

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

СЕРГЕЕВСКИЕ ЧТЕНИЯ

Геоэкологическая безопасность разработки месторождений полезных ископаемых

*Научная конференция
в рамках Года экологии в России*

Выпуск 19

Материалы годичной сессии
Научного совета РАН по проблемам геоэкологии,
инженерной геологии и гидрогеологии
(4-5 апреля 2017 г.)

Москва
Российский университет дружбы народов
2017

УДК 622:504.05/06(063)
ББК 33.3:26.34:20.18
С32

*Издание осуществлено при финансовой поддержке
Российского фонда фундаментальных исследований (грант № 17-05-20037)*

Редакционная коллегия:
В.И. Осипов (ответственный редактор),
О.Н. Еремина (ответственный секретарь),
Н.Г. Анисимова, Г.И. Батрак, В.Н. Бурова, Е.В. Булдакова,
А.С. Викторов, И.В. Галицкая, В.Г. Заиканов, С.В. Козловский,
И.В. Козлякова, Н.Г. Мавлянова, Г.П. Постоев, Д.О. Сергеев

**С32 Сергеевские чтения. Геоэкологическая безопасность
разработки месторождений полезных ископаемых. Вып. 19.**
Материалы годичной сессии Научного совета РАН по проблемам геоэкологии, инженерной геологии и гидрогеологии (4-5 апреля 2017 г.). – Москва : РУДН, 2017. – 592 с. : ил.
ISBN 978-5-209-07464-9

В сборнике опубликованы доклады, представленные на девятнадцатую ежегодную конференцию «Сергеевские чтения» памяти академика Е.М. Сергеева (г. Москва, 4-5 апреля 2017 г.). Чтения были организованы в рамках Года экологии в России и проходили под названием «Геоэкологическая безопасность разработки месторождений полезных ископаемых». На конференции обсуждались следующие темы: концептуальные положения геоэкологической безопасности территорий интенсивной добычи полезных ископаемых; оценка природной опасности и рисков в районах разработки месторождений полезных ископаемых; комплексный мониторинг районов освоения месторождений полезных ископаемых; геоэкологические проблемы размещения отходов горнопромышленного комплекса; проблемы загрязнения и ремедиации подземной гидросферы в горнопромышленных районах; геоэкологические проблемы разработки месторождений криолитозоны и Арктики; новые адаптационные природосберегающие технологии при разработке месторождений полезных ископаемых.

Издание предназначено для специалистов, студентов и аспирантов в области инженерной геологии, гидрогеологии и геоэкологии.

УДК 622:504.05/06(063)
ББК 33.3:26.34:20.18

ISBN 978-5-209-07464-9

© Научный совет РАН по проблемам геоэкологии,
инженерной геологии и гидрогеологии, 2017
© Коллектив авторов, 2017
© Российский университет дружбы народов, 2017



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

ПРЕДИСЛОВИЕ

Научная конференция «Сергеевские чтения» проводится в качестве годичной сессии Научного совета РАН по проблемам геоэкологии, инженерной геологии и гидрогеологии во исполнение постановления бюро ОГГГН РАН №13100/5-49 от 18 марта 1998 года «Об увековечении памяти академика Е.М.Сергеева». Научная проблематика и формат проведения чтений отличаются из года в год. В 2017 г. конференция проводится по проблеме «Геоэкологическая безопасность разработки месторождений полезных ископаемых» в рамках Года экологии в России, объявленного Президентом РФ В.В. Путиным.

Горнодобывающие районы относятся к числу наиболее экологически напряженных территорий, в пределах которых идет интенсивное воздействие человека в ходе его хозяйственной деятельности на ландшафты, биоту, подземные и поверхностные воды, осуществляются выбросы в атмосферу загрязняющих веществ, нарушаются естественные экосистемы. Это приводит к исчерпанию экологической емкости и деградации окружающей среды горнодобывающих районов, появлению экологических проблем: снижение биоразнообразия и качества природной среды, развитие опасных природных процессов, рост заболеваний населения и др. Поэтому важнейшей стратегической проблемой горнодобывающих районов является их экономическое развитие с сохранением здоровой окружающей среды. Эта проблема включает как фундаментальные, так и технологические аспекты техногенеза. Настоящая конференция посвящена этой важной и исключительно сложной проблеме, стоящей перед научными организациями, производственными фирмами и предприятиями.

На предстоящей конференции «Сергеевские чтения» предполагается обсудить следующие фундаментальные научные проблемы: 1. Концептуальные положения геоэкологической безопасности территорий интенсивной добычи полезных ископаемых. 2. Оценка природной опасности и рисков в районах разработки месторождений полезных ископаемых. 3. Комплексный мониторинг районов освоения месторождений полезных ископаемых. 4. Геоэкологические проблемы размещения отходов горнопромышленного комплекса. 5. Проблемы загрязнения и ремедиации подземной гидросферы в горнопромышленных районах. 6. Геоэкологические проблемы разработки месторождений криолитозоны и Арктики. 7. Новые адаптационные природосберегающие технологии при разработке место-

рождений полезных ископаемых. Все предложенные к обсуждению проблемы согласуются с приоритетным направлением развития науки, технологии и техники в РФ «Рациональное природопользование».

В Оргкомитет 19-х Сергеевских чтений поступило 128 докладов из 8 стран. Наибольшее количество докладов заявлено российскими учеными из 25 городов России. Кроме того, к конференции проявили интерес ученые из Азербайджана, Киргизии, Белоруссии, Украины, Таджикистана, Армении, Узбекистана. Из поступивших докладов Оргкомитет конференции принял к печати 111 докладов. Наибольшее количество докладов (17) было заявлено по секции «Проблемы загрязнения природной среды и комплексный геоэкологический мониторинг в районах разработки месторождений полезных ископаемых».

Большое количество поступивших на конференцию докладов свидетельствуют об актуальности заявленной проблемы. Обсуждение этой проблемы и решение конференции будет способствовать реализации программы «Безопасность горных работ», принятой правительством Российской Федерации, в рамках которой, наряду с другими задачами, сформулированы фундаментальные научные исследования государственных академий наук на 2015-2020 гг.

Организаторы Сергеевских чтений рассчитывают, что конференция подведет первые итоги этих исследований и конкретизирует задачи, которые предстоит решить в ближайшие годы.

Все доклады, вошедшие в сборник, опубликованы в авторской редакции.

