы, Китая и Бразилии приводят результаты исследований на основе нового инструментария; в выводах китайских и бразильских коллег говорится, что земельные деформации имеют необратимый характер, образование депрессионных гидрогеологических воронок и изменение уровня водоносных горизонтов – опасное природно-техногенное явление, требующее безотлагательных мер, пренебрежение к этим вопросам может привести не только к экологическим проблемам, но и к экономическим и социальным потерям [8, p.25, 27-28, 30-31, 33, 36-38]

По данным государственного мониторинга состояния недр интенсивный многолетний водоотбор подземных вод привел к формированию региональных депрессионных гидрогеологических воронок в Московской и Курской областях, что существенно ограничивает дальнейшее наращивание

водоотбора [3, с. 35]. Поскольку российских докладчиков на эту тему на конгрессе не было, а анализ научной периодики показал единичность подобных работы в РФ, проводимых только крупнейшими государственными добывающими организациями, то можно сделать вывод, что дорогостоящие новые инструментальные средства мало известны и не используются.

**Выводы:** 1) Земельное право должно стать ведущим правовым инструментом в разработке программ обеспечения устойчивого развития территории страны; 2) Необходима разработка концепции среднесрочного планирования устойчивого развития, обеспечивающего межотраслевой баланс на основе реального бюджета территории; 3) Решение важнейших геоэкологических проблем может быть осуществлено лишь на основе интеграции информационных ресурсов территориального планирования и землеустройства под эгидой единой стратегии пространственного развития территории РФ и на основе использования принципиально новых методов и средств мониторинга окружающей среды.

#### Литература

1. График раскрытия приоритетных социально-значимых наборов данных // Информационный портал. – Режим доступа: <http://data.gov.ru/library>
2. Карфидова Е.А., Сизов А.П. Методологические подходы к оценке риска негативных геологических процессов на основе взаимодействия земельно-имущественных и градостроительных информационных систем // Материалы 9-й Международной научно-практической конференции «ГЕОРИСК-2015». Т. 2. – С. 183-188.
3. Информационный бюллетень о состоянии недр на территории РФ за 2011 г. ФГУП «Гидроспегеология». – 2012 // Информационный портал. – Режим доступа: [http://www.geomonitoring.ru/sostoyanie\\_nedr.html](http://www.geomonitoring.ru/sostoyanie_nedr.html)
4. Об утверждении требований к описанию и отображению в документах территориального планирования объектов федерального значения, объектов регионального значения, объектов местного значения: приказ Минрегиона РФ от 30.01.2012 № 19 // Информационно-правовой портал «КонсультантПлюс». – Режим доступа: <http://base.consultant.ru>.
5. О состоянии и использовании земель в Российской Федерации в 2013 году: Гос. доклад // Информационно-правовой портал «КонсультантПлюс». – Режим доступа: <http://base.consultant.ru>.
6. Сведения о чрезвычайных ситуациях в государствах – участниках СНГ в 2011 г. Научно-исследовательский институт пожарной безопасности и проблем чрезвычайных ситуаций МЧС Республики Беларусь // Международный совет по чрезвычайным ситуациям природного и природно-техногенного характера. 2012.
7. Смирнова О.О. Правовые основы стратегического планирования в Российской Федерации: монография. – М.: Издательский Дом «Наука», 2013.
8. Volume 5. Urban Geology, Sustainable Planning and Landscape Exploitation. Proceedings of IAEG 2014 Congress Springer, 2015.

## **МЕТОДЫ ЛАБОРАТОРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ СВЯЗНЫХ ГРУНТОВ: СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ НА ОСНОВЕ СОВРЕМЕННЫХ НАУЧНЫХ ПРЕДСТАВЛЕНИЙ**

**В.Н. Кутергин, Р.Г. Кальбергенов, Ф.С. Карпенко**

Институт геоэкологии им. Е.М. Сергеева РАН, 101000, г. Москва, Уланский пер., 13, стр. 2.  
E-mail: vank@bk.ru

Основной задачей инженерно-геологических изысканий является оценка свойств грунтов оснований и прогноз их возможного изменения в процессе строительства и эксплуатации. Решение задачи, в частности, предусматривает обязательный анализ результатов лабораторных исследований. В лабораторных условиях возможно проводить испытания грунтов в природном напряженно-деформированном состоянии и моделировать нагрузки и деформации, которые может испытывать грунт при различных воздействиях. Все это, однако, дает достоверные результаты только при условии, что исследования основываются на современных методиках, учитывающих, как влияние разнообразных внешних воздействий, так и ответную реакцию грунтов [4]. Для определения наиболее совершенных методик необходимо провести анализ и выявить, какие из них соответствуют современным представлениям о строении, генезисе грунтов, условиям формирования и закономерностям изменения их свойств, оценить основные недостатки других методик и определить пути их совершенствования.

Наиболее распространенные виды исследований, на практике применяемые большинством грунтовых лабораторий, – это определение гранулометрического состава, физических, механических и химических свойств дисперсных грунтов в условиях действия статических нагрузок, причем наибольшие сложности возникают при исследованиях свойств связных дисперсных грунтов. В основном, такие исследования проводятся по методикам, регламентируемым Российской нормативной системой ГОСТ, и именно они должны быть рассмотрены в первую очередь. Кроме того, существенные новации содержат методики иностранных нормативных документов и научно-методические разработки, многие из которых могут в большей мере соответствовать современным научным требованиям к лабораторным исследованиям.

*Определение гранулометрического состава* в отечественных и иностранных нормативных документах базируется на одних и тех же принципах – определение весового содержания в грунте частиц различного размера ситовым и ареометрическим методом. Вопросы сопоставления результатов определений, выполненных по различным методикам, были подробно рассмотрены авторами ранее [7]. Основные противоречия заключаются в размерностях определяемых фракций. Вступившая недавно в действие новая редакция ГОСТ 12536-2014 формально снимает основное противоречие меж-

ду ГОСТ и иностранными стандартами, заключавшееся в различной размерности глинистых частиц. В ГОСТ 12536, как и в иностранных нормативах, определение содержания частиц пылеватой и глинистой фракций основано на применении закона Стокса. Этот закон описывает свободное падение в вязкой среде тела, имеющего форму шара, и его применение к пылеватым и, особенно, глинистым, зачастую анизотропным, частицам грунтов, в общем случае неправомерно. В научной литературе уже появился ряд публикаций, поднимающих и рассматривающих этот вопрос [3]. В то же время, сейчас появились новые методы исследований, позволяющие определять размер слагающих грунт частиц. Это такие методы, как рентгеновская и лазерная спектрометрия, определение размерности частиц грунта в которых основано на анализе спектра поглощения или отражения излучения различных источников. Применение на практике таких методов позволит значительно повысить точность и достоверность результатов испытаний.

*Физические свойства* дисперсных грунтов определяются различными нормативами практически идентично и методики их определения не требуют какого-либо пересмотра. Исключение составляют методики определения показателей пластичности. Необходимо отметить, что пластичность грунтов в нормативных документах относится к их физическим свойствам, хотя, по своей сути, она является физико-химическим свойством материала. Проблемы сопоставления результатов показателей пластичности, выполненных по различным нормативным методикам, были подробно рассмотрены авторами ранее [7]. В целом, можно сказать, что прямое сопоставление этих результатов не может быть проведено, что обусловлено различными методами определения характеристик состояния грунтов. Вопрос же о том, какая из существующих методик наиболее достоверно характеризует влажность связных грунтов на границах между текучим, пластичным и твердым состоянием, может быть решен только в результате определения сил контактных взаимодействий в глинистых грунтах. Физико-химическая природа пластичности глин заключается в том, что их состояние определяется преобладающим типом контактов между частицами, каждый из которых характеризуется различной силой взаимодействий.

*Механические и физико-химические свойства* дисперсных грунтов определяются, главным образом, в условиях одноплоскостного среза, компрессионного и трехосного сжатия.

Испытания грунтов методом *одноплоскостного среза* применяются для определения их прочностных свойств. Методики испытаний, принятые в отечественном и иностранных стандартах, были подробно рассмотрены авторами ранее [5]. Было показано, что принятые методики не позволяют достоверно моделировать напряженно-деформированное состояние грунтов в естественном залегании и под действием различных нагрузок, что, в общем случае, приводит к существенному искажению результатов испытаний. Авторами была разработана и предложена методика недренированного сдвига, принятая в ИГЭ РАН в качестве стандарта предприятия [10] и позволяющая устранить выявленные недостатки. В последней же редакции ГОСТ 12248-2010

регламентируется проведение испытаний на срез по методикам, неизменным по сравнению с предшествующими редакциями. Единственное существенное изменение в актуализированной редакции ГОСТ 12248-2010 касается определения скорости приложения касательных нагрузок в процессе испытаний. Аналогично тому, как это предусмотрено в Британском стандарте BS 1377/1990, скорость деформирования грунта определяется по результатам его испытаний на консолидацию с таким расчетом, чтобы в процессе испытания в грунте не возникало поровое давление. Такое положение не может не вызывать множества вопросов, так как оно касается только свободной воды в грунтах, а влияние воды гидратных пленок минеральных частиц не рассматривается. В процессе же консолидации грунта происходит частичное закрытие его свободных пор и отжатие воды, заполняющей их. Поровое давление, возникающее при приложении дополнительных сдвиговых нагрузок, в консолидированном глинистом грунте зависит от толщины диффузного слоя ДЭС частиц грунта и изменения микроструктуры грунта под действием этих нагрузок. Величина порового давления и его диссипация зависят от строения грунта, его микроструктуры, контактных взаимодействий физико-химической природы, и не могут определяться при его консолидации, а должны измеряться в процессе испытаний, что позволит получать более достоверное представление о строении грунта и его свойствах. Наряду с этим, испытания глинистых грунтов методом одноплоскостного среза позволяют получать параметры их длительной прочности, что также получило свое отражение в стандарте предприятия ИГЭ РАН [10].

Испытания грунтов в условиях *компрессионного сжатия* проводятся, в соответствии с нормативами ГОСТ 12248-2010, для определения деформационных и свойств грунтов, обусловленных физико-химическими процессами в них. Определение деформируемости грунтов методом компрессионного сжатия имеет множество недостатков, приводящих к искажениям результатов испытаний и это неоднократно отмечалось в научной литературе различными авторами [1, 8]. В принципе, это косвенно подтверждается и в действующей редакции ГОСТ 12248-2010, не предусматривающей определения модуля общей деформации при компрессионном сжатии, вместо которого введены понятия одометрического модуля и модуля при компрессионных испытаниях, суть которых не объяснена. В иностранных стандартах деформационные свойства грунтов методом компрессионного сжатия не определяются и, по мнению авторов, так же они должны быть исключены из отечественной практики инженерно-геологических изысканий. Определение физико-химических свойств грунтов в условиях компрессионного сжатия регламентируется нормативами ГОСТ 12248 (консолидация, просадочность, набухание и усадка, суффозионное сжатие) и ГОСТ 25584-90 (проницаемость). При определении параметров консолидации аналогично методикам ASTM D 2435-04 предусматриваются различные схемы обработки результатов испытаний. В отличие от ASTM, где указывается, в каких случаях применяется каждый из методов, в ГОСТ 12248-2010 такие условия не оговариваются, что делает процедуру испытаний в значительной степени неопределенной и неоднозначной.

Методика определения проницаемости глинистых грунтов ГОСТ имеет ряд существенных недостатков, приводящих к существенному искажению результатов исследований. Для проведения испытаний на проницаемость предпочтительно применение методики ISO/TS 17892-11, основные преимущества которой, по сравнению с ГОСТ, заключаются в следующем: испытания проводятся при постоянном градиенте напора, превышающем начальный градиент фильтрации грунта; при испытаниях измеряется не расход воды, а объем жидкости, профильтрованной через грунт; в процессе опыта контролируется соответствие характера фильтрации закону ламинарной фильтрации Дарси. Испытания дисперсных грунтов в условиях компрессионного сжатия позволяют определять и другие характеристики их свойств, не предусмотренные нормативами ГОСТ. К ним относится, например, методика определения параметров избыточного порового давления, регламентируемая нормативом ПиНАЭ-5.10-87.

Испытания грунтов в условиях *трехосного сжатия* регламентируются ГОСТ 12248-2010 и проводятся только для определения их деформируемости и прочности по трем стандартным схемам нагружения. При подготовке образцов к испытаниям, аналогично BS 1377/1990, предусмотрено проведение реконсолидации грунта. В отличие от BS 1377, предусматривающего, в каких случаях это целесообразно, реконсолидация по ГОСТ 12248 должна проводиться для всех разновидностей грунтов. Проведение реконсолидации скорее всего оправдано для водонасыщенных слабых (текучих, текучепластичных) грунтов, например для донных отложений. В случае плотных твердых глинистых грунтов с прочными переходными и фазовыми контактами это совершенно не правомочно и может приводить только к искажению исходной микроструктуры грунта. Вода в таких грунтах находится главным образом в гидратных пленках частиц и прочно связана с ними, оттока воды при извлечении керна и снятия геостатического давления на грунт происходить не может. Определение скорости деформирования образца во время испытания, аналогично испытаниям на срез, проводится по результатам его консолидации. Особенности и недостатки такого подхода были рассмотрены выше. Методики испытаний грунтов в условиях трехосного сжатия, предусмотренные ГОСТ, значительно ограничивают область применения этого метода, возможности которого существенно шире. Кроме стандартных схем нагружения, существуют и другие, позволяющие более достоверно моделировать нагрузки, которые будет испытывать грунт в реальных условиях. К ним относится, например, метод анизотропного сжатия, проведение которого регламентируется нормативом ПиНАЭ-5.10-87. Испытания в условиях трехосного сжатия позволяют определять параметры длительной прочности глинистых грунтов методом релаксации напряжений. Методика таких испытаний была подробно описана авторами ранее [2, 6] и в настоящее время принята в ИГЭ РАН в качестве стандарта предприятия [9]. Условия трехосного сжатия позволяют определять не только механические, но и свойства грунтов, в основе которых лежат физико-химические процессы. Это, в первую очередь, параметры консолидации и проницаемости. Испытания проводятся аналогично тому, как

это было рассмотрено для компрессионного сжатия, но при этом, в образце создается напряженное состояние, существующее в грунте в естественных условиях, или которое возникнет в нем в процессе строительства и эксплуатации сооружений. Это позволяет наиболее объективно смоделировать напряженное состояние грунта и определить характеристики его консолидации и проницаемости. Такой подход положен в основу стандарта предприятия ИГЭ РАН [11] на определение параметров проницаемости грунтов в условиях трехосного сжатия.

Проведенный анализ показывает, что действующая нормативная база ГОСТ, на основании которой проводятся лабораторные исследования свойств дисперсных связных грунтов большинством грунтоведческих лабораторий, далеко не в полной мере соответствует современным представлениям о строении, генезисе грунтов, условиям формирования и закономерностям изменения их свойств. Во многих случаях испытания, проводимые по действующим нормативам, не позволяют достоверно моделировать реальное напряженно-деформированное состояние грунта, определять его реакцию на различные воздействия и прогнозировать изменение свойств в результате этих воздействий. Можно утверждать, что из всех рассмотренных, только нормативы, регламентирующие определение физических свойств, параметров просадочности, набухания, усадки и суффозионного сжатия могут применяться в полной мере и не требуют пересмотра и уточнений. Подавляющее же большинство свойств дисперсных связных грунтов наиболее достоверно может быть определено на основании методик исследований, описанных в зарубежных стандартах, ведомственных нормах, стандартах предприятий или научно-методических разработках. Все это свидетельствует о необходимости развития нового поколения нормативной базы и совершенствования ее системы, основанных на всестороннем научном анализе существующих документов. К сожалению, активно проводимая в настоящее время актуализация стандартов, очевидно, зачастую проводилась формально, без такого анализа, что неизбежно приводило к ухудшению и искажению существовавших нормативов. Бесспорно, современные представления о строении глинистых грунтов требуют разработки новых методик исследования их свойств на микроуровне, уровне слагающих их минеральных частиц. Без разработки современной научно-методической базы испытаний грунтов все новые данные об их природе, строении и свойствах так и не смогут быть реализованы в практике инженерно-геологических изысканий.

#### Литература

1. Антонова Е.В., Бондаренко Н.А., Васильев Ю.П., Любимова Т.В. О сравнении компрессионных и штамповых модулей деформации. // В сб. Сергеевские чтения. Научное обоснование актуализации нормативных документов инженерно-геологических и инженерно-экологических изысканий. Вып. 12. М.: РУДН. 2010. С. 305–310.
2. Григорьева Л.В., Кальберген Р.Г., Карпенко Ф.С. Методика определения длительной прочности глинистых грунтов методом релаксации напряжений // Сергеевские чтения.

Вып. 15. «Устойчивое развитие: задачи геоэкологии: инженерно-геологические, гидрогеологические и геокриологические аспекты». М.: РУДН, 2013. С. 28-33.

3. *Здобин Д.Ю., Семенова Л.К.* О гранулометрическом анализе глинистых грунтов: лазерные и классические методы // Геоэкология. Инженерная геология. Гидрогеология. Геокриология. 2011. № 6. С. 560–567.

4. *Кутергин В.Н., Кальбергенов Р.Г., Афонин А.П.* Комплексные исследования свойств грунтов оснований высотных сооружений // Уникальные и специальные технологии в строительстве, М., 2006. 1(4).

5. *Кутергин В.Н., Кальбергенов Р.Г., Карпенко Ф.С., Седов В.В.* Новые технологии испытаний грунтов на сдвиг // Сергеевские чтения. Научное обоснование актуализации нормативных документов инженерно-геологических и инженерно-экологических изысканий. Вып. 12. М.: РУДН, 2010. С. 366-372.

6. *Кутергин В.Н., Кальбергенов Р.Г., Карпенко Ф.С., Леонов А.Р., Мерзляков В.П.* Определение реологических свойств глинистых грунтов методом релаксации // Основания, фундаменты и механика грунтов. 2013. №1. С. 2-5.

7. *Осипов В.И., Карпенко Ф.С., Кальбергенов Р.Г., Кутергин В.Н.* Гармонизация отечественного и зарубежных стандартов по классификации дисперсных грунтов // Геоэкология. Инженерная геология. Гидрогеология. Геокриология. 2012. № 2. С. 102-125.

8. *Осипов В. И., Карпенко Ф. С., Румянцева Н. А.* Активная пористость и ее влияние на физико-механические свойства глинистых грунтов // Геоэкология. 2014. № 3. С. 262-269.

9. Стандарт организации СТО 93.020-2013/6 Лабораторные определения длительной прочности глинистых грунтов методом релаксации напряжений при трехосном сжатии [Электронный ресурс] – Режим доступа: [http://geoenv.ru/materials/standards/sto-2013-6\\_long-term-strength.doc](http://geoenv.ru/materials/standards/sto-2013-6_long-term-strength.doc)

10. Стандарт организации СТО 93.020-2013/7 Лабораторные испытания дисперсных грунтов методом недренированного одноплоскостного среза с замером порового давления [Электронный ресурс] – Режим доступа: [http://geoenv.ru/materials/standards/sto-2013-7\\_section.doc](http://geoenv.ru/materials/standards/sto-2013-7_section.doc)

11. Стандарт организации СТО 93.020-2013/8 Лабораторные определения параметров проницаемости дисперсных грунтов методом трехосного сжатия [Электронный ресурс] – Режим доступа: [http://geoenv.ru/materials/standards/sto-2013-8\\_penetrability.doc](http://geoenv.ru/materials/standards/sto-2013-8_penetrability.doc)

## **О ПРОБЛЕМАХ САМОРЕГУЛИРОВАНИЯ В ИНЖЕНЕРНЫХ ИЗЫСКАНИЯХ ДЛЯ СТРОИТЕЛЬСТВА**

**С.Е. Лукина, Л.И. Подкорытова, К.Г. Пшеничников**

ЗАО «УралТИСИЗ», 620075, г. Екатеринбург, ул. Бажова, 79. E-mail: [uraltisiz@epn.ru](mailto:uraltisiz@epn.ru)

Строительная деятельность, включая изыскательскую, переведена с 2009 г. на саморегулирование, для этого были внесены многочисленные изменения в Градостроительный кодекс Российской Федерации (далее – ГрК РФ), приняты соответствующие нормативные акты на уровне правительства страны, федеральных министерств и агентств. В целях совершенствования системы саморегулирования внесение изменений и поправок в законодательные и нормативные акты продолжается до настоящего времени, но, тем не менее, не исключены причины ряда негативных явлений, возникших при пе-



переходе строительной отрасли на саморегулирование. В частности, в области инженерных изысканий они выразились в:

- появлении «коммерческих» саморегулируемых организаций, которые за небольшие деньги выдают допуски на работы любым заявителям;
- появлении организаций-«однодневок», не имеющих квалифицированных специалистов, необходимого оборудования, финансовых ресурсов для выполнения работ;
- демпинге цен на изыскательские услуги;
- незаконном использовании результатов и материалов ранее выполненных изысканий, зачастую с представлением чужих результатов как своих, вновь полученных;
- практическом отсутствии модернизации изыскательской техники и т.д.

Закономерно, что эти негативные явления отрицательным образом сказались на качестве изыскательских работ. И оно будет ухудшаться при сохранении статус-кво, поскольку идет вымывание с рынка изыскательских услуг добросовестных подрядчиков, обладающих кадрами и относительно неплохой по меркам России материальной базой, которым трудно выжить в условиях демпинга цен недобросовестными конкурентами и фирмами-«однодневками».

Основываясь на многолетнем опыте изыскательской деятельности авторы доклада предлагают ряд изменений в действующие законодательные и нормативные акты, которые, по их мнению, могут исключить лазейки, используемые недобросовестными предпринимателями в строительной сфере в существующих условиях саморегулирования.

Первым в этом ряду стоит вопрос изменения пункта 1 части 8 статьи 55.5 ГрК РФ, устанавливающего минимально необходимое требование к выдаче саморегулируемой организации (далее – СРО) свидетельства о допуске к работам, которые оказывают влияние на безопасность объектов капитального строительства. Оно заключается в наличии у юридического лица (далее – ЮЛ), индивидуального предпринимателя (далее – ИП) работников, имеющих высшее (не менее 3 работников) или среднее (не менее 5 работников) профессиональное образование соответствующего профиля для выполнения определенных видов работ и стаж работы по специальности не менее чем 3 и 5 лет соответственно.

Как известно, общее количество изыскательских организаций (ЮЛ, ИП) в 2015 г. составляет более 12500, что в 2.5 раза превышает их количество до введения саморегулирования. Это не обусловлено значительным притоком в изыскания новых кадров, а только тем, что одни и те же специалисты числятся как работники-совместители в 2-3 ИП и/или ЮЛ, иногда даже не зная об этом и не давая согласия на работу там. Иными словами, это «мертвые души» и «мертвые ИП и ЮЛ» на современный лад.

Исключить такое положение, по нашему мнению, возможно, если обязать ИП, ЮЛ иметь минимально необходимое количество работников ***в штате по основному месту работы, т.е. на постоянной основе***, для

каждого вида изысканий (например, 3). Это же требование должно распространяться на филиалы и представительства организации, если таковые имеются и располагаются не в регионе базирования головной организации, а в других областях, краях, республиках и зарубежье – 3 специалиста головной организации не способны физически осуществить изыскания во всех филиалах, от Калининграда до Камчатки, и выдать качественную изыскательскую продукцию.

Следующее. В части 1 статьи 48.1 ГрК РФ перечислены особо опасные и технически сложные объекты капитального строительства, среди них – объекты использования атомной энергии, гидротехнические сооружения 1 и 2 классов, объекты космической и авиационной инфраструктур, метрополитены, опасные производственные объекты, подлежащие регистрации в государственном реестре в соответствии с законодательством РФ о промышленной безопасности опасных производственных объектов, и др. В соответствии с ГОСТ 27751-2014 «Надежность строительных конструкций и оснований. Основные положения» все особо опасные и технически сложные объекты классифицируются как сооружения класса КС-3 с повышенным уровнем ответственности.

В Постановлении Правительства РФ от 24.03.2011 № 207, которым установлены минимально необходимые требования к выдаче СРО свидетельств о допуске к работам на особо опасных и технически сложных объектах капитального строительства, иной подход: эти объекты поделены на две группы – объекты использования атомной энергии и все остальные особо опасные и технически сложные объекты (кроме объектов использования атомной энергии). При этом содержание требований, которым должны отвечать претенденты на получение свидетельств о допуске к работам на этих объектах, имеющих один и тот же класс и уровень ответственности, различаются, и весьма существенно по кадровому составу.

Относительно инженерных изысканий, эти требования изложены в приложениях № 3 и № 6 к Постановлению: в № 3 – для изысканий на объектах использования атомной энергии, в № 6 – для изысканий на всех других особо опасных и технически сложных объектах, исключая объекты использования атомной энергии. Остановимся только на отличиях в требованиях к кадрам:

– по приложению № 3 требуется наличие работников *в штате по основному месту работы*, их минимальное количество составляет 10 человек на 1 вид изысканий, включая 2 руководителей ЮЛ, 3 руководителей структурных подразделений ЮЛ, 2 специалистов-полевики, 3 рабочих не ниже 4 разряда; минимум 5 человек из состава руководителей и специалистов должны иметь высшее профессиональное образование, 2 человека могут быть со средним профессиональным образованием, стаж работы не менее 5 лет в области строительства (руководители) и изысканий (остальные специалисты);

– по приложению № 6 требуется наличие работников *в штате*, их минимальное количество на 1 вид работ изысканий составляет 5 человек для

ЮЛ (2 руководителя и 3 специалиста) и 4 человека для ИП (1 ИП и 3 специалиста), все с высшим профессиональным образованием соответствующего профиля и стажем работы не менее 5 лет.

Как видно, требование по приложению № 6 имеет существенное отличие от требования приложения № 3 и мало чем отличается от ранее приведенного требования пункта 1 части 8 статьи 55.5 ГрК РФ, распространяющегося на работы для объектов нормального уровня ответственности (минимум работников от 3 с высшим до 5 со средним профессиональным образованием соответствующего профиля, снижено требование по стажу до 3 лет для работников с высшим образованием).

Таким образом, не имея ни одного специалиста по основному месту работы, ИП или ЮЛ имеет право получить свидетельство о допуске и выполнять изыскания для проектирования, например, гидротехнических сооружений, метрополитена, объектов авиационной инфраструктуры и т.д.

Полагая требование к кадровому составу в приложении № 6 к Постановлению Правительства РФ от 24.03.2011 г. № 207 существенно заниженным, авторы доклада считают, что оно должно быть точно таким же, как в приложении № 3 указанного Постановления. Такое изменение исключит возможность получения свидетельств о допуске на выполнение инженерных изысканий на всех особо опасных и технически сложных объектах неподготовленными организациями и ИП и обеспечит повышение качества изысканий и безопасность объектов.

Большую роль на рынке изыскательских услуг играет Федеральный закон ФЗ-44 от 05.04.2013 г. «О контрактной системе в сфере закупок товаров, работ, услуг для обеспечения государственных и муниципальных нужд». В соответствии со статьей 32 ФЗ-44 заказчики обязаны устанавливать стоимостные и нестоимостные критерии к участникам закупок, при этом количество критериев должно быть не менее 2. Относительно изыскательских работ стоимостной критерий один – цена контракта, а в качестве нестоимостного критерия рассматривается квалификация участников закупки, в том числе наличие у них финансовых ресурсов, оборудования и других материальных ресурсов, специалистов и иных работников определенного уровня квалификации, опыта работы, связанного с предметом контракта, и деловой репутации.

Подаваемые участниками закупок (конкурсов) заявки, предложения оцениваются в соответствии с Правилами, утвержденными Постановлением Правительства РФ от 28.11.2013 г. № 1085. Согласно пункту 11 Правил значимость критериев оценки должна устанавливаться в зависимости от закупаемых работ и услуг согласно Приложению к Правилам, в котором приведены предельные величины значимости – минимальная значимость стоимостных критериев и максимальная значимость нестоимостных критериев. Изыскательские и проектные работы в данном Приложении к Правилам относятся к работам и услугам, минимальная значимость стоимостных критериев которых должна составлять не ниже 60%, а максимальная значимость нестоимостных критериев – не превышать 40%.

Авторы доклада полагают, что проектные и изыскательские работы сопоставимы с выполнением научно-исследовательских, опытно-конструкторских или технологических работ, и поэтому должны быть включены вместе с указанными выше работами в одну строку пункта 3 «Отдельные виды товаров, работ, услуг» Приложения. В этом случае минимальная значимость стоимостных критериев оценки для проектных и изыскательских работ будет снижена до 20%, а максимальная значимость нестоимостных критериев оценки повышена до 80%. Этим изменением будет повышена конкурентная способность добросовестных, опытных, надежных изыскателей при проведении государственных закупок.

В соответствии с частью 6 статьи 47 ГрК РФ Правительством РФ должен быть установлен порядок формирования и ведения государственного фонда материалов и данных инженерных изысканий, но по прошествии 10 лет со времени принятия Кодекса этот порядок не принят. Подготовленный в 2014 г. Национальным объединением изыскателей проект постановления по фонду, по-видимому, не нашел поддержки в Правительстве.

В результате неопределенности с государственным фондом исполнители изысканий прекратили сдавать технические отчеты по выполненным работам в большинство территориальных подразделений фонда, еще сохранившихся при территориальных организациях, которым Госстроем РФ были поручены функции по ведению государственного фонда. В соответствии со статьей 51 ГрК РФ копии отчетов с результатами инженерных изысканий должны передаваться застройщиками в органы власти, выдавшие разрешение на строительство, для размещения в информационной системе обеспечения градостроительной деятельности. Но эти органы практически не имеют профильных специалистов по инженерной геологии, геоэкологии, которые могли бы заниматься обработкой и обобщением поступающей инженерно-геологической, экологической информации.

Таким образом, государственный фонд материалов и данных изысканий на сегодня в большинстве регионов не досчитывается тысяч единиц технических отчетов, не ведет изученность территорий, не имеет финансирования и возможности составлять или обновлять инженерно-геологические и экологические карты различного содержания и т.д. Ситуация требует исправления сложившегося положения по данному вопросу.

Исторически сложившееся в нашей стране подчиненное положение инженерных изысканий внутри строительной отрасли, в которой только начала выстраиваться система саморегулирования, обусловило тот факт, что в условиях финансового кризиса именно изыскатели, по сравнению с проектировщиками и строителями, оказались в наихудшем положении. По разным оценкам в России сегодня стоимость инженерных изысканий снизилась (относительно советского периода и даже 90-х годов XX века) и не превышает сотые доли процента от стоимости строительства объекта, тогда как в развитых странах она колеблется от 7-8 до 17-18 % в зависимости от вида и назначения объекта. Инвесторы, застройщики должны понять, что дешевые изыскания не обеспечивают получение полноценных, качественных результатов

и ведут в конечном итоге только к необоснованному удорожанию строительства объектов: затраты на строительство (усиление фундаментов, дополнительные расходы на цемент, металл и т.д.) в десятки раз больше сэкономленных на изысканиях сумм.