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

В.И. Осипов

1. ТРАНСФОРМАЦИЯ ПРИРОДНО-ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ РАЙОНОВ ОСВОЕНИЯ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

РАЗВЕДКА И РАЗРАБОТКА РУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ И ИХ ВЛИЯНИЕ НА ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ

И.В. Абатурова, И.А. Савинцев, Л.А. Стороженко, О.А. Борисихина

Уральский государственный горный университет,
г. Екатеринбург, РФ, E-mail: gingeo@mail.ru

Из всех видов хозяйственной деятельности, разработка месторождений полезных ископаемых (МПИ) оказывает наиболее существенное техногенное воздействие на геологическую среду. Причем масштабы воздействия горнодобывающих предприятий не зависят от размеров сооружения, а определяются специфическими особенностями вновь сформированной природно-технической системой (ПТС) в состав которой входят: область взаимодействия (ОВ), включающая основные компоненты геологической среды: геологические, литолого-петрографические, мерзлотно-гидрологические, геодинамические; способы разработки, тип сооружения, конструктивные особенности горных выработок.

Среди способов добычи полезных ископаемых, открытые горные работы являются наиболее экологически напряженным способом добычи, в значительной мере влияющим на компоненты геологической среды. В результате происходит отчуждение земель под карьеры и отвалы пустых пород, нарушение гидрогеологических условий, отмечается смешение вод разного химического состава, истощение запасов подземных вод, нарушение ландшафтов территории, активизация инженерно-геологических процессов.

Подземный способ разработки приводит к изменению гидрогеологических условий, вовлечение в оборот агрессивных и минерализованных сбросных подземных вод; изменение напряженного состояния горных пород в глубине массивов, что влечет за собой формирование горных ударов, вывалов, обрушение кровли, мульда проседания; трансформация ландшафтов, связанная с образованием отвалов и хранением добытого полезного ископаемого. Нарушение естественно сложившегося экологического равновесия приводит

к различным нежелательным процессам, в конечном итоге, влияющим на социальные аспекты общества. Это характерно практически для всех месторождений рудных полезных ископаемых.

Рассмотрим изменение геоэкологических условий на примере разработки уральских месторождений хромитов. Хромовые руды встречаются в виде скоплений хромшпинелидов и являются промышленным источником получения хрома. Основными отраслями потребления хромитов являются производство ферросплавов (55-65% от всего объема потребления), производство огнеупоров (30-35%) и химическая промышленность (10-15%). В металлургии хром применяется при изготовлении специальных сплавов и сталей, различных марок: кислотоупорных, нержавеющей, конструкционных высокой прочности, жароупорных.

Месторождения хромитов имеют магматическое происхождение, пространственно и генетически связаны с комплексами ультраосновных пород. Выделяются два основных промышленных типа месторождений: пластообразные залежи вкрапленных и массивных руд, связанных с ультраосновными массивами платформ (раннемагматические, сегрегационные месторождения); линзы, гнезда и жилы массивных руд в массивах дунит-гарцбургитовой формации эвгеосинклиналей (познемагматические месторождения). К последним и относятся месторождения Урала.

Единственными разведанными месторождениями в России являются Сарановское (Пермский край) и Центральное (Полярный Урал). Однако они только на 5-10% удовлетворяют потребности региона. Поэтому поиски и разведка таких месторождений в будущем очевидны.

Эксплуатация Сарановского месторождения ведется подземным способом на протяжении 100 лет, на Центральном месторождении добыча руды осуществляется открытым и подземным способом в течение последних 20 лет. Оба месторождения расположены в зоне Центрального Уральского поднятия.

В пределах северного габбро-гипербазитового массива Сарановского поля ультрабазитов размещено одноименное месторождение. Рудные тела месторождения пересечены многочисленными дайками диабазов и разрывными нарушениями. Амплитуды смещения рудных тел составляют в разломах 30-50 м, преддайковых нарушениях 4-16 м и в дайках диабазов 3-15 м. Наблюдаются неотектонические подвижки с амплитудой до 30-50 м, продольные приурочены к западному и юго-восточному контактам массива, а поперечные к вершинам г.Сарановской. Верхняя часть месторождения до горизонта +462 м разрабатывалась открытым способом, затем подземным и вскрыто двумя центрально сдвоенными стволами с погоризонтными и этажными квершлагами.

Подготовка шахтного поля осуществлялась полевыми штреками по лежащему боку месторождения и ортами-заездами, проходимыми от штреков до всячего бока через 60 м, разработка осуществляется подэтажно-камерной системой со скважинной отбойкой руды на открытые камеры с оставлением постоянных междукамерных, междублоковых и междуэтажных целиков.

В процессе разработки потолочины часто обрушаются, вследствие чего возникает прорыв обрушенных пород в камеру.

Месторождение «Центральное» находится в пределах горного массива Рай-Из. Породы гипербазитового массива представлены разнозернистыми дунитами и гарцбургитами, затронутыми в разной степени серпентинизацией, с линзовидными и пластообразными телами хромитовых руд. С поверхности несплошным чехлом залегают элювиально-делювиальные отложения, представленные щебнисто-дресвяными супесями и суглинками мощностью 0-15 м.

Массив нарушен зонами дизъюнктивов субширотного и субмеридионального простирания разного порядка. В пределах зон тектонических нарушений породы интенсивно трещиноваты, раздроблены, серпентинизированы, выветрелы, местами ожелезнены. Массив пород заморожен, мощность многолетнемерзлых пород достигает 425 м, температура (-3,5°) С.

Разведанные запасы категорий C_1+C_2 месторождения «Центральное» составляют около 30 млн. т с содержанием Cr_2O_3 – 31%. По результатам аналитических исследований установлено, что богатые руды не требуют обогащения. Открытая разработка месторождения к настоящему моменту завершена на глубине 130 м, далее проектируется разработка подземным (штольневым) способом на горизонтах 300, 360, 420, 480, 540, 600 м.

В результате деятельности добычных работ на месторождениях:

1. Изменились ландшафтно-геохимические условия, в том числе сформировался новый тип ландшафта – техногенно-трансформированный. В состав нового типа ландшафта входят:

а. Карьер площадью: $S=0,75$ км² и глубиной $h=130$ м (месторождение «Центральное») (рис. 1).

б. Зона обрушения: $S=0,019$ км² глубиной до 60 м (месторождение «Сарановское») размещена в непосредственной близости от жилого поселка (рис. 2).

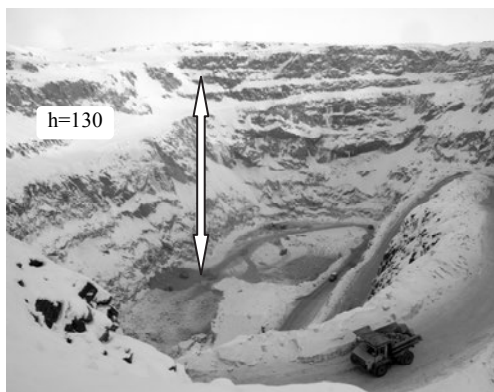


Рис. 1. Карьер
(месторождение «Центральное»)

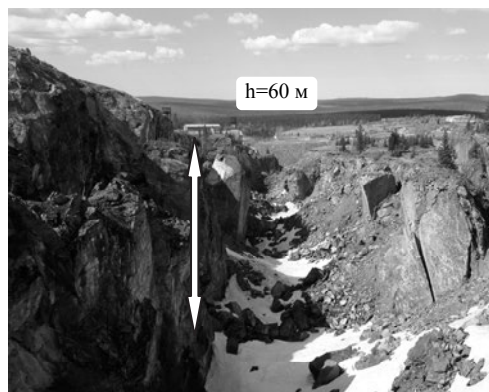


Рис. 2. Зона обрушения
(месторождение «Сарановское»)

с. Отвалы вскрышных пород: общей площадью 0,76 км² максимальной высотой 40 м (месторождение «Центральное»), S= 0,24 км² (месторождение «Сарановское»). В свою очередь отвалы месторождения «Центральное» испытывают гравитационные деформации. В них развивается оползень (рис. 3).

2. Развились инженерно-геологические процессы, угрожающие безопасности добычи полезного ископаемого в том числе:

а. Оседание структурных блоков – возникают по поверхностям ослабления, покрытые тонкими пленками серпентинита.

б. Контактные обрушения, смещение плитчатых блоков, согласных с поверхностями ослабления. Условиями обрушения являются: наличие поверхности ослабления сопряженных с плоскостью борта; слабое сцепление пород, по поверхности трещины, покрытых тальк-серпентинитовым заполнителем. Отрыв блоков происходит по поверхности ослаблений и весь откос смещается в сторону карьера.

с. Осыпи. Если раздробленность горных пород, обнаженных в горных выработках, значительна и образует отдельные небольшие размеры, обрушение их приобретает характер осыпания. Осыпаются мелкие обломки, щебень с откосов и бортов карьеров. Осыпание способствует выполаживанию углов наклона уступов за счет срабатывания берм (рис. 4).



Рис. 3. Оползень в отвалах (месторождение «Центральное»)



Рис. 4. Осыпь в борту карьера (месторождение «Центральное»)

д. Камнепады и вывалы крупных глыб. Причиной формирования вывалов и камнепадов является нарушение равновесия масс горных пород на склонах и откосах, связанных с постоянной действующими сдвиговыми (скалывающимися) составляющими силы тяжести и временно действующими силами гидростатического давления воды, заполняющих трещины в породах.

е. Активизировался процесс выветривания. Горные породы при обнажении покрываются трещинами, расслаиваются. Процесс выветривания проявляется в формировании своеобразной решетки трещин «протектор». В ре-

зультате резко падают прочностные характеристики пород и формируются поверхности ослабления.

3. Изменяется качество атмосферного воздуха, которое связано с поступлением загрязняющих веществ в ходе процесса добычи руды в шахте и карьерах, транспортировки, разгрузки, перегрузки и хранения ее на открытых складах. Происходит выделение в атмосферный воздух пыли хромитовой руды, концентрата хромитовой руды. Руды и породы, поступающие в отвалы не токсичны, не радиоактивны. Загрязнение пылью, содержащей хром, выявлено при исследовании снегового покрова вдоль трассы транспортировки руды (месторождение «Центральное»).

4. Нарушаются гидрогеологические условия (Сарановское месторождение). Эксплуатация которого привела к формированию депрессионной воронки, сопоставимой с контуром месторождения. В результате деформаций пород появилась интенсивная гидравлическая связь между водоносными зонами дробления, с последующим изменением всей фильтрационной структуры месторождения на отработанных глубинах. Площадь депрессионной воронки находится в пределах границ фактического положения мульды сдвижения на поверхности, которая сегодня составляет 0,5 км². Глубина уровня подземных вод в центре депрессионной воронки достигает фактических отметок очистного пространства – +100 м. На флангах Сарановского месторождения за границей зоны сдвижения горных пород уровень подземных вод занимает естественное положение, тесно связанное с рельефом и поверхностным стоком рек.

5. Качество воды в поверхностных водотоках районов обрабатываемых месторождений хромитов изменилось незначительно. На Сарановском месторождении сброс осуществляется после предварительной очистки, на месторождении «Центральное» организованный сброс отсутствует. Многолетний экологический контроль качества вод в поверхностных водотоках показал эпизодические превышения содержания в воде азотных соединений и взвешенных веществ.

Исходя из выше приведенных данных можно заключить, что экологическая ситуация в крупных горнорудных районах вызывает серьезные опасения и требует улучшения технологических циклов разработки.

Литература

1. *Абатурова И.В., Стороженко Л.А., Петрова И.Г., Королева И.А.* Прогноз изменения компонентов инженерно-геологических условий при разработке месторождений полезных ископаемых в криолитозоне // Горный журнал. Руда и металлы. – 2015. – № 9. – С. 22-27.
2. *Калыбеков Т.Ж., Турсбеков С.В., Турсбекова Г.Ж.* Проблемы оценки геоэкологического риска при открытой разработке месторождений полезных ископаемых // Горный журнал. – 2014. – № 4. – С. 64-70.
3. *Ольховатенко В.Е.* Инженерно-геологические и геоэкологические проблемы разработки открытым способом месторождений полезных ископаемых // Сборник трудов Всероссийской конференции с международным участием «Роговские чтения: проблемы инженерной геологии, гидрогеологии и геоэкологии урбанизированных территорий» (г. Томск, 07-09 апреля 2015 г.). – Томск: ТПУ, 2015. – С. 17-22.

ВЛИЯНИЕ ФАКТОРА ОБЩЕСТВЕННОГО МНЕНИЯ ПРИ СОЗДАНИИ ГОРНО-ОБОГАТИТЕЛЬНЫХ КОМБИНАТОВ НА ПРИМЕРЕ НОВОХОПЕРСКОГО ГОКА

Ю.Ю. Алентьев¹, М.И. Ведерникова²

¹ РГГРУ-МГРИ 117997 Москва, ул. Миклухо-Маклая, д. 23, E-mail: alentev49@mail.ru

² Институт Европы РАН 1125993 Москва, ул. Моховая, д. 11, стр. 3 В,
E-mail: maria.vedernikowa@yandex.ru

Строительство крупных горно-обогатительных комбинатов, даже на уровне проекта, обычно сталкивается с серьезным общественным противодействием. Таким образом, мнение местного населения становится одним из факторов, оказывающим влияние на проектирование, строительство и эксплуатацию горно-обогатительных комбинатов. В данной работе рассмотрена роль общественного мнения на примере Новохоперского ГОКа.