При таком демпинге цен изыскательские организации, стремящиеся работать в соответствии с требованиями законодательных, нормативных и технических документов, поставлены на грань выживания, вынуждены сокращать специалистов, экономить на приобретении современного оборудования и программных средств для выполнения работ и обработки материалов и данных.

Необходимо принятие мер, оздоравливающих отрасль, дающих шансы на развитие инженерных изысканий, внедрение новых методов и современных технических средств для их выполнения. По мнению авторов, решение рассмотренных в докладе вопросов, будет способствовать повышению эффективности саморегулирования и выведению инженерных изысканий из кризисного состояния.

## **О ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКОМ ОБОСНОВАНИИ ПРОЕКТОВ ОСОБО ОХРАНЯЕМЫХ ПРИРОДНЫХ ТЕРРИТОРИЙ**

**М.С. Орлов**

Геологический факультет Московского государственного университета, Москва,  
Воробьевы горы, 1. E-mail: orlov1940@mail.ru

Особо охраняемые природные территории (ООПТ) в Москве представлены: национальным парком «Лосиный Остров», 8 заказниками, 11 природно-историческими парками и 100 памятниками природы. Согласно ФЗ № 33 от 14.03.1995 г. ООПТ это – «участки земли, водной поверхности и воздушного пространства над ними...». В этом, как представляется – слишком коротком, определении отсутствуют важные для существования ООПТ компоненты – геологический субстрат, подземные воды и собственно толща поверхностных вод. Понятно, что именно природные воды (а не только и не столько их поверхность) определяют основные процессы развития экосистем суши. В этом определении не нашли своего места подземные воды, которые являются основным фактором большинства экзогенных процессов: оползания склонов, подтопления земель, карстово – суффозионных провалов, иссушения торфяных болот и других.

Если жизнь на Земле возникла в виде экосистемы, то и существует она тоже в форме экосистемы со своими внутренними и внешними связями и закономерностями. Перенос вещества, энергии и информации между компонентами экосистем осуществляется водными растворами. Отсюда следует,

что благополучное развитие ООПТ возможно только в форме экосистемы, в границах естественных экосистем. Естественные границы экосистем суши – водоразделы между малыми речками. Можно отождествить водосборный бассейн реки с экосистемой в определенных масштабах. Проектирование в городе ведется в масштабах карт и планов 1: 5000 и 1:2000. В этих масштабах площади водосборов малых рек в Москве составляют ориентировочно от 6 до 40 км<sup>2</sup>. Косвенно эти цифры подтверждает карта восстановленной гидрографической сети Москвы Ю.А.Насимовича [1]. При площади Москвы 800 км<sup>2</sup> (в пределах МКАД) малых рек насчитывается около 80, что определяет усредненный размер водосборного бассейна 10 км<sup>2</sup>.

Понятно, что в естественной, устойчивой экосистеме нет главных и нет второстепенных компонентов, – именно это является ее основным свойством (неиерархичность). Поэтому излишним становится понятие «окружающая среда». Социальные (человек и общество), биотические (растения, грибы, животные) и абиотические компоненты (воздух, поверхностные и подземные воды, почвы), вместе со связями между ними образующие экосистему, солидарно определяют ее существование и устойчивость к внешним воздействиям. Под внешним воздействием в большинстве случаев следует понимать инженерное сооружение в процессе строительства и эксплуатации. Такими инженерными сооружениями в городах и их окрестностях могут быть: здания, коммунальные и транспортные сооружения, водозаборы подземных вод, дренажи, свалки, промплощадки, кладбища, карьеры и котлованы, тоннели и т.п. [2]. Внешними воздействиями инициируются негативные и даже опасные процессы, снижающие устойчивость экосистем: инверсия напоров при эксплуатации подземных вод, подтопление и иссушение земель, оползни, просадки, суффозия, загрязнение, рубки главного пользования и пожары в лесах и на болотах, интродукция биотических компонентов, водные мелиорации, уплотнение и разуплотнение грунтов при строительстве, влияние физических полей (теплого, электромагнитного, вибрационного, акустического и др). Целесообразно отметить, что в основе протекания этих процессов находятся природные, т.е. подземные и поверхностные воды.

Следовательно, при проектировании ООПТ необходимо выявить экологически важные характеристики всех водных объектов, как естественных, так и искусственных. Реки и озера со своими донными накоплениями, болота с толщами торфов реализуют свои функции транзита и депонирования. Но каналы и пруды, так же как и взятые в трубы или засыпанные городские речки и ручьи реализуют те же функции. Под руслами и тальвегами канализованных речек, ручьев и оврагов сохраняется подрусловой поток, дренирующий грунтовые воды с правого и левого берегов. Подрусловые потоки характерны и для засыпанных рек. Именно они являются местами проявления опасных суффозионных явлений.

От глубины залегания, режима уровней грунтовых вод и от их состава и свойств зависит, прежде всего, влажность и водонасыщенность почв, их способность быть плодородными. Понятно, что сколько бы гумуса ни содержала почва, без воды она бесплодна. Подземные воды и инфильтрация, их

питающая, способны промывать загрязненные почвы. Поверхностные воды, в половодья покрывающие пойменные почвы, приносят в них плодородный ил и необходимую органику.

Растительный покров развивается, таким образом, в теснейшей зависимости от гидрогеологических и почвенных условий. Эта зависимость проявляется в поэтапном развитии фитоценозов – сукцессии, на которую в урбанизированных районах накладывается антропогенная дигрессия. Животный мир взаимодействует с растительностью, реализуя экологические связи консументов с продуцентами.

Таким образом, представляется логичным вести районирование, начиная «снизу», т.е. от геологического субстрата с подземными водами, через почвы к растениям и животным. При этом постоянно помнить о том, что атмосферные, поверхностные, почвенные и подземные воды являются агентами, переносящими вещество, энергию и информацию во всей экосистеме.

Проектно-изыскательские организации и, в частности, НИиПИ Генплана Москвы проектируют ООПТ, включая в их состав преимущественно озелененные участки. В результате ООПТ зачастую представляет собой мозаику участков, границы которых экологически не обоснованы. За критерии выбора площадей и их границ берутся ареалы распространения растительных и фаунистических сообществ, наличие «краснокнижных» видов, свободных от застройки территорий. Почвенные и гидрогеологические условия при этом не рассматриваются и не учитываются. Иными словами, проектирование ведется «по заборам», без надлежащего геоэкологического обоснования. Естественные границы экосистем при таком проектировании никак не учитываются и даже теоретически не исследуются.

Исходя из этого, предлагается внести изменения в Градостроительный кодекс РФ, СП-11-102-97 – «Инженерно-экологические изыскания для строительства» и в законы г. Москвы, регламентирующие проектирование ООПТ. Следует учитывать границы экосистем и в общем случае совмещать границы ООПТ с границами сложившихся природно-техногенных экосистем. Обязательными при составлении проектов ООПТ должны являться карты гидроизогипс, гидрогеохимическая и защищенности. Эти карты способны ответить на многие вопросы, возникающие в связи с учреждением ООПТ:

- Откуда, с какой стороны направлен подземный сток к реке, обычно являющейся осью экосистемы,
- Куда движутся потоки грунтовых вод от захороненных свалок, промплощадок, кладбищ и т.п.,
- Как сформированы потоки подпора и как будет развиваться подтопление земель вследствие утечек из подземных водонесущих коммуникаций и из-за барражного эффекта,
- Насколько угрожающим является существующее загрязнение природных вод и как оно будет меняться.
- Насколько значимо влияние подрусовых потоков и потоков в погребенных ложбинах постледникового стока. При этом следует помнить о том,

что даже под засыпанной или взятой в трубу речкой неопределенно долгое время сохраняется подрусловой поток, который взял на себя функции дрены грунтовых вод с обоих берегов.

– Каковы взаимоотношения поверхностных и подземных вод в половодья и в межень.

Важно отметить, что именно гидрогеологические карты позволят понять насколько обоснованы границы водоохранных зон (ВОЗ) и прибрежных защитных полос (ПЗП) у рек и прудов, откроют необходимость их пересмотра и отхода от нормативных методов проектирования. Уйдут из практики проектирования ситуации, когда в угоду никак не обоснованным нормативам Водного кодекса граница ВОЗ проводится по залесенному массиву, по промплощадке, по жилой застройке, по засыпанной свалке и по иным выделам. Проектирование ООПТ в городе получит необходимое научное, экологическое обоснование.

При этом будут нередкими ситуации разработки (обоснования) и реализации сервитутов, т.е. обременений, ограничений в характере использования тех или иных владений и выделов. Например, владелец промплощадки, вошедшей в территорию ООПТ, будет обязан: убрать навалы грунтов, собрать металлолом, ликвидировать бесхозные скважины и шурфы, вести мониторинговые наблюдения под методическим руководством и контролем со стороны Росприроднадзора и Единой Государственной системы экологического мониторинга (ЕГСЭМ).

#### **Литература**

1. Москва: геология и город (под ред. В.И.Осипова и О.П. Медведева). – М.: Изд.: Московские учебники и Картолитография, 1997 г.
2. Орлов М.С., .Питьева К.Е. Гидрогеоэкология городов. М.: ИНФРА-М, 2014 г.
3. Государственный доклад о состоянии окружающей среды в г. Москве. Изд. ДПиООС, 1993–2014 гг.

## **МЕТОДИКА ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКОГО АУДИТА**

**В.В. Пендин, Д.Н. Горобцов, М.Е. Никулина**

Российский государственный геологоразведочный университет им. Серго Орджоникидзе,  
117997, г. Москва, ул. Миклухо-Маклая, д.23. E-mail: office@mgri-rggu.ru.

В настоящее время качество проведения инженерно-геологических изысканий при проектировании зданий и сооружений оставляет желать лучшего. Как правило, это связано либо с ограничением времени, либо с отсут-



ствием полноценных финансовых средств. В свою очередь, государственная экспертиза, целью которой является контроль качества выполнения изысканий, может только оценить соответствие или не соответствие проведенной работы действующим нормативным документам. На это утверждение мы неоднократно слышали в свой адрес несогласия. Но доказательств этому мы можем приложить массу. К примеру: в техническом отчете по пяти произведенным штамповым испытаниям получили значения деформационных свойств грунтов, удовлетворяющих всем требованиям и т.д., и естественно экспертиза принимает данный отчет. Однако, где гарантия, что эти штамповые испытания были реально проведены на объекте, а не «нарисованы»? Вот отсюда и вытекает то самое понятие «качества» проведения инженерно-геологических изысканий.

Таким образом, если требуется оценить профессиональную работу какой-либо строительной или геологической компании, а также их подрядчиков, то действующие процедуры проверки проведения инженерно-геологических изысканий не позволяют нам должным образом это сделать. В связи с этим, нами было предложено ввести новый термин в области инженерной геологии – инженерно-геологический аудит [2].

Инженерно-геологический аудит представляет собой процедуру независимой оценки деятельности геологической или строительной организации, допускающей отклонения от первоначальных проектных решений или сознательное ухудшение качества окончательного продукта. [2]

Актуальность введения данного понятия появилась при возникновении необходимости проверки качества производимых изысканий для предотвращения неблагоприятных последствий при эксплуатации инженерных сооружений, связанных с неверно принятыми проектными решениями. Помимо этого, аудит позволяет оценить качество выполнения работ строительных организаций, руководствующихся результатами изысканий.

Инженерно-геологический аудит или аудиторская проверка осуществляется аудиторами. Аудитор в инженерной геологии – это высококвалифицированный специалист широкого профиля, занимающийся оценкой качества выполнения инженерно-геологических изысканий, проверкой и учетом финансовой отчетности (стоимостью выполненных работ), а также контролирующей проведение изысканий и последующее строительство инженерных сооружений.

Для установления фактов качественной работы организации и производимых ею изысканий аудиторы в ходе своей деятельности осуществляют ряд действий, которые выполняются в определенной последовательности и называются аудиторскими процедурами. Применительно к области инженерной геологии будет актуально понятие контрольной аудиторской процедуры, которая заключается в проверке работоспособности организации. Эту процедуру можно расширить и включить в нее: оценку качества работы организации, оценку внутреннего функционирования организации, оценку соответствия методики проведения изысканий действующим нормативным документам и др.

На основании понятия контрольной аудиторской процедуры нами было введено понятие методики инженерно-геологического аудита (методика – это как правило, некий готовый «рецепт», алгоритм, процедура для проведения каких-либо нацеленных действий [3]).

Результатом применяемой методики аудита является получение инженерно-геологической информации необходимой и достаточной для оценки качества проведенных работ. Инженерно-геологическая информация включает сведения о структуре и свойствах геологической среды (компонентах инженерно-геологических условий) и о ее движении. Для удовлетворения требований полноты и точности инженерно-геологической информации необходима разработка наиболее эффективной методики аудита. В процессе раскрытия понятия инженерно-геологический аудит на примере строительства линейной транспортной системы были разработаны такие понятия, как финансовый и строительный аудит, которые являются составляющими инженерно-геологического аудита. В свою очередь, для финансового и строительного аудита могут быть отдельно разработаны свои соответствующие методики, что является предметом будущих исследований.

Общая методика инженерно-геологического аудита включает в себя различные этапы и может быть дополнена и применена для любого типа сооружения в зависимости от уровня ответственности сооружения, сложности инженерно-геологических условий, стадийности проведения изысканий и др. [2].

Ниже рассмотрена методика инженерно-геологического аудита на примере гидротехнического сооружения.

Планирование и проектирование гидротехнических сооружений осуществляют в основном в две стадии: проект и рабочая документация. Непосредственно в период строительства гидротехнических сооружений, после получения необходимого и достаточного объема инженерно-геологической информации, проектно-изыскательская организация корректирует проект производства строительных работ в случае несовпадения проектных данных с фактическими.

Проведение аудита для обоснования проекта или рабочей документации производится по следующей методике:

1. Изучение основных технических характеристик сооружения.

На данном этапе исследования необходимо ознакомиться с:

- а) типом инженерного сооружения, его основными техническими характеристиками, назначением, уровнем ответственности;
- б) физико-географическим положением;
- в) транспортной доступностью;
- г) инженерно-геологическими условиями.

2. Ознакомление с проектной документацией инженерного сооружения, изучение инженерно-геологических/геокриологических условий, установленных на момент строительства, способами возведения сооружения, используемыми материалами и т.д.

3. Проведение полевых работ, которые включают в себя:

а) инженерно-геологическую съемку (масштаб съемки зависит от стадии изысканий);

б) топогеодезическую привязку горных выработок;

в) проведение горно-буровых работ;

г) отбор образцов грунтов для лабораторных исследований;

д) геофизические исследования;

е) гидрогеологические работы;

ж) полевые испытания грунтов;

На данном этапе необходимо предусмотреть проведение дополнительных работ при проведении аудита в сложных природных условиях (районы распространения многолетнемерзлых пород, районах развития карста; на участках со сложной тектоникой и т.п.).

4. Проведение лабораторных работ.

5. Обработка полученной информации по полевым и лабораторным испытаниям, составление технического отчета, в котором отображаются инженерно-геологические условия, физико-механические свойства горных пород, а также графические приложения в виде графиков, инженерно-геологических разрезов, колонок скважин, таблиц.

6. Сравнительный анализ проектной документации с новыми данными, полученными при инженерно-геологическом обследовании. Подвергаются проверке все инженерно-геологические параметры, которые в силу каких-либо причин могли измениться в процессе строительства и эксплуатации.

7. Проверка соответствия технического отчета требованиям нормативных документов. В настоящее время основными нормативными документами, регламентирующими проведение инженерно-геологических изысканий, являются: СП 47.13330.2012 [6], СП 11-105-97 [5] и его части, а также документ, регламентирующий проведение лабораторных испытаний – ГОСТ 25100-2011 [4]. Аудиторской организацией производится анализ соответствия действий организации и на основе анализа делаются соответствующие выводы и рекомендации.