В большинстве случаев проектирование, строительство и работа ГОКов сталкивается с негативным отношением местного населения, несмотря на то, что строительство крупного предприятия приводит к развитию инфраструктуры, созданию новых рабочих мест и т.д. Во многом данное негативное отношение связано с опасениями резкого ухудшения экологического состояния района расположения ГОКа, потенциальными техногенными авариями и нештатными ситуациями, которые могут возникнуть в результате работы горно-обогатительных комбинатов.

Именно эти причины были названы, как основные, респондентами при проведении социологического опроса в Воронежской области, в котором приняло участие 100 человек. Воронежская область была выбрана для проведения опроса, так как на ее территории планируется постройка Новохоперского ГОКа. Результаты опроса представлены на диаграмме, приведенной на рис. 1. Как видно из данной диаграммы, большинство респондентов опасаются резкого ухудшения экологического состояния в случае постройки и начала работы ГОКа.

Данные опасения связаны в первую очередь с двумя составляющими:

– малая информированность населения о технических параметрах работы ГОКа, мероприятиях направленных на защиту окружающей среды и др. (так по данным опроса проведенного социологической службой «Ваше мнение» в 2012 году 31% жителей Воронежской области слышали о протестах против проектов разработки месторождений никеля и постройки ГОКа и лишь 2,5% о технических параметрах проекта разработки: способе добычи, технологии, безопасности и т. д.) [7];

– целый ряд примеров, где работа горно-обогатительных комбинатов привела к серьезным негативным экологическим последствиям. В качестве наиболее ярких примеров можно привести работу ГОКов и заводов по произ-

водству меди в районе города Карабаш (Челябинская область) и медно-никелевого комбината в районе города Мончегорск (Мурманская область).

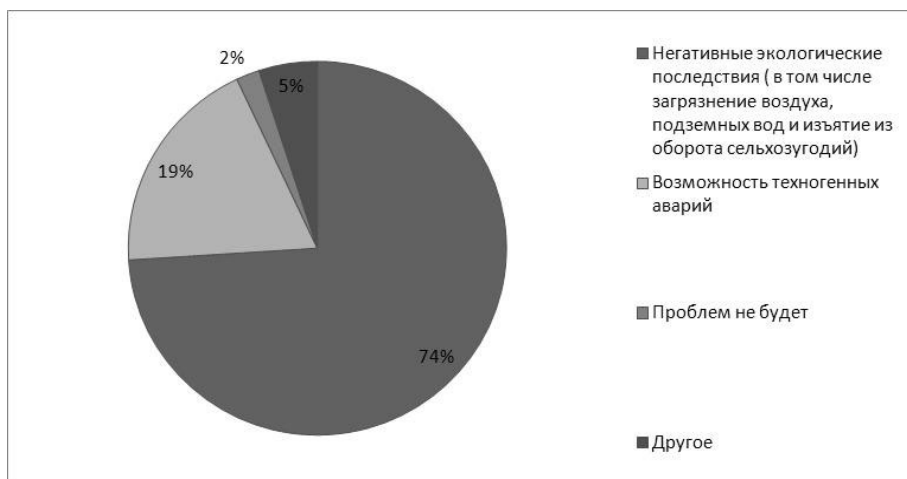


Рис. 1. Результаты опроса «Какие проблемы вас больше всего беспокоят в случае строительства ГОКа на территории Воронежской области?»

Первый завод по производству меди заработал в районе Карабаша в 1837 г. и действовал 5 лет. После открытия крупных залежей медно-колчедановых руд, в 1907 г. был построен новый завод. Данный завод проработал три года. В 1910 г. с использованием передовых технологий построен большой медеплавильный завод, который функционирует с небольшими перерывами и по сегодняшний день. Но вопросами экологии детально на данном предприятии начали заниматься лишь, начиная с середины 1990-х гг., когда стало очевидным серьезное загрязнение окружающей среды тяжелыми металлами и диоксидам серы [3, 6]. При этом данное загрязнение можно подразделить на:

– первичное (непосредственные выбросы в атмосферу, создание шлакоотвалов, шламохранилищ, терриконов и других скоплений твердых отходов производства);

– вторичное (выпадение загрязненных осадков из атмосферы; размыв мест хранения твердых отходов дождевыми, тальными и грунтовыми водами; самоизлив из заброшенных горных выработок), приводящее к расширению ареала загрязнения почвы, поверхностных и грунтовых вод, с последующей высокой вероятностью загрязнения более глубоких водоносных горизонтов.

Следствием постоянного многолетнего загрязнения стало то, что в 1996 г. решением государственной экологической экспертизы территория города Карабаш была охарактеризована как зона экологического бедствия [6].

Медно-никелевый комбинат в районе города Мончегорск основан в конце 30-х гг. XX в. За прошедшее время образовалась обширная территория загрязненных почв и поверхностных водоемов. Основному загрязнению подверглись участки, расположенные в южном и, частично, в восточном направлении от комбината (по преобладающей розе ветров).

В большинстве работ, посвященных последствиям загрязнения природной среды в Мончегорском районе под влиянием медно-никелевого комбината, выделяются четыре зоны загрязнения: зона слабого загрязнения, зона умеренного загрязнения, зона сильного и очень сильного загрязнения.

Основными загрязняющими компонентами, так же как и в Карабаше, являются тяжелые металлы (никель, медь) и диоксид серы. При этом резкое увеличение выбросов диоксида серы началось с момента получения никеля из высокосернистой руды.

Но в отличие от Карабашского завода, медно-никелевый комбинат Мончегорска расположен на территории со сложными физико-географическими условиями в природной зоне лесотундры. Биогеоценозы этой природной зоны относятся к очень хрупким, в которых даже незначительное антропогенное вмешательство может привести к катастрофическим изменениям [4, 5].

В данном районе, в зоне сильного и очень сильного загрязнения, можно визуально наблюдать явление, получившее название «Мончегорский феномен» – массовое поражение лесных массивов под действием выбросов с комбината (рис. 2).



Рис. 2. Поражение лесных массивов (фото Алентьева Ю.Ю.)

На сегодняшний день на Мончегорском комбинате начинает уделяться большое внимание комплексу мероприятий по уменьшению выбросов и реабилитации загрязненных территорий. Комплекс данных мероприятий включает в себя: использование на предприятии уже очищенной от серы руды, установку очистных сооружений, замену загрязненной почвы с последующей высадкой лиственных пород деревьев. Но для полного восстановления пораженной территории потребуется не одно столетие.

Добыча полезных ископаемых и их последующая переработка, без надлежащего контроля и мероприятий по минимизации антропогенного воздействия, может привести к нарушению хрупкого природного равновесия.

В плане по созданию Новохоперского ГОКа выделяются два следующих этапа:

– с 2013 г. по 2016 г. проведение геологоразведочных и поисково-оценочных работ;

– с 2016 г. по 2022 г. (при принятии положительного решения) строительство ГОКа, с получением первой руды в 2022 г.

Общественные протесты против строительства данного ГОКа начались практически сразу после завершения конкурса, проведенного в 2012 г., на право разработки Елkinsкого и Еланского медно-никелевых месторождений в Воронежской области (фактически еще до начала каких – либо геологоразведочных работ). После этого прошел целый ряд протестных акций в Воронеже, Москве, поселке Новохоперск и др., апофеозом которых стало нападение 22 июня 2013 г. радикально настроенных экологов на вахтовый поселок геологов.

В средствах массовой информации (в том числе и интернет-источниках) выделяются две принципиально противоположные позиции. Первая – заключается в том, что постройка данного предприятия имеет огромные экономические и социальные перспективы для Новохоперского района и всей Воронежской области, а влияние на экологию будет минимальным. В качестве примера данной позиции можно привести статью Т. Александровой «Диалог. Но без вранья и лукавства» [1].

Сторонники второй позиции заявляют, что предприятие нанесет колоссальный урон окружающей среде. Будут частично или полностью уничтожены черноземные сельхозугодья Новохоперского района, а последствия загрязнения выйдут далеко за пределы одного района. В качестве примера в целом ряде статей, отражающих вторую позицию, приводится описанный выше комбинат в районе города Мончегорска. Выразителем подобных взглядов является Е. Васильева, автор статьи «А так ли нужен этот никель на Хопре? Аналогия авантюры» [2].

Литература

1. Александрова Т. Диалог. Но без вранья и лукавства // Российская газета. № 6068(92).
2. Васильева Е. А так ли нужен этот никель на Хопре? Аналогия авантюры // <https://7x7-journal.ru/post/29459>

3. Дзугаев М.Д. Карабаш – город «экологического бедствия» // Вестник Челябинского государственного университета. – Челябинск: Изд-во ЧелГУ, 2003. – № 2. – С. 92-97.
4. Пешкова В.М., Савостина В.М. Аналитическая химия никеля. – М.: Наука, 1966.
5. Зенкова И.В. Состояние почвенной мезофауны в зоне воздействия комбината «Североникель» // Тезисы Всероссийского совещания «Антропогенное воздействие на природу Севера и его экологические последствия», 1998.
6. Заключение экспертной комиссии по рассмотрению материалов оценки степени экологического неблагополучия окружающей среды и состояния здоровья населения и проекта Федеральной целевой программы первоочередных неотложных мер на 1996-2000 гг. по выводу территории г. Карабаша Челябинской области из состояния экологического бедствия и оздоровлению населения. – М., 1996.
7. Сайт независимой социологической службы «Ваше мнение». – <http://your-opinion.ru/2012/07/nikel-vrn/>

ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ СОЛИГОРСКОГО ПРОМЫШЛЕННОГО УЗЛА

Т.Г. Алимченко, Т.А. Мележ

Гомельский государственный университет имени Франциска Скорины, г. Гомель,
Республика Беларусь. E-mail: alimchenko_t@mail.ru

Солигорский административный район расположен в южной части Минской области, центром является г. Солигорск (рис. 1). Градообразующим предприятием является РУП «Беларуськалий», относящиеся к горнодобывающей отрасли. В настоящее время Республика Беларусь входит в первую пятерку стран мира, производящих калийные удобрения.

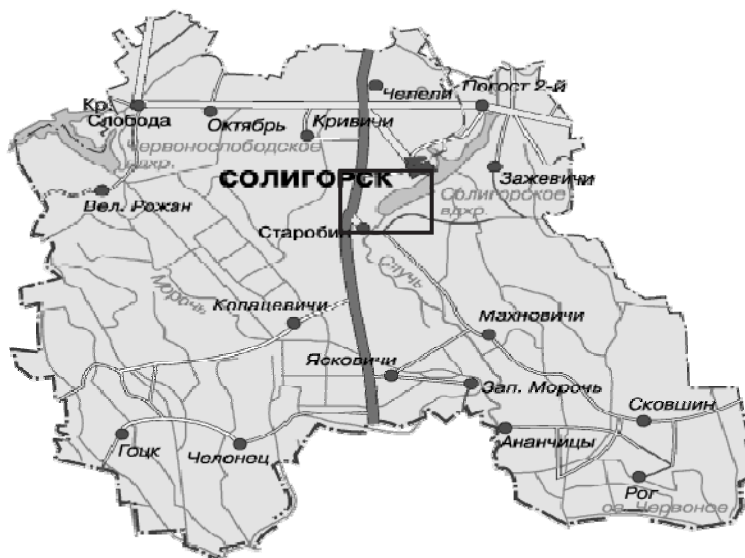


Рис. 1. Карта-схема Солигорского района (масштаб 1 : 500000)

На территории района действует свыше 50 предприятий, производящих выбросы вредных веществ в атмосферу. Среди этих выбросов преобладают оксиды углерода, хрома, азота, серы, железа, ацетальдегид, калийная пыль, хлористый водород, пары аммиака, амина, бензина, окись ванадия, серная кислота, цианиды и т.д.

Солигорский район относится к числу территорий Беларуси, где воздействие человека на земную поверхность является максимальным. Устойчивость рельефа к дальнейшему наращиванию техногенных нагрузок на 80% территории довольно высокая, на 20% – низкая, а в районе калийных комбинатов она равна нулю, т.к. здесь сформировался техногенный бедленд – (bad land – скверные земли) представляют собой непродуктивные или малопродуктивные земли, возникающие на породных отвалах горнодобывающих предприятий, их площадь порядка 1200 га (рис. 2).