8. На заключительном этапе формулируются выводы о соответствии полученных результатов исследований первоначальной исходной проектной документации, либо об отклонениях, выраженных в качественной и количественной формах, а также намечаются методы приведения объектов в соответствие с техническим заданием.

В процессе проведения аудиторской проверки по выше указанной методике основной акцент был сделан на следующее:

1. Уточнение геологического строения и гидрогеологических условий.

2. Изучение тектонических условий расположения трассы водоводов, водоприемника и южной части нижнего бассейна (выявление наличия тектонических нарушений в пределах южной части строительства, определение величины зоны дробления и характеристики свойств грунтов данной зоны).

3. Изучение параметров прочности и деформируемости слоистой толщи, которые требуются в расчетах устойчивости склона в зоне расположения водоводов нижнего бьефа и водоприемника нижнего бассейна.

4. Изучение инженерно-геологических процессов.

По результатам полевого описания, лабораторных данных, геофизических исследований и архивных материалов были даны рекомендации по корректировке проекта для разработки рабочей документации.

Согласно приложению «Б» СП 11-105-97 [5] инженерно-геологические условия участка относятся к III (повышенной) категории сложности.

По результатам проведенных изысканий в пределах изучаемой территории юрские отложения были разделены на ИГЭ по литолого-стратиграфическим признакам. С учетом сложности инженерно-геологических условий участка, по усмотрению аудиторской организации, принято решение о разделении юрских пород на пачки, что позволило детально установить соответствие данным, заложенным в проект.

В пределах основания одной из секций водоводов нижнего бьефа было установлено, что грунт в границах работ представлен в основном песчаником зеленовато-серым, мелкозерным, слабыветрелым с тонкими прослоями алевролита. На площади приблизительно  $55 \text{ м}^2$  основание представлено алевролитом темно-серым, тонкослоистым, с тонкими прослоями песчаника, с ходами илоедов. Также было установлено, что на площади приблизительно  $25 \text{ м}^2$  наблюдается выход угля и углистого алевролита. Представленный грунт не соответствует материалам, заложенным в проект. Следовательно, аудиторская организация рекомендует уголь и углистый алевролит удалить. По согласованию с проектной организацией грунт, несоответствующий техническим требованиям заменить бетоном соответствующей марки.

Для изучаемого участка характерна сбросовая тектоника. Отмечается ряд крутых разрывных нарушений субмеридионального, субширотного, северо-западного и северо-восточного направлений. На участке размещения проектируемого водоприемника в юрских отложениях был установлен ряд тектонических нарушений (сбросов средней величины и малые сбросы), которые не были учтены при ранее произведенных работах.

Сопоставление результатов определения прочностных и деформационных свойств грунтов лабораторными и полевыми методами с материалами ранее проведенных изысканий дает возможность сделать вывод о том, что показатели физико-механических свойств грунтов резко отличаются в меньшую сторону. При сравнительно одинаковой плотности грунта песчаники и алевролиты отличаются резким понижением значений предела прочности грунта: по предоставленным материалам для песчаников рекомендованы  $R_{сж} = 19\text{--}21 \text{ МПа}$ , по результатам аудита  $R_{сж} = 12\text{--}14 \text{ МПа}$ . Также резко отличаются значения модуля деформации: по предоставленным материалам  $E = 1000\text{--}2000 \text{ МПа}$  (по напластованию) и  $E = 460\text{--}1000 \text{ МПа}$  (в крест напластования). По материалам изысканий, проведенных аудиторской организацией в крест напластования  $E = 190 \text{ МПа}$  (при естественной влажности) и  $80 \text{ МПа}$  (при полном водонасыщении). Также отмечаются различия в показа-

телях физических свойств пород основания (пониженные значения плотности пород). В связи с вышесказанным, возникают вопросы по качеству грунтового основания. Для этого изыскательской организации рекомендуется выделить зоны тектонического дробления, следует охарактеризовать трещиноватость пород (азимут и угол падения трещин, их протяженность и ширину раскрытия, расстояния между трещинами каждой системы, частоту трещин, блочность), а также должны быть уточнены все параметры свойств грунтов.

С помощью одиночных откачек, нагнетаний, наливов воды в шурфы и скважины была изучена проницаемость коренных пород. Опыты показали, что проницаемость коренных пород полностью зависит от их трещиноватости. При разработке проекта противofильтрационных и дренажных мероприятий в бортах и под днищем нижнего бассейна следует учитывать, что водопроводимость грунтового основания может определяться устойчивой траекторией фильтрации воды по трещине. Закрытие одной водопроводящей трещины или наоборот вынос из неё заполнителя может нарушить траекторию движения воды. Для прогнозирования величины фильтрационных потерь из нижнего бассейна аудиторская организация рекомендует использовать геофильтрационную модель с учетом представленных ею дополнительных данных по трещиноватости грунтового основания.

Использование результатов, полученных аудиторской проверкой, позволило внести существенные изменения в проект проведения инженерно-геологических изысканий на строящемся гидротехническом сооружении, а также оценить качество проведенных полевых и лабораторных работ.

#### Литература

1. Бондарик Г.К. Ярг Л.А. Инженерно-геологические изыскания. М.: КДУ, 2008. 424 с.
2. Пендин В.В., Горобцов Д.Н., Жильцова М.Е. К понятию инженерно-геологический аудит. Сергеевские чтения. Сборник материалов годичной сессии Научного Совета РАН по проблемам геоэкологии, инженерной геологии и гидрогеологии. Выпуск 16. Москва, 2014. 5 с.
3. Всемирная сеть «Internet», [www.wikipedia.ru](http://www.wikipedia.ru)
4. ГОСТ 25100-2011 Грунты. Классификация.
5. СП 11-105-97 Инженерно-геологические изыскания для строительства. Часть I.
6. СП 47.13330.2012. Инженерные изыскания для строительства. Общие положения.

## УКАЗАТЕЛЬ АВТОРОВ

---

---

*Абатурова И.В., Стороженко Л.А., Петрова И.Г., Савинцев И.А.* Строение и закономерности распространения многолетнемерзлых пород в северной геокриологической зоне (на примере г. Салехард), с. 531

*Абдрахманов Р.Ф.* Карст на территории г. Уфы и его активизация под влиянием техногенеза, с. 114

*Абрамова Т.Т.* Выветривание белого камня исторического памятника в городской экосистеме, с. 9

*Абрамова Т.Т., Валиева К.Э.* Упрочнение грунтов цементными растворами с использованием методов высоконапорной инъекции, с. 14

*Аверкина Т.И., см. Коломийцев Н.В., с. 58*

*Алексеев В.А., см. Кочев Д.З., с. 305*

*Алексеев С.В., см. Кочев Д.З., с. 305*

*Алёшин А.Р., см. Чернов М.С., с. 105*

*Андреева Е.В.* Отходы сжигания Ирша-Бородинских углей как техногенные грунты оснований, с. 19

*Аникеев А.В.* Использование представлений об аккумуляционной емкости закарстованных пород для прогноза устойчивости особо ответственных сооружений, с. 119

*Анохин В.М., см. Зеленковский П.С., с. 45*

*Антонова И.А., см. Гуман О.М., с. 482*

*Аракелян Ф.О., см. Попова О.Г., с. 193*

*Аранбаев Т.А., см. Воронцов Е.А., с. 727*

*Арзамасцев В.А.* Трансформация химического состава дренажного стока на медноколчеданном месторождении (Средний Урал), с. 440

*Архипова Е.В., Жигалин А.Д., Дмитрук Н.И., Власова А.И.* Линейные аномалии техногенных низкочастотных электромагнитных полей малых городов, с. 235

- Архипова Е.В., см. Жигалин А.Д., с. 289*
- Арынова Ш.Ж., Рихванов Л.П., Соктоев Б.Р., Барановская Н.В. Региональная особенность элементного состава солевых отложений питьевых вод (Байкальский регион и Павлодарская область), с. 380*
- Аузина Л.И., см. Лоншаков Г.С., с. 516*
- Бабаева М.В., Харькина М.А. Закономерности образования биогаза в массивах грунтов на территории гражданского строительства (на примере Московского региона), с. 239*
- Балыкова С.Д., Колина Е.С., Толстов П.С. Особенности песчаных пород вулканических областей (на примере Камчатки), с. 24*
- Барaboшкина Т.А., Самарин Е.Н., Белютина В.С. Геоэкологические особенности района Воробьевых гор (Москва, Россия), с. 244*
- Барановская Н.В. см. Арынова Ш.Ж., с. 380*
- Барановский А.Г. Влияние минерального и химического состава элювиальных глинистых грунтов на их физические свойства, с. 28*
- Барская Т.В., см. Фролова Н.И., с. 230*
- Барышников В.И., Камалов В.Г. О геодинамике «Уфимского полуострова», с. 248*
- Батрак Г.И. Критические замечания к численным гидрогеологическим прогнозам для городских территорий, с. 445*
- Батрак Г.И., Галицкая И.В., Дорошко А.Л., Коробейников Б.И. Изучение факторов геоэкологического риска в горнодобывающих районах России и Беларуси, с. 449*
- Батрак Г.И., Костикова И.А., Позднякова И.А., Карфидова Е.А., Томс Л.С. Сложности и перспективы гидрогеологического обоснования дренажа в тоннелях глубокого заложения (на примере Алабяно-Балтийского тоннеля в Москве), с. 454*
- Белобородов А.В. Инженерно-геологическое районирование побережий Саратовского водохранилища, с. 253*
- Белобородов Р.М., см. Чернов М.С., с. 105*
- Белоусова А.П. Усовершенствование методики оценки защищенности подземных вод от загрязнения, с. 460*

- Белоусова А.П., Руденко Е.Э., Миняева Ю.В., Кандина М.А.* Среднемасштабная оценка уязвимости подземных вод от загрязнения чернобыльскими радионуклидами, с. 465
- Белютина В.С., см. Барабошкина Т.А., с. 244*
- Беляев В.Л.* Вопросы градостроительного освоения подземного пространства в документах стратегического планирования, с. 717
- Березин П.В., см. Викторов А.С., с. 588*
- Беседина А.Н., см. Горбунова Э.М., с. 477*
- Бесперстова Н.А., см. Малаева Н.С., с. 643*
- Богословский В.А., см. Жигалин А.Д., с. 289*
- Боннин Ж., см. Фролова Н.И., с. 230*
- Борсукова О.В. см. Сергеев Д.О., с. 566*
- Борсукова О.В., см. Чеснокова И.В., с. 575*
- Бочаров В.Л., Зинюков Ю.М.* Геоэкологические проблемы реконструкции цеха хвостового хозяйства Лебединского горно-обогатительного комбината (Курская область), с. 258
- Бочков Н.Н., см. Шепелев И.И., с. 355*
- Булдакова Е.В.* Геоэкологические предпосылки развития новых моделей городского пространства, с. 723
- Булыгина Л.Г., Королев В.А., Соколов В.Н., Разгулина О.В., Чернов М.С.* Иерархичность структуры глинистых грунтов, с. 32
- Бутолин А.П., Щерба В.А.* Эколого-гидрогеохимические особенности природных вод восточной части сочленения Волго-Камского и Прикаспийского артезианских бассейнов, с. 472
- Буфеев Ф.К., Фоменко И.К.* Оценка зависимости результатов расчетов устойчивости склонов от применяемой модели распределения свойств грунтов и метода расчета, с. 584
- Валиева К.Э., см. Абрамова Т.Т., с. 14*
- Варламов С.П. см. Скрябин П.Н., с. 569*
- Васютнич Л.А.* Инженерно-геологические проблемы градостроительства в южной криолитозоне (на примере г. Чита), с. 536
- Вахрин И.С., см. Шестернев Д.М., с. 579*



- Верхотуров А.Г.* Деградация мерзлых пород и инженерно-геологические проблемы освоения месторождений Забайкалья, с. 540
- Викторов А.С., Березин П.В.* Методические подходы к созданию программного средства оценки природных рисков, с. 588
- Викторов А.С., см. Орлов Т.В., с. 679*
- Виноградов Е.А., см. Горбунова Э.М., с. 477*
- Власова А.И., см. Архипова Е.В., с. 235*
- Воейкова О.А., см. Несмеянов С.А., с. 665*
- Войтенко А.С. см. Сергеев Д.О., с. 566*
- Воронова А.В., Скворцов А.А., Журавлева Т.Ю.* Методика оценки устойчивости подземных резервуаров в многолетнемерзлых породах, с. 544
- Воронцов Е.А., Аранбаев Т.А.* Специфика оценки изученности инженерно-геологических условий при обследовании грунтов оснований зданий и сооружений для разных этапов жизненного цикла строительных объектов, с. 727
- Воронцов Е.А., Дудлер И.В.* Категории изученности инженерно-геологических условий строительства (понятия, критерии и принципы оценки при изысканиях), с. 731
- Габибов Ф.Г., Зейналов А.З., Габибова Л.Ф., Сафарова Н.А.* Выбор мероприятий по управлению рисками на объектах, расположенных на территориях с высокой оползневой и обвальной опасностью, с. 125
- Габибова Л.Ф., см. Габибов Ф.Г., с. 125*
- Габсатарова И.П., см. Фролова Н.И., с. 230*
- Гакаев Р.А.* Условия формирования поверхностных карстовых форм в ландшафтах Чеченской республики, с. 130
- Гакаев Р.А., см. Дадашев Р.Х., с. 140*
- Галицкая И.В., см. Батрак Г.И., с. 449*
- Галкин А.Н., см. Торбенко А.Б., с. 701*
- Галстян А.В., см. Демирчян А.Р., с. 270*
- Гладкова Е.В., Королев В.А.* Применение теории подобия для инженерно-геологического моделирования лунных грунтов-аналогов, с. 592
- Головин С.С., Розенберг Н.К.* Общая оценка геоэкологического и техногенного воздействия работы Загорской ГАЭС, с. 263

*Головных Н.В., см. Шепелев И.И., с. 355*

Голодковская Г.А., Куринов М.Б. К вопросу о содержании эколого-геологического картографирования, с. 596

*Горбунова Э.М., Беседина А.Н., Виноградов Е.А., Свинцов И.С.* Информативность прецизионного мониторинга подземных вод в платформенных условиях, с. 477

*Горобцов Д.Н., см. Пендин В.В., с. 772*

*Горшков А.И., Писаренко В.Ф., Родкин М.В., Лы Н.Т., Туен Н.Х., Орунбаев С.Ж.* Старые и новые подходы к проблеме оценки долгосрочной сейсмической опасности, с. 135

*Горшков С.П.* О функционировании системы «суша-океан» как геоэкологической проблеме, с. 601

*Григорьева И.Ю., см. Саркисов Г.А., с. 420*

*Григорьева С.В.* Закономерности типизации геодинамических систем Сергиево-Посадского опорного участка и определение его структурной позиции, с. 605

*Гридневский А.В.* Комплексный подход к региональной оценке геологических опасностей территории Ростовской области, с. 609

*Грязнов О.Н.* Инженерная петрология метасоматитов месторождений Урала как специфических скальных грунтов, с. 37

*Гуман О.М., Тагильцев С.Н., Антонова И.А.* О возможности применения метода подземного выщелачивания в условиях горного техногенеза, с. 482

*Дадашев Р.Х., Даукаев А.А., Гакаев Р.А.* Оползни Ножай-Юртовского района Чеченской республики и меры борьбы с ними, с. 140

*Даукаев А.А., см. Дадашев Р.Х., с. 140*

*Дебольская Е.И., Остякова А.В.* Моделирование распространения загрязнений на реках криолитозоны, с. 550