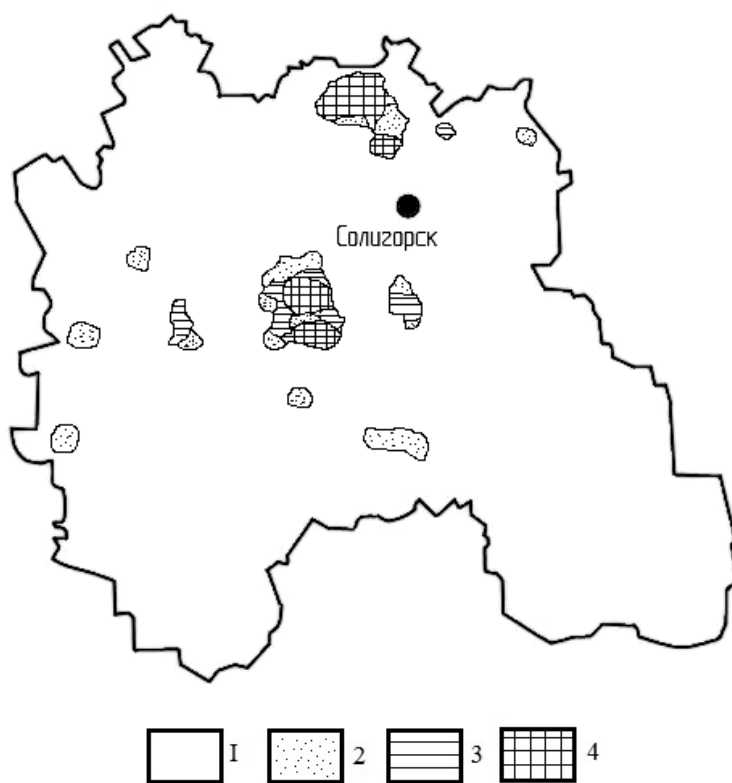


Рис. 2. Карта-схема устойчивости рельефа к техногенным нагрузкам: участки земной поверхности – устойчивые (1), средней устойчивости (2), малоустойчивые (3), техногенный бедленд (4). (Масштаб 1 : 500000)

Интенсивно эксплуатируемым месторождением в пределах Солигорского промышленного района является Старобинское, где наблюдаются негативные процессы и явления, влияющие на состояние геологической среды.

В результате интенсивной отработки калийных горизонтов Старобинского месторождения в земных недрах происходит перераспределение тектонических напряжений, что способствует образованию систем трещин в массивах горных пород, активизации газодинамических явлений, возникновению местных землетрясений. Разработка Старобинского месторождения калийных солей осуществляется в сложных геологических условиях на ограниченном пространстве шахтных полей четырех рудников. Район проведения горных работ отличается высокой геодинамической активностью. Наиболее интенсивно процесс изменения напряженно-деформированного состояния пород протекает при применении систем разработки с малыми потерями запасов калийных руд.

В Солигорском районе отмечаются и сейсмические явления, вызванные концентрацией и разрядкой напряжений в литосфере, энергетическая подпитка которых, возможно, обусловлена сильными карпатскими транзитными землетрясениями. Локальное перераспределение регионального поля напряжений связано с проведением горных работ. К техногенным причинам возникновения чрезвычайных сейсмических ситуаций следует отнести также воздействие солеотвалов, шламохранилищ, Солигорского водохранилища на верхнюю часть литосферы.

Наиболее опасным геодинамическим процессом, развивающимся при эксплуатации Старобинского месторождения, является просадка территории. При возникновении просадок и повышении уровня грунтовых вод имеют место заболачивание, деформации в зданиях и сооружениях, выход из строя подземных коммуникаций. Процесс проседания начинается сразу же вслед за подработкой участка, достигая наибольшей интенсивности через 5 лет, далее постепенно затухает. Техногенные деформации осадочных пород над отработанными горными выработками охватывают толщу мощностью от 400 до 600 м. На поверхности земли они проявляются через 0,5-5 лет после отработки шахтной выработки в виде пологих просадочных мульд площадью до 20 тыс. га, из которых 6,5 тыс. га подвержены заболачиванию. Мульды имеют четкие контуры в пределах холмисто-моренно-эрозионных и вторично-моренных ландшафтов, плавные или расплывчатые очертания на участках вторичных водно-ледниковых ландшафтов. Размеры мульд в поперечнике колеблются от нескольких десятков до первых сотен метров, глубина простираения таких форм до 3-5 м.

Процессы оседания земной поверхности приводят к повышению уровней подземных вод. В условиях равнинно-низинного рельефа Старобинского месторождения, к которому прилегают значительные площади осушенных и естественных болотных массивов с неглубоким залеганием уровня грунтовых вод (УГВ) и развитой речной сетью, наблюдаются процессы затопления земель и населенных пунктов (УГВ выше осевшей поверхности), подтопления (УГВ совпадает с поверхностью земли) и заболачивания (УГВ ниже поверх-

ности на 0,5-0,6 м). Появляется опасность подтопления отдельных участков шламохранилищ и солеотвалов, что может интенсифицировать процесс выноса солей из них через подстилающие водонасыщенные грунты зоны аэрации в грунтовые воды.

Негативные последствия функционирования Солигорского промышленного узла проявляются не только в воздействиях на геологическую среду, но и в загрязнении воздушной среды, подземных вод и земельных угодий (рис. 3).

При добыче и переработке калийной руды в окружающую атмосферу выбрасывается огромное количество газов и пылеаэрозолей, имеющих сложный состав и распространяемых на значительные расстояния. Значительны выбросы диоксида серы, диоксида азота, оксида углерода, хлористого калия и других загрязняющих веществ, которые воздействуют на атмосферу, почву, водные объекты, животный и растительный мир, как вблизи расположения предприятия, так и далеко за его пределами.

Пылегазовые выбросы наносят значительный ущерб сельскохозяйственному производству. Оседая на почве, они способствуют засолению наиболее плодородного пахотного горизонта. За более чем 40-летний период эксплуатации Старобинского месторождения калийных солей на поверхности накопилось свыше 650 млн. т отходов обогащения на общей площади свыше 1350 га и при существующих способах разработки руд количество отходов и занимаемая площадь будут расти.

Общая площадь засоленных почв – около 900 га, из которых на долю загрязнения пылегазовыми выбросами приходится 85%, остальная территория загрязнена рассолами терриконов [2].



Рис. 3. Терриконы близ г. Солигорска (фото авторов)

С учетом сложившейся в районе экологической ситуации необходимо провести ряд мероприятий, направленных на снижение неблагоприятных последствий проявления современных геологических процессов, загрязнения покровных отложений, подземных вод и атмосферы различными поллютантами. В число таких мероприятий входят [3]:

- отселение населения, проживающего в зоне экологически напряженных территорий;
- решение проблем утилизации галитовых и шламовых отходов, противоэрозионных покрытий отработанных участков солейотвалов;
- создание эффективных очистных сооружений, организация замкнутой системы водооборота, изменение технологии промышленного производства, биологическая рекультивация;
- расчистка рек, водоемов и колодцев, оборудование водозаборов, рекультивация карьеров;
- использование для водоснабжения более глубоких водоносных горизонтов – межморенных, подморенных и др.;
- организация экологического мониторинга.

Литература

1. Губин В.Н. Экология геологической среды: учеб. пособие / В.Н. Губин, А.А. Ковалев, С.А. Сладкопечев, М.Г. Ясовеев. – Мн.: БГУ, 2002. – 120 с.
2. Добровольский П.А. В Солигорске растут горы экологических проблем // Интернет-источник: Ежедневник здоровье. Экология. – 2013.
3. Эколого-радиационный паспорт Солигорского района. Госкомитет по экологии Республики Беларусь, АН Беларуси, Солигорский райисполком. – Минск, 1992.

ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ РАЗВИТИЯ ПРИРОДНО-ТЕХНОГЕННОЙ СИСТЕМЫ АПАТИТ-НЕФЕЛИНОВОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ ХИБИНСКИХ ТУНДР

М.К. Грачёва

АО «Центральное производственно-геологическое объединение»,
115191 Москва, ул. 2-ая Рошинская, 10, а/я 12. E-mail: gmk_rosgidrogeo@mail.ru

Горнодобывающий комплекс (ГДК) (рис. 1), ведущий разработку Хибинского горного массива, является ядром природно-техногенной системы (ПТС), сформировавшейся на изучаемой территории в 30-е годы XIX столетия.

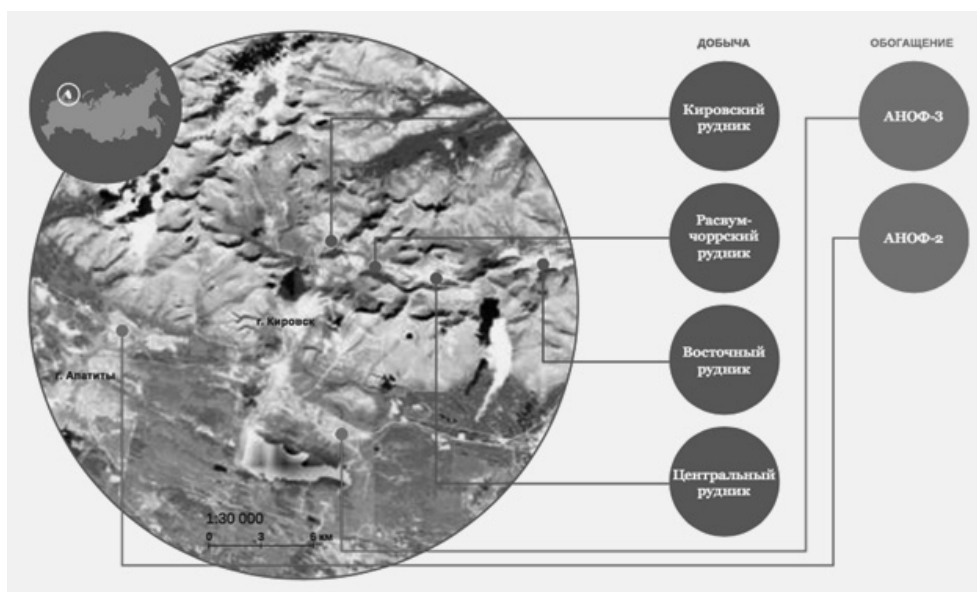


Рис. 1. Схема размещения производственных активов ГДК

I. При исследовании геохимических процессов развития ПТС важную роль играет изучение естественных (природных) условий, в которых заложена данная система.

Проанализировав физико-географические особенности изучаемой территории, необходимо отметить следующее:

1) сложившаяся в пределах природно-техногенной системы природно-геохимическая обстановка является базой для протекания любых дальнейших изменений (процессов и деформаций), возникающих в результате развития техногенной составляющей ПТС;

2) для исследуемого объема компонентов среды, в пределах которого базируется объект изучения (ПТС), а также в зоне влияния данной ПТС естественные (природные) факторы формирования геохимической обстановки являются *основополагающими*, а в большинстве случаев – *определяющими*, в то время как техногенно обусловленные факторы имеют более резкий (интенсивный), но при том менее масштабный характер воздействия на те или иные компоненты среды;

3) среди геохимических особенностей исследуемого района наиболее важными в процессах развития ПТС являются:

– **в отношении геологического строения:** исследуемая ПТС базируется на крупной геологической «аномалии», представленной месторождением апатит-нефелиновых руд, отличительной особенностью которых является высокое содержание щелочных пород (рис. 2);

– **в отношении природных вод:** химический состав природных вод формируется в пределах рассматриваемой системы без привлечения гипотетического внешнего источника;

– **в отношении геохимии ландшафтов:** географическое положение исследуемой территории, ее климатические особенности формируют уникальную геохимическую обстановку, названную *Хибино-Ловозерской геохимической провинцией*. Ландшафт данных территорий относится к типу *гидроморфных*, т.е. определяющим миграционным фактором является вода;

4) основными факторами, определяющими гидрогеологические условия Хибинского массива, являются [3]:

а) влажный климат с высоким количеством атмосферных осадков и малым испарением: преобладание атмосферных осадков над испарением в 5-10 раз;

б) обособленное, резко возвышающееся над окружающей равниной, положение массива;

в) значительная расчлененность рельефа, обуславливающая близость областей питания и разгрузки подземных вод, а также глубоко врезанную речную сеть в пределах массива;

г) хорошая обнаженность интрузивных массивов и их интенсивная трещиноватость, обусловленные развитой трещинной тектоникой;

д) большая мощность четвертичных отложений в депрессиях кристаллического фундамента.

II. Техногенная составляющая на рассматриваемой территории представлена сложным комплексом факторов, имеющих прямое влияние на геохимическую историю развития ПТС.

В результате проведенных полевых, лабораторных и камеральных работ удалось выявить следующие основные техногенные факторы трансформации природной среды Хибинских тундр [2]:

1) нарушение геологической среды разработкой месторождений открытым и закрытым способами;

2) транспортировка подземных рудничных вод на дневную поверхность и их подача в систему прудов-отстойников, а также последующий их сброс в естественную среду;

3) плохое состояние гидротехнических сооружений;

4) технологический цикл ГДК и процессы обогащения апатит-нефелинового сырья с образованием многотоннажных отходов добычи и производства;

5) использование взрывчатого вещества и солевых хладореагентов;

6) пылевой перенос с поверхности хвостохранилищ и отвалов.