*Деменев А.Д., Максимович Н.Г., Хайрулина Е.А., Хмурчик В.Т.* Микробиология геологической среды и инженерные изыскания, с. 736

*Демидкова А.Н.* Сезонные вариации наклонов основания водоприёмника Загорской ГАЭС, с. 267

*Демирчян А.Р., Галстян А.В.* Некоторые аспекты рекультивации и озеленения хвостохранилищ, с. 270

*Деревягина Н.И. см. Садовенко И.А., с. 214*

- Дзюба А.В., Ковалева А.А.* Опасность недостоверной оценки влияния современных климатических вариаций на питание подземных вод, с. 487
- Дмитриев В.В., Фоменко И.К., Шмелева С.С.* Исследование причин деформаций исторических сооружений Амвросиева Николаевского Дудина монастыря в Богородском районе Нижегородской области, с. 274
- Дмитрук Н.И., см. Архипова Е.В., с. 235*
- Дорожко А.Л., см. Батрак Г.И., с. 449*
- Дорожко А.Л., см. Макеев В.М., с. 638*
- Дудлер И.В., см. Воронцов Е.А., с. 731*
- Дьяконов П.Ю.* Инженерно-геологические проблемы эксплуатации метрополитена, с. 279
- Евдокимова М.Ю., Осипов Ю.Б.* Оценка состояния экологического мониторинга геологической среды на предприятии атомной отрасли» (на примере Уральского электрохимического комбината), с.283
- Егоров Ю.М., см. Макеева Т.Г., с. 72*
- Елохин В.А., см. Ширинкин О.Ю., с. 110*
- Елохин В.А., см. Елохина О.В., с. 382*
- Елохина О.В., Елохин В.А.* Оценка загрязнения поверхностных вод, обусловленного размещением промышленных отходов в отработанных карьерах, с. 382
- Елохина С.Н., Еремина Е.Д.* Гидрогеохимические аспекты рекультивации шламонакопителя крупного металлургического предприятия на Среднем Урале, с. 492
- Елохина С.Н., Киндлер А.А.* Паспортизация отработанных горных выработок на Урале как способ управления техноприродными геологическими опасностями, с. 740
- Еремина Е.Д., см. Елохина С.Н., с. 492*
- Жабриков С.Ю., см. Пастухова В.А., с. 401*
- Жигалин А.Д., Богословский В.А., Архипова Е.В.* Геофизическая урбоэкология - новое направление в изучении городских территорий, с. 289
- Жигалин А.Д., см. Архипова Е.В., с. 235*
- Жувикина Е.Г., см. Опекунов А.Ю., с. 391*

- Жуковская Н.В., Лукашёв О.В.* Моделирование загрязнения растительности г. Витебск с помощью метода «деревья решений», с. 613
- Жур В.Н., см. Прокопов А.Ю., с. 347*
- Журавлева Т.Ю. см. Скворцов А.А., с. 696*
- Журавлева Т.Ю., см. Воронова А.В., с. 544*
- Загриценко А.Н., см. Садовенко И.А., с. 214*
- Заиканов В.Г.* Геоэкологические технологии и проектирование городов, с. 745
- Зарипов М.С., Сунгатуллин Р.Х.* Минеральные питьевые воды нефтяных районов республики Татарстан, с. 497
- Заров Е.А., см. Орлов Т.В., с. 679*
- Зверев А.В., см. Орлов Т.В., с. 679*
- Зверев В.П.* Дестабилизация природных гидрогеоэкосистем, с. 502
- Здобин Д.Ю.* О сопротивлении грунтов сжатию в естественном сложении, с. 41
- Зейналов А.З., см. Габибов Ф.Г., с. 125*
- Зеленковский П.С., Холмянский М.А., Анохин В.М., Опекунов А.Ю.* Формирование современных донных отложений водных объектов северо-запада России, с. 45
- Зинюков Ю.М., см. Бочаров В.Л., с. 258*
- Иваницкий О.М., см. Линник В.Г., с. 633*
- Иванов П.В., Николаева С.К., Манучарова Н.А., Чернов М.С.* Формирование, морфология и роль биотических контактов в дисперсных грунтах, с. 48
- Иванова В.В. см. Карташёв А.О., с. 624*
- Казанкова Э.Р., Корнилова Н.В.* Геоэкологические проблемы Невского подземного хранилища газа с позиции нелинейной геодинамики, с. 293
- Казеев А.И., Постоев Г.П., Лапочкин Б.К., Кучуков М.М.* Обоснование защитных мероприятий при строительстве зданий на оползнеопасном склоне долины р. Сходня, с. 144
- Калашников А.Ю., см. Орлов Т.В., с. 679*
- Калкаманова З.Г., см. Мусин Р.Х., с. 520*
- Кальбергенов Р.Г., см. Карпенко Ф.С., с. 53*

- Кальбергенов Р.Г., см. Кутергин В.Н., с. 759*
- Камалов В.Г., см. Барышников В.И., с. 248*
- Камалов В.Г., Челпанов П.Е. Детальное районирование по инженерно-геологическим условиям участка (паспортизация) строительства уникального сооружения Уфимском «полуострове», с. 619*
- Кандина М.А., см. Белоусова А.П., с. 465*
- Караковский В.В. Алгоритм геоэкологического обоснования схем территориального планирования районов Подмосковья (на примере Красногорского района), с. 749*
- Карпенко Ф.С., Кутергин В.Н., Кальбергенов Р.Г., Сереброва О.В. Пластичность глинистых грунтов в свете физико-химической теории эффективных напряжений, с. 53*
- Карпенко Ф.С., см. Кутергин В.Н., с. 759*
- Карташёв А.О., Холмянский М.А., Иванова В.В. Результаты изучения состояния береговой зоны залива Петра Великого в четырехлетнем цикле мониторинга, с. 624*
- Карфидова Е.А., Сизов А.П. Необходимость геоэкологических исследований в стратегическом среднесрочном планировании, с. 753*
- Карфидова Е.А., см. Батрак Г.И., с. 454*
- Киндлер А.А., см. Елохина С.Н., с. 740*
- Кирилюк А.С., см. Пигулевский П.И., с. 336*
- Климшин А.В., см. Микляев П.С., с. 320*
- Ковалева А.А., см. Дзюба А.В., с. 487*
- Ковалева Т.Г., см. Шилова А.В., с. 365*
- Козловский С.В. Методические аспекты применения геоинформационных технологий при построении объемных моделей геологической среды в инженерной геологии, с. 629*
- Колина Е.С., см. Балыкова С.Д., с. 24*
- Коломийцев Н.В., Корженевский Б.И., Аверкина Т.И., Самарин Е.Н. Характеристика состава донных отложений озера Селигер и Иваньковского водохранилища, с. 58*
- Кондакова В.Н. Исследование устойчивости бортов карьера с учетом влияния подземных вод на примере территории карьера «Печурки», с. 298*

- Кононова Н.К., см. Мальнева И.В., с. 158*
- Константинов П.Я. см. Нерадовский Л.Г., с. 555*
- Корвет Н.Г. Геоэкологические и инженерно-геологические проблемы Нарвского водохранилища и их исследования, с. 302*
- Корженевский Б.И., см. Коломийцев Н.В., с. 58*
- Корнилова Н.В., см. Казанкова Э.Р., с. 293*
- Коробейников Б.И., см. Батрак Г.И., с. 449*
- Коробова И.В. см. Макеев В.М., с. 638*
- Королев В.А. см. Gladkova E.B., с. 592*
- Королев В.А., см. Булыгина Л.Г., с. 32*
- Королёв В.А., см. Минина М.В., с. 168*
- Королев В.А., см. Романова И.В., с. 410*
- Костарев В.П., Утемова С.А. К оценке агрессивных свойств подземных вод к строительным конструкциям и коммуникациям на застроенных территориях, с. 507*
- Костикова И.А., см. Батрак Г.И., с. 454*
- Кочев Д.З., Алексеев С.В., Алексеев В.А. Особенности инженерно-геологических изысканий и опыт повышения несущей способности загрязненных грунтов в городских условиях Московской области, с. 305*
- Крестин Б.М., см. Мальнева И.В., с. 158*
- Крупская В.В., см. Чернов М.С., с. 105*
- Кузахметова Э.К. Особенности оценки поведения грунтов в основании инженерных сооружений с учетом техногенного воздействия, с. 62*
- Куринов М.Б., см. Голодковская Г.А., с. 596*
- Курлянов Н.А., см. Мусин Р.Х., с. 520*
- Кутергин В.Н., Кальбергенов Р.Г., Карпенко Ф.С. Методы лабораторных исследований связных грунтов: совершенствование на основе современных научных представлений, с. 759*
- Кутергин В.Н., см. Карпенко Ф.С., с. 53*
- Кутинов Ю.Г., см. Полякова Е.В., с. 684*
- Кучуков М.М. см. Казеев А.И. с. 144*

*Кучуков Э.З., Филькин Н.А., Лаухин С.А.* К оценке опасности геологических, инженерно-геологических и техногенных процессов при проектировании, строительстве и эксплуатации инженерных сооружений на урбанизированной территории, с. 310

*Лаврик Е.В., см. Попова О.Г., с. 193*

*Лаврусевич А.А., см. Лаврусевич И.А., с. 150*

*Лаврусевич И.А., Лаврусевич А.А.* Геоэкологические аспекты развития присклоновой суффозии правого берега р. Волга, с. 150

*Лапочкин Б.К., см. Казеев А.И., с. 144*

*Ларионова Н.А.* Изменение состава и свойств лессовых грунтов при техногенном замачивании, с. 67

*Лаухин С.А., см. Кучуков Э.З., с. 310*

*Лебедев А.Л.* К вопросу схематизации процесса массообмена загипсованных трещинно-пористых пород с подземными водами в моделях массопереноса, с. 512

*Линник В.Г., Иваницкий О.М., Соколов А.В., Соколов П.В.* Организация регионального радиоэкологического кадастра долины р. Енисей для оценки радиационного воздействия на окружающую среду и население, с. 633

*Литовко А.В., см. Нерадовский Л.Г., с. 555*

*Лоншаков Г.С., Аузина Л.И.* Подход к комплексной геоэкологической оценке устойчивости подземной гидросферы территории г. Иркутск, с. 516

*Лукашёв О.В. см. Жуковская Н.В., с. 613*

*Лукина С.Е., Подкорытова Л.И., Пшеничников К.Г.* О проблемах саморегулирования в инженерных изысканиях для строительства, с. 764

*Лы Н.Т., см. Горшков А.И., с. 135*

*Макарова Н.В., см. Макеев В.М., с. 638*

*Макарычева Е.М. см. Сергеев Д.О., с. 566*

*Макеев В.М., Мамаев Ю.А., Дорожко А.Л., Макарова Н.В., Суханова Т.В., Коробова И.В.* Структурно-геодинамические условия устойчивости территорий калийных рудников к опасным геологическим процессам, с. 638

*Макеев В.М., см. Микляев П.С., с. 320*

*Макеева Т.Г., Хавкин А.Я., Егоров Ю.М.* Свойства грунтовых композитных материалов на основе цемента с углеродными нанотрубками, с. 72

*Максимович Н.Г., см. Деменев А.Д., с. 736*

*Малаева Н.С., Бесперстова Н.А., Сидельская Е.А.* Результаты применения информационно-вычислительной системы MIKE11 для моделирования паводка на примере Краснодарского водохранилища, с. 643

*Маловичко А.А., Старовойт О.Е., Рузайкин А.И.* Сейсмичность России в 2011–2015 гг., с. 153

*Мальнева И.В., Крестин Б.М., Кононова Н.К.* Оценка опасности экзогенных геологических процессов в бассейне р. Амур в ближайшем десятилетии, с. 156

*Мамаев Ю.А., см. Макеев В.М., с. 638*

*Мамаев Ю.А., Ястребов А.А.* Влияние техногенеза на активизацию суффозионно-карстовых процессов в надсоляных толщах калийных месторождений в Пермском крае РФ, с. 314

*Мамаев Ю.А., Ястребов А.А.* Особенности развития солифлюкционно-эрозионных процессов в высокогорных областях Большого Кавказа (на примере территории горного курорта «Лагонаки», с. 163

*Мамедов В.А., см. Халилова Х.Х., с. 429*

*Манучарова Н.А., см. Иванов П.В., с. 48*

*Микляев П.С., Петрова Т.Б., Макеев В.М., Климшин А.В.* Анализ временного распределения радоновых аномалий на территории Москвы, с. 320

*Минакова Т.Б.* Подходы к оценке геоэкологических ограничений при проектировании на основе соизмеримых показателей, с. 647

*Миндель И.Г., см. Несынов В.В., с. 670*

*Минеев А.Л. см. Полякова Е.В., с. 684*

*Минина М.В., Королёв В.А.* Типизация литотехнических систем для обоснования схем противооползневой инженерной защиты, с. 168

*Миняева Ю.В., см. Белоусова А.П., с. 465*

*Миронов О.К.* Геоинформатика в ИГЭ РАН, с. 652

*Миронов О.К.* Применение 3-мерного моделирования для гидрогеологических задач, с. 657



- Митрофанова Е.С., Опекунов А.Ю.* Пространственно-временное распределение полициклических ароматических углеводов в водотоках Санкт-Петербурга, с. 385
- Мокрицкая Т.П., Самойлич К.А.* Потенциал изменения дисперсности лесовых грунтов, с. 76
- Морозова А.В. см. Сергеев Д.О., с. 566*
- Мурый А.А., см. Несмеянов С.А., с. 665*
- Мусин Р.Х., Курлянов Н.А., Калкаманова З.Г.* О буферных свойствах подземной гидросферы в районах полигонов промышленных отходов, с. 520
- Недядько В.В., см. Попова О.Г., с. 193*
- Нерадовский Л.Г., Шестернёв Д.М., Литовко А.В., Фёдоров А.Н., Константинов П.Я.* Нормативные показатели и связь характеристик электрических свойств песков криолитозоны Якутии, с. 555
- Несмеянов С.А.* Возрастное расчленение орогенного рельефа как геоморфологическая основа оротектонического метода, с. 661
- Несмеянов С.А., Воейкова О.А., Мурый А.А.* Развитие методики количественных реконструкций палеорельефа приморского орогена (на примере долины р. Мзымта, Северо-Западный Кавказ), с. 665
- Несынов В.В., Трифонов Б.А., Миндель И.Г.* Опыт использования разночастотных методов сейсморазведки для изучения сейсмических характеристик грунтов, с. 670
- Нещеткин М.О., см. Нещеткин О.Б., с. 173*
- Нещеткин О.Б., Нещеткин М.О.* Теория и методика оценки карстовой опасности. Основные положения, с. 173
- Николаева С.К., см. Иванов П.В., с. 48*
- Николаева С.К., см. Огородникова Е.Н., с. 332*
- Никонов А.А.* Реальные опасности геодинамического ряда в районе строительства Керченского мостового перехода, с. 326
- Никулина М.Е., см. Пендин В.В., с. 772*
- Нилова М.В., см. Рязанцев П.А., с. 693*
- Норова Л.П.* Анализ результатов исследований образцов керна глубокой скважины на одной из площадок строительства Санкт-Петербурга, с. 81

- Огородникова Е.Н., Николаева С.К.* Геоэкологические особенности массивов намывных грунтов, с. 332
- Ольховатенко В.Е., Прянишников Е.Г.* Исследования физико-механических свойств горных пород Айнского золоторудного месторождения и оценка устойчивости в бортах карьеров, с. 86
- Онищенко С.А., Тяпкин О.К.* Возможности использования «потерянной» приповерхностной геофизической информации для решения инженерных и геоэкологических задач, с. 675
- Опекунов А.Ю., Жувикина Е.Г.* Опыт выявления слабо интенсивного загрязнения донных осадков (на примере водных объектов севера Западной Сибири), с. 391
- Опекунов А.Ю., см. Зеленковский П.С., с. 45*
- Опекунов А.Ю., см. Митрофанова Е.С., с. 385*
- Опекунова М.Г., Папян Э.Э., Сомов В.В.* Влияние горнорудного производства на состояние почв Башкирского Зауралья, с. 396
- Орлов М.С.* О геоэкологическом обосновании проектов особо охраняемых природных территорий, с. 769
- Орлов Т.В., Садков С.А., Зверев А.В., Викторов А.С., Калашников А.Ю., Заров Е.А., Филиппов И.В.* Использование георадарных дистанционных методов и математического моделирования при изучении торфяных отложений для решения геоэкологических задач, с. 679
- Орунбаев С.Ж.* Оценка сайт-эффектов для восточной части г. Нарын, Киргизия, с. 179
- Орунбаев С.Ж., см. Горшков А.И., с. 135*
- Осипов Ю.Б., см. Евдокимова М.Ю., с. 283*
- Остякова А.В., см. Дебольская Е.И., с. 550*
- Ошкадер А.В. см. Хребтова Т.В., с. 706*
- Ошкадер А.В., Подлипенская Л.Е.* Разработка моделей количественной оценки риска при использовании подземных вод, с. 183
- Павлова Л.М., см. Юсупов Д.В., с. 370*
- Папян Э.Э., см. Опекунова М.Г., с. 396*
- Пастухова В.А., Подлипский И.И., Жабриков С.Ю.* Оценка устойчивости литифицированных по ИММ-технологии образцов укрепленного техногенного грунта, с. 401

- Патрушева Н.А., см. Фролова Ю.В., с. 100*
- Пендин В.В., Горобцов Д.Н., Никулина М.Е. Методика инженерно-геологического аудита, с. 772*
- Петрова И.Г., см. Абатурова И.В., с. 531*
- Петрова Т.Б., см. Микляев П.С., с. 320*
- Пигулевский П.И., Свистун В.К., Тяпкин О.К., Кириллюк А.С. К вопросу решения геоэкологических и инженерно-геологических проблем урбанизированных территорий геофизическими методами, с. 336*
- Пинкевич М.Н. Применение гидрометрического метода для оценки естественных ресурсов подземных вод в пределах центральной части Питского гидрогеологического массива, с. 525*
- Писаренко В.Ф., см. Горшков А.И., с. 135*
- Подвигина Е.О., см. Садовенко И.А., с. 214*
- Подгорная Т.И. Факторы современной активизации природно-техногенных геологических процессов в условиях Хабаровска, с. 188*
- Подкорытова Л.И., см. Лукина С.Е., с. 764*
- Подлипенская Л.Е., см. Ошкадер А.В., с. 183*
- Подлипенская Л.Е., см. Хребтова Т.В., с. 706*
- Подлипский И.И. Эколого-геологическая оценка прилегающих территорий полигона бытовых отходов (национальный парк «Смоленское поозерье»), с. 405*
- Подлипский И.И., см. Пастухова В.А., с. 401*
- Позднякова И.А., см. Батрак Г.И., с. 454*
- Полякова Е.В., Кутинов Ю.Г., Чистова З.Б., Минеев А.Л. Оценка вероятности проявления природных экзогенных геологических процессов на основе моделирования рельефа, с. 684*
- Помеляйко И.С. Определение комплексной антропогенной нагрузки на городскую территорию ряда городов РФ, с. 341*
- Попов М.Г., см. Попова О.Г., с. 193*
- Попова О.Г., Попов М.Г., Аракелян Ф.О., Неядько В.В., Лаврик Е.В. Изучение геодинамики и оценка напряженного состояния среды в районе проектируемой Нижегородской АЭС по материалам сейсмо-экологического мониторинга, с. 193*

*Постоев Г.П.* Обоснование выбора параметров для автоматизированного мониторинга карстовых деформаций (подготовки карстового провала) на участке ответственного объекта, с. 198

*Постоев Г.П., см. Казеев А.И., с. 144*

*Прокопов А.Ю., Жур В.Н., Рубцова Я.С.* Проблемы обеспечения безопасности городской застройки на подработанных территориях Восточного Донбасса, с. 347

*Прянишников Е.Г., см. Ольховатенко В.Е., с. 86*

*Пшеничников К.Г. см. Лукина С.Е., с. 764*

*Радомская В.И., см. Юсупов Д.В., с. 370*

*Разгулина О.В., см. Булыгина Л.Г., с. 32*

*Разгулина О.В., см. Чернов М.С., с. 105*

*Разумов В.В., Разумова Н.В.* Особенности распространения оползневых процессов на Северном Кавказе, с. 203

*Разумов С.О.* Прогноз изменений криолитозоны шельфа западной части моря Лаптевых в XXI в., с. 560

*Разумова Н.В., см. Разумов В.В., с. 203*

*Расторгуев А.В., см. Сорокоумова Я.В., с. 425*

*Рихванов Л.П., см. Арынова Ш.Ж., с. 380*

*Родкин М.В., см. Горшков А.И., с. 135*

*Розенберг Н.К. см. Головин С.С., с. 263*

*Романов В.В.* Выделение подземных сооружений и коммуникаций методами инженерной геофизики, с. 688

*Романова И.В., Королев В.А.* Анализ совместной электрохимической миграции тяжелых металлов в грунтах, с. 410

*Рубцова М.Н.* Оценка экологических функций современных эоловых песчаных массивов Байкальского региона, с. 90

*Рубцова Я.С., см. Прокопов А.Ю., с. 347*

*Руденко Е.Э., см. Белоусова А.П., с. 465*

*Рузайкин А.И. см. Маловичко А.А., с. 153*

*Рыбников П.А., см. Рыбникова Л.С., с. 415*

- Рыбникова Л.С., Рыбников П.А.* Экологическая реабилитация водных объектов после завершения добычи на медноколчеданных рудниках Среднего Урала, с. 415
- Рязанцев П.А., Нилова М.В.* Мониторинг миграции нефтепродукта в грунте методикой электротомографии на примере лабораторного эксперимента, с. 693
- Рященко Т.Г.* Состав и свойства селевых отложений на железнодорожном участке Кодар-Леприндо (БАМ), с. 95
- Савинцев И.А., см. Абатурова И.В., с. 531*
- Савичев О.Г.* Способ оценки флювиальной эрозии по данным режимных гидрологических наблюдений на реках-аналогах, с. 209
- Садков С.А., см. Орлов Т.В., с. 679*
- Садовенко И.А., Деревягина Н.И., Загриценко А.Н., Подвигина Е.О.* Оценка потенциальной оползнеопасности техногенно нагруженного лессового склона, с. 214
- Самарин Е.Н., см. Барабошкина Т.А., с. 244*
- Самарин Е.Н., см. Коломийцев Н.В., с. 58*
- Самойлич К.А., см. Мокрицкая Т.П., с. 76*
- Саркисов Г.А., Григорьева И.Ю.* Оценка влияния углеводородного загрязнения дисперсных грунтов на их влажностные характеристики, с. 420
- Сафарова Н.А., см. Габибов Ф.Г., с. 125*
- Сахачев А.Ю., см. Шепелев И.И., с. 355*
- Свинцов И.С., см. Горбунова Э.М., с. 477*
- Свистун В.К., см. Пигулевский П.И., с. 336*
- Селезнев А.А., Ярмошенко И.В.* Эколого-геохимическая оценка урбанизированной среды на основе исследования современных антропогенных отложений, с. 352
- Сергеев Д.О., см. Чеснокова И.В., с. 575*
- Сергеев Д.О., Чеснокова И.В., Борсукова О.В., Морозова А.В., Макарычева Е.М., Войтенко А.С.* Оценка стоимости содержания инфраструктуры на территории криолитозоны в связи с развитием геокриологических процессов, с. 566
- Сереброва О.В., см. Карпенко Ф.С., с. 53*

- Сидельская Е.А. см. Малаева Н.С., с. 643*
- Сизов А.П., см. Карфидова Е.А., с. 753*
- Скворцов А.А., Журавлева Т.Ю. Оценка геомеханических рисков при эксплуатации подземных хранилищ газа в каменной соли, с. 696*
- Скворцов А.А., см. Воронова А.В., с. 544*
- Скрябин П.Н., Варламов С.П. Изменение теплового состояния грунтов на трассах линейных сооружений центральной Якутии, с. 569*
- Смирнов А.И. Современная активность карста Южного Предуралья, с. 220*
- Соколов А.В., см. Линник В.Г., с. 633*
- Соколов В.Н., см. Булыгина Л.Г., с. 32*
- Соколов В.Н., см. Чернов М.С., с. 105*
- Соколов П.В. см. Линник В.Г., с. 633*
- Соктоев Б.Р., см. Арынова Ш.Ж., с. 380*
- Сомов В.В., см. Опекунова М.Г., с. 396*
- Сорокоумова Я.В., Расторгуев А.В. Характеристика углеводородного загрязнения и рекомендации по усовершенствованию мониторинга вблизи нефтеперерабатывающего завода, с. 425*
- Спектор В.Б., см. Шестакова А.А., с. 711*
- Старовойт О.Е. см. Маловичко А.А., с. 153*
- Степанов В.А., см. Юсупов Д.В., с. 370*
- Стороженко Л.А., см. Абатурова И.В., с. 531*
- Стыглиц И.С., см. Шепелев И.И., с. 355*
- Сунгатуллин Р.Х. см. Зарипов М.С., с. 497*
- Суханова Т.В., см. Макеев В.М., с. 638*
- Тагильцев С.Н., см. Гуман О.М., с. 482*
- Таловская А.В., см. Шахова Т.С., с. 434*
- Толстов П.С., см. Балыкова С.Д., с. 24*
- Томс Л.С., см. Батрак Г.И., с. 454*
- Торбенко А.Б., Галкин А.Н. Использование ГИС в оценке инженерно-гео-морфологических условий территории города на примере Витебска, с. 701*

*Торговкин Я.И. см. Шестакова А.А., с. 711*  
*Трифонов Б.А., см. Несынов В.В., с. 670*  
*Трутнева Н.В., см. Юсупов Д.В., с. 370*  
*Туен Н.Х., см. Горшков А.И., с. 135*  
*Тяпкин О.К., см. Онищенко С.А., с. 675*  
*Тяпкин О.К., см. Пигулевский П.И., с. 336*  
*Угаров А.Н., см. Фролова Н.И., с. 230*  
*Утемова С.А., см. Костарев В.П., с. 507*  
*Уткин М.М. Определение параметра проектирования конструктивной  
противокарстовой защиты с использованием уровня риска, с. 225*  
*Фёдоров А.Н., см. Нерадовский Л.Г., с. 555*  
*Филимоненко Е.А., см. Шахова Т.С., с. 434*  
*Филиппов И.В. см. Орлов Т.В., с. 679*  
*Филькин Н.А., см. Кучуков Э.Э., с. 310*  
*Фоменко И.К., см. Буфеев Ф.К., с. 584*  
*Фоменко И.К., см. Дмитриев В.В., с. 274*  
*Фролова Н.И., Боннин Ж., Габсатарова И.П., Угаров А.Н., Барская Т.В. Ана-  
лиз факторов, влияющих на надежность оперативных оценок потерь от  
землетрясений, с. 230*  
*Фролова Ю.В., Патрушева Н.А. Сравнительный анализ статического  
и динамического модулей упругости гранитов и гнейсов Алданского  
щита, с. 100*  
*Хавкин А.Я., см. Макеева Т.Г., с. 72*  
*Хайрулина Е.А., см. Деменев А.Д., с. 736*  
*Халилова Х.Х., Мамедов В.А. Оценка загрязнения тяжелыми металлами  
донных отложений озера Беюкшор в Абшеронском промышленном ре-  
гионе Азербайджана, с. 429*  
*Харькина М.А., см. Бабаева М.В., с. 239*  
*Хмурчик В.Т. см. Деменев А.Д., с. 736*  
*Холмянский М.А., см. Зеленковский П.С., с. 45*  
*Холмянский М.А., см. Карташёв А.О., с. 624*

- Хребтова Т.В., Подлипенская Л.Е., Ошкадер А.В.* Особенности оценки экологического состояния прибрежной зоны, с. 706
- Челпанов П.Е., см. Камалов В.Г., с. 619*
- Чернов М.С., см. Булыгина Л.Г., с. 32*
- Чернов М.С., см. Иванов П.В., с. 48*
- Чернов М.С., Соколов В.Н., Белобородов Р.М., Разгулина О.В., Крупская В.В., Алёшин А.Р.* О формировании свойств современных глинистых грунтов гидротермального генезиса, с. 105
- Чеснокова И.В. см. Сергеев Д.О., с. 566*
- Чеснокова И.В., Сергеев Д.О., Борсукова О.В.* Опыт оценки социально-экономического ущерба, обусловленного развитием геоэкологических процессов (на примере железной дороги Чара-Чина), с. 575
- Чистова З.Б., см. Полякова Е.В., с. 684*
- Шахова Т.С., Таловская А.В., Филимоненко Е.А., Язиков Е.Г.* Сравнительная оценка содержания химических элементов в пылевом аэрозоле в окрестностях нефтехимических производств г. Павлодар (Казахстан) и г. Томск (Россия), с. 434
- Шепелев И.И., Головных Н.В., Сахачев А.Ю., Бочков Н.Н., Стыглиц И.С.* Геоэкологические мероприятия по размещению и утилизации отходов глиноземного производства, с. 355
- Шестакова А.А., Спектор В.Б., Торговкин Я.И.* Содержание инженерно-геологической карты республики Саха (Якутия) масштаба 1:1500000, с. 711
- Шестернев Д.М., Вахрин И.С.* Влияние суммарной влажности на характеристики деформаций оттаивающих песчаных грунтов, с. 579
- Шестернёв Д.М., см. Нерадовский Л.Г., с. 555*
- Шешеня Н.Л.* Риск проявления опасных процессов и оценка социально-экологических ущербов в пределах застроенных территорий (на примере Калужской области), с. 359
- Шилова А.В., Ковалева Т.Г.* Влияние грунтового потока на формирование факторов опасности на территории промплощадки, с. 365
- Ширинкин О.Ю., Елохин В.А.* Закономерности и особенности формирования свойств глинистых грунтов в условиях техногенеза (на примере электролизного и глиноземного производства), с. 110



*Шмелева С.С. см. Дмитриев В.В., с. 274*

*Щерба В.А., см. Бутолин А.П., с. 472*

*Юсупов Д.В., Степанов В.А., Радомская В.И., Павлова Л.М., Трутнева Н.В.*  
Минеральный и геохимический состав поверхностного горизонта почв  
г. Благовещенска, с. 370

*Язиков Е.Г., см. Шахова Т.С., с. 434*

*Яковлев Е.А.* Эколого-геологические и инженерно-геологические пробле-  
мы промышленно-городских агломераций на лессовых грунтах, с. 375

*Ярмошенко И.В., см. Селезнев А.А., с. 352*

*Ястребов А.А., см. Мамаев Ю.А., с. 163, 314*

## СОДЕРЖАНИЕ

|  |    |
|--|----|
| <b>ПРЕДИСЛОВИЕ</b> .....   | 5  |
| <b>1. ИЗУЧЕНИЕ СОСТАВА И СВОЙСТВ ГРУНТОВ</b> .....   | 9  |
| <i>Абрамова Т.Т.</i> Выветривание белого камня исторического памятника в городской экосистеме.....   | 9  |
| <i>Абрамова Т.Т., Валиева К.Э.</i> Упрочнение грунтов цементными растворами с использованием методов высоконапорной инъекции.....                                  | 14 |
| <i>Андреева Е.В.</i> Отходы сжигания Ирша-Бородинских углей как техногенные грунты оснований.....  | 19 |
| <i>Балыкова С.Д., Колина Е.С., Толстов П.С.</i> Особенности песчаных пород вулканических областей (на примере Камчатки).....                                       | 24 |
| <i>Барановский А.Г.</i> Влияние минерального и химического состава элювиальных глинистых грунтов на их физические свойства.....                                    | 28 |
| <i>Булыгина Л.Г., Королев В.А., Соколов В.Н., Разгулина О.В., Чернов М.С.</i> Иерархичность структуры глинистых грунтов.....                                       | 32 |
| <i>Грязнов О.Н.</i> Инженерная петрология метасоматитов месторождений Урала как специфических скальных грунтов.....  | 37 |
| <i>Здобин Д.Ю.</i> О сопротивлении грунтов сжатию в естественном сложении.....   | 41 |
| <i>Зеленковский П.С., Холмянский М.А., Анохин В.М., Опекунов А.Ю.</i> Формирование современных донных отложений водных объектов северо-запада России.....          | 45 |
| <i>Иванов П.В., Николаева С.К., Манучарова Н.А., Чернов М.С.</i> Формирование, морфология и роль биотических контактов в дисперсных грунтах.....                   | 48 |
| <i>Карпенко Ф.С., Кутергин В.Н., Кальбергенов Р.Г., Сереброва О.В.</i> Пластичность глинистых грунтов в свете физико-химической теории эффективных напряжений..... | 53 |
| <i>Коломийцев Н.В., Корженевский Б.И., Аверкина Т.И., Самарин Е.Н.</i> Характеристика состава донных отложений озера Селигер и Иваньковского водохранилища.....    | 58 |
| <i>Кузахметова Э.К.</i> Особенности оценки поведения грунтов в основании инженерных сооружений с учетом техногенного воздействия.....                              | 62 |
| <i>Ларионова Н.А.</i> Изменение состава и свойств лессовых грунтов при техногенном замачивании.....  | 67 |

|  |     |
|--|-----|
| <i>Макеева Т.Г., Хавкин А.Я., Егоров Ю.М.</i> Свойства грунтовых композитных материалов на основе цемента с углеродными нанотрубками .....   | 72  |
| <i>Мокрицкая Т.П., Самойлич К.А.</i> Потенциал изменения дисперсности лёссовых грунтов .....   | 76  |
| <i>Норова Л.П.</i> Анализ результатов исследований образцов керна глубокой скважины на одной из площадок строительства Санкт-Петербурга .....  | 81  |
| <i>Ольховатенко В.Е., Прянишников Е.Г.</i> Исследования физико-механических свойств горных пород Айнского золоторудного месторождения и оценка устойчивости в бортах карьеров .....                  | 86  |
| <i>Рубцова М.Н.</i> Оценка экологических функций современных эоловых песчаных массивов Байкальского региона .....  | 90  |
| <i>Ряценко Т.Г.</i> Состав и свойства селевых отложений на железнодорожном участке Кодар-Леприндо (БАМ) .....  | 95  |
| <i>Фролова Ю.В., Патрушева Н.А.</i> Сравнительный анализ статического и динамического модулей упругости гранитов и гнейсов Алданского щита .....   | 100 |
| <i>Чернов М.С., Соколов В.Н., Белобородов Р.М., Разгулина О.В., Крупская В.В., Алёшин А.Р.</i> О формировании свойств современных глинистых грунтов гидротермального генезиса .....                  | 105 |
| <i>Ширинкин О.Ю., Елохин В.А.</i> Закономерности и особенности формирования свойств глинистых грунтов в условиях техногенеза (на примере электролизного и глиноземного производства) .....           | 110 |
| <b>2. ОЦЕНКА ОПАСНОСТИ И РИСКА ПРИРОДНЫХ И ПРИРОДНО-ТЕХНОГЕННЫХ ПРОЦЕССОВ</b> .....  | 114 |
| <i>Абдрахманов Р.Ф.</i> Карст на территории г. Уфы и его активизация под влиянием техногенеза .....  | 114 |
| <i>Аникеев А.В.</i> Использование представлений об аккумуляционной емкости закарстованных пород для прогноза устойчивости особо ответственных сооружений .....                                       | 119 |
| <i>Габибов Ф.Г., Зейналов А.З., Габибова Л.Ф., Сафарова Н.А.</i> Выбор мероприятий по управлению рисками на объектах, расположенных на территориях с высокой оползневой и обвальной опасностью ..... | 125 |
| <i>Гакаев Р.А.</i> Условия формирования поверхностных карстовых форм в ландшафтах Чеченской республики .....   | 130 |
| <i>Горшков А.И., Писаренко В.Ф., Родкин М.В., Лы Н.Т., Туен Н.Х., Орунбаев С.Ж.</i> Старые и новые подходы к проблеме оценки долгосрочной сейсмической опасности .....                               | 135 |

|   |     |
|---|-----|
| <i>Дадашев Р.Х., Даукаев А.А., Гакаев Р.А.</i> Оползни Ножай-Юртовского района Чеченской республики и меры борьбы с ними .....  | 140 |
| <i>Казеев А.И., Постоев Г.П., Лапочкин Б.К., Кучуков М.М.</i> Обоснование защитных мероприятий при строительстве зданий на оползнеопасном склоне долины р. Сходня .....   | 144 |
| <i>Лаврусевич И.А., Лаврусевич А.А.</i> Геоэкологические аспекты развития присклоновой суффозии правого берега р. Волга .....   | 150 |
| <i>Маловичко А.А., Старовойт О.Е., Рузайкин А.И.</i> Сейсмичность России в 2011–2015 гг. ....   | 153 |
| <i>Мальнева И.В., Крестин Б.М., Кононова Н.К.</i> Оценка опасности экзогенных геологических процессов в бассейне р. Амур в ближайшем десятилетии.....   | 158 |
| <i>Мамаев Ю.А., Ястребов А.А.</i> Особенности развития солифлюкционно-эрозионных процессов в высокогорных областях Большого Кавказа (на примере территории горного курорта «Лагонаки» .....   | 163 |
| <i>Минина М.В., Королёв В.А.</i> Типизация литотехнических систем для обоснования схем противооползневой инженерной защиты .....  | 168 |
| <i>Нещеткин О.Б., Нещеткин М.О.</i> Теория и методика оценки карстовой опасности. Основные положения .....  | 173 |
| <i>Орумбаев С.Ж.</i> Оценка сайт-эффектов для восточной части г. Нарын, Киргизия.....   | 179 |
| <i>Ошкадер А.В., Подлипенская Л.Е.</i> Разработка моделей количественной оценки риска при использовании подземных вод.....  | 183 |
| <i>Подгорная Т.И.</i> Факторы современной активизации природно-техногенных геологических процессов в условиях Хабаровска .....  | 188 |
| <i>Попова О.Г., Попов М.Г., Аракелян Ф.О., Недядько В.В., Лаврик Е.В.</i> Изучение геодинамики и оценка напряженного состояния среды в районе проектируемой Нижегородской АЭС по материалам сейсмо-экологического мониторинга ..... | 193 |
| <i>Постоев Г.П.</i> Обоснование выбора параметров для автоматизированного мониторинга карстовых деформаций (подготовки карстового провала) на участке ответственного объекта.....   | 198 |
| <i>Разумов В.В., Разумова Н.В.</i> Особенности распространения оползневых процессов на Северном Кавказе.....  | 203 |
| <i>Савичев О.Г.</i> Способ оценки флювиальной эрозии по данным режимных гидрологических наблюдений на реках-аналогах.....   | 209 |
| <i>Садовенко И.А., Деревягина Н.И., Загриценко А.Н., Подвигина Е.О.</i> Оценка потенциальной оползнеопасности техногенно нагруженного лесового склона.....  | 214 |

|  |     |
|--|-----|
| <i>Смирнов А.И.</i> Современная активность карста Южного Предуралья .....  | 220 |
| <i>Уткин М.М.</i> Определение параметра проектирования конструктивной противокарстовой защиты с использованием уровня риска .....  | 225 |
| <i>Фролова Н.И., Боннин Ж., Габсатарова И.П., Угаров А.Н., Барская Т.В.</i> Анализ факторов, влияющих на надежность оперативных оценок потерь от землетрясений .....                               | 230 |
| <b>3. ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКИЕ И ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ УРБАНИЗИРОВАННЫХ ТЕРРИТОРИЙ И ПРОМЫШЛЕННЫХ ОБЪЕКТОВ</b> .....  | 235 |
| <i>Архипова Е.В., Жигалин А.Д., Дмитрук Н.И., Власова А.И.</i> Линейные аномалии техногенных низкочастотных электромагнитных полей малых городов .....   | 235 |
| <i>Бабаева М.В., Харькина М.А.</i> Закономерности образования биогаза в массивах грунтов на территории гражданского строительства (на примере Московского региона) .....                           | 239 |
| <i>БарaboшкИна Т.А., Самарин Е.Н., Белютина В.С.</i> Геоэкологические особенности района Воробьевых гор (Москва, Россия) .....   | 244 |
| <i>Барышников В.И., Камалов В.Г.</i> О геодинамике «Уфимского полуострова» .....   | 248 |
| <i>Белобородов А.В.</i> Инженерно-геологическое районирование побережий Саратовского водохранилища .....   | 253 |
| <i>Бочаров В.Л., Зинюков Ю.М.</i> Геоэкологические проблемы реконструкции цеха хвостового хозяйства Лебединского горно-обогатительного комбината (Курская область) .....                           | 258 |
| <i>Головин С.С., Розенберг Н.К.</i> Общая оценка геоэкологического и техногенного воздействия работы Загорской ГАЭС .....  | 263 |
| <i>Демидкова А.Н.</i> Сезонные вариации наклонов основания водоприёмника Загорской ГАЭС .....  | 267 |
| <i>Демирчян А.Р., Галстян А.В.</i> Некоторые аспекты рекультивации и озеленения хвостохранилищ .....   | 270 |
| <i>Дмитриев В.В., Фоменко И.К., Шмелева С.С.</i> Исследование причин деформаций исторических сооружений Амвросиева Николаевского Дудина монастыря в Богородском районе Нижегородской области ..... | 274 |
| <i>Дьяконов П.Ю.</i> Инженерно-геологические проблемы эксплуатации метрополитена .....   | 279 |
| <i>Евдокимова М.Ю., Осипов Ю.Б.</i> Оценка состояния экологического мониторинга геологической среды на предприятии атомной отрасли» (на примере Уральского электрохимического комбината) .....     | 283 |

|  |     |
|--|-----|
| <i>Жигалин А.Д., Богословский В.А., Архипова Е.В.</i> Геофизическая урбоэкология – новое направление в изучении городских территорий   | 289 |
| <i>Казанкова Э.Р., Корнилова Н.В.</i> Геоэкологические проблемы Невского подземного хранилища газа с позиции нелинейной геодинамики  | 293 |
| <i>Кондакова В.Н.</i> Исследование устойчивости бортов карьера с учетом влияния подземных вод на примере территории карьера «Печурки»  | 298 |
| <i>Корвет Н.Г.</i> Геоэкологические и инженерно-геологические проблемы Нарвского водохранилища и их исследования   | 302 |
| <i>Кочев Д.З., Алексеев С.В., Алексеев В.А.</i> Особенности инженерно-геологических изысканий и опыт повышения несущей способности загрязненных грунтов в городских условиях Московской области  | 305 |
| <i>Кучуков Э.З., Филькин Н.А., Лаухин С.А.</i> К оценке опасности геологических, инженерно-геологических и техногенных процессов при проектировании, строительстве и эксплуатации инженерных сооружений на урбанизированной территории | 310 |
| <i>Мамаев Ю.А., Ястребов А.А.</i> Влияние техногенеза на активизацию суффозионно-карстовых процессов в надсоляных толщах калийных месторождений в Пермском крае РФ   | 314 |
| <i>Микляев П.С., Петрова Т.Б., Макеев В.М., Климшин А.В.</i> Анализ временного распределения радоновых аномалий на территории Москвы   | 320 |
| <i>Никонов А.А.</i> Реальные опасности геодинамического ряда в районе строительства Керченского мостового перехода   | 326 |
| <i>Огородникова Е.Н., Николаева С.К.</i> Геоэкологические особенности массивов намывных грунтов  | 332 |
| <i>Пигулевский П.И., Свистун В.К., Тяпкин О.К., Кирилюк А.С.</i> К вопросу решения геоэкологических и инженерно-геологических проблем урбанизированных территорий геофизическими методами  | 336 |
| <i>Помеляйко И.С.</i> Определение комплексной антропогенной нагрузки на городскую территорию ряда городов РФ   | 341 |
| <i>Прокопов А.Ю., Жур В.Н., Рубцова Я.С.</i> Проблемы обеспечения безопасности городской застройки на подработанных территориях Восточного Донбасса  | 347 |
| <i>Селезнев А.А., Ярмошенко И.В.</i> Эколого-геохимическая оценка урбанизированной среды на основе исследования современных антропогенных отложений  | 352 |
| <i>Шепелев И.И., Головных Н.В., Сахачев А.Ю., Бочков Н.Н., Стыглиц И.С.</i> Геоэкологические мероприятия по размещению и утилизации отходов глиноземного производства  | 355 |

|  |     |
|--|-----|
| <i>Шешеня Н.Л.</i> Риск проявления опасных процессов и оценка социально-экологических ущербов в пределах застроенных территорий (на примере Калужской области) .....                             | 359 |
| <i>Шилова А. В., Ковалева Т.Г.</i> Влияние грунтового потока на формирование факторов опасности на территории промплощадки .....   | 365 |
| <i>Юсупов Д.В., Степанов В.А., Радомская В.И., Павлова Л.М., Трутнева Н.В.</i> Минеральный и геохимический состав поверхностного горизонта почв г. Благовещенска .....                           | 370 |
| <i>Яковлев Е.А.</i> Эколого-геологические и инженерно-геологические проблемы промышленно-городских агломераций на лессовых грунтах .....   | 375 |
| <b>4. ЗАГРЯЗНЕНИЕ И ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ РЕАБИЛИТАЦИЯ ПРИРОДНОЙ СРЕДЫ</b> .....   | 380 |
| <i>Арынова Ш.Ж., Рихванов Л.П., Соктоев Б.Р., Барановская Н.В.</i> Региональная особенность элементного состава солевых отложений питьевых вод (Байкальский регион и Павлодарская область) ..... | 380 |
| <i>Елохина О.В., Елохин В.А.</i> Оценка загрязнения поверхностных вод, обусловленного размещением промышленных отходов в отработанных карьерах .....   | 382 |
| <i>Митрофанова Е.С., Опекунов А.Ю.</i> Пространственно-временное распределение полициклических ароматических углеводородов в водотоках Санкт-Петербурга .....                                    | 385 |
| <i>Опекунов А.Ю., Жувикина Е.Г.</i> Опыт выявления слабо интенсивного загрязнения донных осадков (на примере водных объектов севера Западной Сибири) .....                                       | 391 |
| <i>Опекунова М.Г., Папаян Э.Э., Сомов В.В.</i> Влияние горнорудного производства на состояние почв Башкирского Зауралья .....  | 396 |
| <i>Пастухова В.А., Подлипский И.И., Жабриков С.Ю.</i> Оценка устойчивости литифицированных по ИММ-технологии образцов укрепленного техногенного грунта .....                                     | 401 |
| <i>Подлипский И.И.</i> Эколого-геологическая оценка прилегающих территорий полигона бытовых отходов (национальный парк «Смоленское поозерье») .....  | 405 |
| <i>Романова И.В., Королев В.А.</i> Анализ совместной электрохимической миграции тяжелых металлов в грунтах .....   | 410 |
| <i>Рыбникова Л.С., Рыбников П.А.</i> Экологическая реабилитация водных объектов после завершения добычи на медноколчеданных рудниках Среднего Урала .....  | 415 |

|  |     |
|--|-----|
| <i>Саркисов Г.А., Григорьева И.Ю.</i> Оценка влияния углеводородного загрязнения дисперсных грунтов на их влажностные характеристики   | 420 |
| <i>Сорокоумова Я.В., Расторгуев А.В.</i> Характеристика углеводородного загрязнения и рекомендации по усовершенствованию мониторинга вблизи нефтеперерабатывающего завода  | 425 |
| <i>Халилова Х.Х., Мамедов В.А.</i> Оценка загрязнения тяжелыми металлами донных отложений озера Беюкшор в Апшеронском промышленном регионе Азербайджана  | 429 |
| <i>Шахова Т.С., Таловская А.В., Филимоненко Е.А., Язиков Е.Г.</i> Сравнительная оценка содержания химических элементов в пылевом аэрозоле в окрестностях нефтехимических производств г. Павлодар (Казахстан) и г. Томск (Россия) | 434 |
| <b>5. ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ ПОДЗЕМНОЙ ГИДРОСФЕРЫ</b>   | 440 |
| <i>Арзамасцев В.А.</i> Трансформация химического состава дренажного стока на медноколчеданном месторождении (Средний Урал)   | 440 |
| <i>Батрак Г.И.</i> Критические замечания к численным гидрогеологическим прогнозам для городских территорий   | 445 |
| <i>Батрак Г.И., Галицкая И.В., Дорожко А.Л., Коробейников Б.И.</i> Изучение факторов геоэкологического риска в горнодобывающих районах России и Беларуси   | 449 |
| <i>Батрак Г.И., Костинова И.А., Позднякова И.А., Карфидова Е.А., Томс Л.С.</i> Сложности и перспективы гидрогеологического обоснования дренажа в тоннелях глубокого заложения (на примере Алабяно-Балтийского тоннеля в Москве)  | 454 |
| <i>Белоусова А.П.</i> Усовершенствование методики оценки защищенности подземных вод от загрязнения   | 460 |
| <i>Белоусова А.П., Руденко Е.Э., Миняева Ю.В., Кандина М.А.</i> Среднемасштабная оценка уязвимости подземных вод от загрязнения черныбыльскими радионуклидами  | 465 |
| <i>Бутолин А.П., Щерба В.А.</i> Эколого-гидрогеохимические особенности природных вод восточной части сочленения Волго-Камского и Прикаспийского артезианских бассейнов   | 472 |
| <i>Горбунова Э.М., Беседина А.Н., Виноградов Е.А., Свинцов И.С.</i> Информативность прецизионного мониторинга подземных вод в платформенных условиях   | 477 |
| <i>Гуман О.М., Тагильцев С.Н., Антонова И.А.</i> О возможности применения метода подземного выщелачивания в условиях горного техногенеза   | 482 |



|   |            |
|---|------------|
| <i>Дзюба А.В., Ковалева А.А.</i> Опасность недостоверной оценки влияния современных климатических вариаций на питание подземных вод.....  | 487        |
| <i>Елохина С.Н., Еремина Е.Д.</i> Гидрогеохимические аспекты рекультивации шламонакопителя крупного металлургического предприятия на Среднем Урале.....   | 492        |
| <i>Зарипов М.С., Сунгатуллин Р.Х.</i> Минеральные питьевые воды нефтяных районов республики Татарстан .....   | 497        |
| <i>Зверев В.П.</i> Дестабилизация природных гидрогеоэкосистем .....   | 502        |
| <i>Костарев В.П., Утемова С.А.</i> К оценке агрессивных свойств подземных вод к строительным конструкциям и коммуникациям на застроенных территориях .....  | 507        |
| <i>Лебедев А.Л.</i> К вопросу схематизации процесса массообмена загипсованных трещинно-пористых пород с подземными водами в моделях массопереноса .....   | 512        |
| <i>Лоншаков Г.С., Аузина Л.И.</i> Подход к комплексной геоэкологической оценке устойчивости подземной гидросферы территории г. Иркутск .....  | 516        |
| <i>Мусин Р.Х., Курлянов Н.А., Калкаманова З.Г.</i> О буферных свойствах подземной гидросферы в районах полигонов промышленных отходов .....   | 520        |
| <i>Пинкевич М.Н.</i> Применение гидрометрического метода для оценки естественных ресурсов подземных вод в пределах центральной части Питского гидрогеологического массива.....                        | 525        |
| <b>6. ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКИЕ И ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ В КРИОЛИТОЗОНЕ .....</b>  | <b>531</b> |
| <i>Абатурова И.В., Стороженко Л.А., Петрова И.Г., Савинцев И.А.</i> Строение и закономерности распространения многолетнемерзлых пород в северной геокриологической зоне (на примере г. Салехард)..... | 531        |
| <i>Васютин Л.А.</i> Инженерно-геологические проблемы градостроительства в южной криолитозоне (на примере г. Чита).....  | 536        |
| <i>Верхотуров А.Г.</i> Деградация мерзлых пород и инженерно-геологические проблемы освоения месторождений Забайкалья .....  | 540        |
| <i>Воронова А.В., Скворцов А.А., Журавлева Т.Ю.</i> Методика оценки устойчивости подземных резервуаров в многолетнемерзлых породах .....  | 544        |
| <i>Дебольская Е.И., Остякова А.В.</i> Моделирование распространения загрязнений на реках криолитозоны .....   | 550        |
| <i>Нерадовский Л.Г., Шестернёв Д.М., Литовко А.В., Фёдоров А.Н., Константинов П.Я.</i> Нормативные показатели и связь характеристик электрических свойств песков криолитозоны Якутии.....             | 555        |

|  |     |
|--|-----|
| <i>Разумов С.О.</i> Прогноз изменений криолитозоны шельфа западной части моря Лаптевых в XXI в. ....   | 560 |
| <i>Сергеев Д.О., Чеснокова И.В., Борсукова О.В., Морозова А.В., Макарычева Е.М., Войтенко А.С.</i> Оценка стоимости содержания инфраструктуры на территории криолитозоны в связи с развитием геокриологических процессов ..... | 566 |
| <i>Скрябин П.Н., Варламов С.П.</i> Изменение теплового состояния грунтов на трассах линейных сооружений центральной Якутии .....   | 569 |
| <i>Чеснокова И.В., Сергеев Д.О., Борсукова О.В.</i> Опыт оценки социально-экономического ущерба, обусловленного развитием геокриологических процессов (на примере железной дороги Чара-Чина) .....                             | 575 |
| <i>Шестернев Д.М., Вахрин И.С.</i> Влияние суммарной влажности на характеристики деформаций оттаивающих песчаных грунтов.....  | 579 |
| <b>7. РАЗВИТИЕ МЕТОДОЛОГИИ И МЕТОДОВ ИССЛЕДОВАНИЙ В ГЕОЭКОЛОГИИ И ИНЖЕНЕРНОЙ ГЕОЛОГИИ</b> .....  | 584 |
| <i>Буфеев Ф.К., Фоменко И.К.</i> Оценка зависимости результатов расчетов устойчивости склонов от применяемой модели распределения свойств грунтов и метода расчета .....   | 584 |
| <i>Викторов А.С., Березин П.В.</i> Методические подходы к созданию программного средства оценки природных рисков.....  | 588 |
| <i>Гладкова Е.В., Королев В.А.</i> Применение теории подобия для инженерно-геологического моделирования лунных грунтов-аналогов .....  | 592 |
| <i>Голодковская Г.А., Куринов М.Б.</i> К вопросу о содержании эколого-геологического картографирования .....   | 596 |
| <i>Горшков С.П.</i> О функционировании системы «суша-океан» как геоэкологической проблеме.....   | 601 |
| <i>Григорьева С.В.</i> Закономерности типизации геодинамических систем Сергиево-Посадского опорного участка и определение его структурной позиции .....  | 605 |
| <i>Гридневский А.В.</i> Комплексный подход к региональной оценке геологических опасностей территории Ростовской области .....  | 609 |
| <i>Жуковская Н.В., Лукашёв О.В.</i> Моделирование загрязнения растительности г. Витебск с помощью метода «деревья решений».....  | 613 |
| <i>Камалов В.Г., Челпанов П.Е.</i> Детальное районирование по инженерно-геологическим условиям участка (паспортизация) строительства уникального сооружения Уфимском «полуострове».....  | 619 |

|   |     |
|---|-----|
| <i>Карташёв А.О., Холмянский М.А., Иванова В.В.</i> Результаты изучения состояния береговой зоны залива Петра Великого в четырехлетнем цикле мониторинга .....  | 624 |
| <i>Козловский С.В.</i> Методические аспекты применения геоинформационных технологий при построении объемных моделей геологической среды в инженерной геологии .....   | 629 |
| <i>Линник В.Г., Иваницкий О.М., Соколов А.В., Соколов П.В.</i> Организация регионального радиоэкологического кадастра долины р. Енисей для оценки радиационного воздействия на окружающую среду и население .....   | 633 |
| <i>Макеев В.М., Мамаев Ю.А., Дорожко А.Л., Макарова Н.В., Суханова Т.В., Коробова И.В.</i> Структурно-геодинамические условия устойчивости территорий калийных рудников к опасным геологическим процессам .....   | 638 |
| <i>Малаева Н.С., Бесперстова Н.А., Сидельская Е.А.</i> Результаты применения информационно-вычислительной системы МИКЕ11 для моделирования паводка на примере Краснодарского водохранилища .....  | 643 |
| <i>Минакова Т.Б.</i> Подходы к оценке геоэкологических ограничений при проектировании на основе соизмеримых показателей .....   | 647 |
| <i>Мионов О.К.</i> Геоинформатика в ИГЭ РАН .....   | 652 |
| <i>Мионов О.К.</i> Применение 3-мерного моделирования для гидрогеологических задач .....  | 657 |
| <i>Несмеянов С.А.</i> Возрастное расчленение орогенного рельефа как гноморфологическая основа оротектонического метода .....  | 661 |
| <i>Несмеянов С.А., Воейкова О.А., Мурыш А.А.</i> Развитие методики количественных реконструкций палеорельефа приморского орогена (на примере долины р. Мзымта, Северо-Западный Кавказ) .....  | 665 |
| <i>Несынов В.В., Трифонов Б.А., Миндель И.Г.</i> Опыт использования разночастотных методов сейсморазведки для изучения сейсмических характеристик грунтов .....   | 670 |
| <i>Онищенко С.А., Тяпкин О.К.</i> Возможности использования «потерянной» приповерхностной геофизической информации для решения инженерных и геоэкологических задач .....  | 675 |
| <i>Орлов Т.В., Садков С.А., Зверев А.В., Викторов А.С., Калашников А.Ю., Заров Е.А., Филиппов И.В.</i> Использование георадарных дистанционных методов и математического моделирования при изучении торфяных отложений для решения геоэкологических задач ..... | 679 |
| <i>Полякова Е.В., Кутинов Ю.Г., Чистова З.Б., Минеев А.Л.</i> Оценка вероятности проявления природных экзогенных геологических процессов на основе моделирования рельефа .....  | 684 |

|   |            |
|---|------------|
| <i>Романов В.В.</i> Выделение подземных сооружений и коммуникаций методами инженерной геофизики.....  | 688        |
| <i>Рязанцев П.А., Нилова М.В.</i> Мониторинг миграции нефтепродукта в грунте методикой электротомографии на примере лабораторного эксперимента .....  | 693        |
| <i>Скворцов А.А., Журавлева Т.Ю.</i> Оценка геомеханических рисков при эксплуатации подземных хранилищ газа в каменной соли .....   | 696        |
| <i>Торбенко А.Б., Галкин А.Н.</i> Использование ГИС в оценке инженерно-геоморфологических условий территории города на примере Витебска.....  | 701        |
| <i>Хребтова Т.В., Подлипенская Л.Е., Ошкадер А.В.</i> Особенности оценки экологического состояния прибрежной зоны.....  | 706        |
| <i>Шестакова А.А., Спектор В.Б., Торговкин Я.И.</i> Содержание инженерно-геологической карты республики Саха (Якутия) масштаба 1:1500000.....   | 711        |
| <b>8. СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ НОРМАТИВНО-МЕТОДИЧЕСКОЙ ДОКУМЕНТАЦИИ В ИНЖЕНЕРНОЙ ГЕОЛОГИИ .....</b>  | <b>717</b> |
| <i>Беляев В.Л.</i> Вопросы градостроительного освоения подземного пространства в документах стратегического планирования .....  | 717        |
| <i>Булдакова Е.В.</i> Геоэкологические предпосылки развития новых моделей городского пространства .....   | 723        |
| <i>Воронцов Е.А., Аранбаев Т.А.</i> Специфика оценки изученности инженерно-геологических условий при обследовании грунтов оснований зданий и сооружений для разных этапов жизненного цикла строительных объектов..... | 727        |
| <i>Воронцов Е.А., Дудлер И.В.</i> Категории изученности инженерно-геологических условий строительства (понятия, критерии и принципы оценки при изысканиях).....   | 731        |
| <i>Деменев А.Д., Максимович Н.Г., Хайрулина Е.А., Хмурчик В.Т.</i> Микробиология геологической среды и инженерные изыскания .....   | 736        |
| <i>Елохина С.Н., Киндлер А.А.</i> Паспортизация отработанных горных выработок на Урале как способ управления техноприродными геологическими опасностями .....   | 740        |
| <i>Заиканов В.Г.</i> Геоэкологические технологии и проектирование городов.....  | 745        |
| <i>Караковский В.В.</i> Алгоритм геоэкологического обоснования схем территориального планирования районов Подмосковья (на примере Красногорского района) .....  | 749        |

|  |            |
|--|------------|
| <i>Карфидова Е.А., Сизов А.П.</i> Необходимость геоэкологических исследований в стратегическом и среднесрочном планировании.....   | 753        |
| <i>Кутергин В.Н., Кальбергенов Р.Г., Карпенко Ф.С.</i> Методы лабораторных исследований связных грунтов: совершенствование на основе современных научных представлений ..... | 759        |
| <i>Лукина С.Е., Подкорытова Л.И., Пшеничников К.Г.</i> О проблемах саморегулирования в инженерных изысканиях для строительства .....   | 764        |
| <i>Орлов М.С.</i> О геоэкологическом обосновании проектов особо охраняемых природных территорий .....  | 769        |
| <i>Пендин В.В., Горобцов Д.Н., Никулина М.Е.</i> Методика инженерно-геологического аудита .....  | 772        |
| <b>УКАЗАТЕЛЬ АВТОРОВ</b> .....   | <b>778</b> |

Научное издание

**СЕРГЕЕВСКИЕ ЧТЕНИЯ**  
**Инженерная геология и геоэкология.**  
**Фундаментальные проблемы**  
**и прикладные задачи**

*Выпуск 18*

**Материалы годичной сессии  
Научного совета РАН по проблемам геоэкологии,  
инженерной геологии и гидрогеологии  
(24-25 марта 2016 г.)**

*Издание подготовлено в авторской редакции*

Технический редактор *Н.А. Ясько*  
Компьютерная верстка *М.Н. Заикина*  
Дизайн обложки *М.В. Рогова*

Подписано в печать 29.02.16 г. Формат 70×100/16. Печать офсетная.  
Усл. печ. л. 50,75. Тираж 320 экз. Заказ 274

---

Российский университет дружбы народов  
115419, ГСП-1, г. Москва, ул. Орджоникидзе, д. 3

---

Типография РУДН  
115419, ГСП-1, г. Москва, ул. Орджоникидзе, д. 3, тел. (495) 952-04-41

*Для заметок*

---