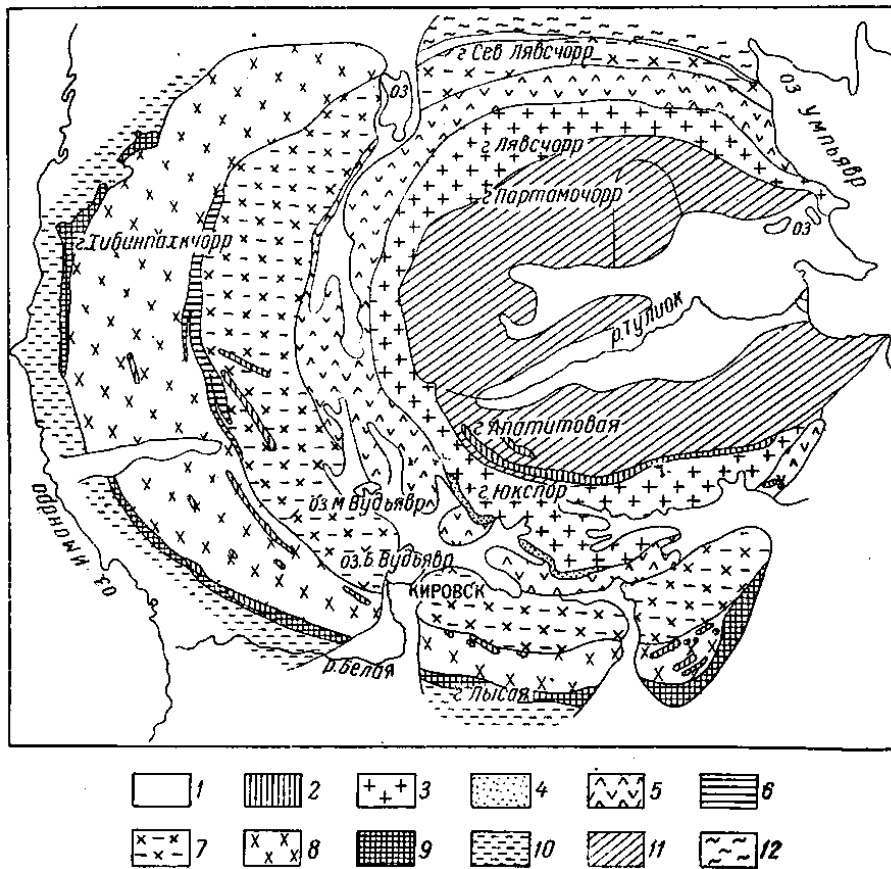


Рис. 2. Геолого-минералогическое строение Хибинского щелочного массива:

- 1 – четвертичные отложения; 2 – жильные породы; 3 – рисчорриты;
 4 – апатито-нефелиновые породы; 5 – ийолит-уртиты; 6 – щелочные сиениты;
 7 – трахитоидные хибиниты; 8 – гранитоидные хибиниты; 9 – роговики;
 10 – зеленокаменные породы свиты «Имандра-Варзуга»; 11 – фойяиты;
 12 – архейские гнейсы

III. Выявлены основные процессы, позволяющие нагляднее всего проследить динамику геохимического развития ПТС:

- преобразование рельефа;
- воздушное загрязнение;
- геохимическая нагрузка почв;
- гидрохимический и динамический режимы подземных и поверхностных водных объектов.

Современный ГДК представляет собой сложную систему взаимосвязанных производств, состоящую из открытых и закрытых горных выработок,

систем внутренних производственных активов (перерабатывающие и обогащительные фабрики, горно-породные отвалы, пруды-отстойники, хранилища и др.), коммуникационных, транспортных, энергетических и других сетей, жилых поселков и других объектов, относящихся непосредственно к добыче твердых полезных ископаемых и вспомогательным производствам.

В результате активных геохимических процессов, запущенных в 30-е годы XX столетия, сформировались подтвержденные проведенным опробованием и лабораторным исследованием геохимические аномалии, поддающиеся классификации на основе функционального зонирования [1]:

- урбогеохимические аномалии;
- агротехнохимические аномалии;
- техногеохимические аномалии.

Данные результаты были подтверждены картографическим методом обобщения информации и ГИС-анализом полученных результатов.

Литература

1. Вдовина О.К., Лаврусевич А.А., Грачева М.К. Дифференциация природных и техногенных геохимических полей в зоне влияния горнорудных комплексов // Материалы VII Международной научной конференции «Геоэкологические проблемы современности». – Владимир, 2015. – С. 128-131.
2. Грачёва М.К. Факторы гидрогеохимической трансформации природной среды на объектах с накопленным экологическим ущербом (на примере апатит-нефелинового месторождения Кольского полуострова) // Недропользование XXI век. – 2015. – Вып. 2. – С. 78-85.
3. Мазухина С.И. и др. Условия формирования природных поверхностных и подземных вод Кольского Севера (на примере Хибинского массива) // Вестник МГТУ. – 2010. – Т. 13. – №4(1). – С. 816-825.

ОЦЕНКА ИЗМЕНЕНИЙ ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ СРЕДЫ ПРИ РАЗРАБОТКЕ ТВЕРДЫХ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ (НА ПРИМЕРЕ МЕДНОКОЛЧЕДАННЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ЮЖНОГО УРАЛА)

С.В. Григорьева

Институт геоэкологии им. Е.М. Сергеева РАН, 101000, Москва, Уланский пер., д. 13, стр. 2.
E-mail: v_vel@mail.ru

При разработке и интенсивной добыче твердых полезных ископаемых происходят изменения всех компонентов геологической среды: ландшафта, геологического строения, гидрогеологических и гидрогеохимических условий, состава, состояния и физико-механических свойств горных пород, геодинамического состояния территории. Все эти изменения тесно взаимосвя-

ны, создают определенную геоэкологическую безопасность территории освоения и характеризуются рядом своеобразных особенностей.

Специфика изменений геологической среды зависит как от конкретных инженерно-геологических условий территории месторождения и вида полезного ископаемого, так и от ряда факторов искусственного нарушения природной среды. К последним относятся способ и методы разработки месторождения, способы обогащения полезного ископаемого, мероприятия по осушению территории, по ликвидации и ослаблению природных геологических процессов и явлений, создание различных хранилищ твердых и жидких отходов, строительство и эксплуатация сложного комплекса промышленных предприятий на территории месторождения и другие факторы [1].

Медноколчеданные месторождения Южного Урала (Учалинское, Верхнеуральское, Магнитогорское, Сибайское, Гайское и др.) расположены на территории Магнитогорского инженерно-геологического региона – одного из крупнейших горнодобывающих комплексов России.

В тектоническом отношении Магнитогорский регион входит в состав Южно-Уральского структурного сегмента сложно построенного линейного сводово-глыбового Центрально-Уральского поднятия. Регион ограничен глубинными разломами, с которыми связаны интрузии основных пород. В тектоническом строении Магнитогорского региона принимают участие собственно Магнитогорский синклинорий и ряд крупных положительных и отрицательных тектонических структур – Таналык-Баймакская и Берчогурская синклинали, Халиловский массив и Ирендыкская, Шошкальская, Аюсазская антиклинали. Суммарные амплитуды новейших тектонических движений составляют здесь 350-400 м [2, 6].

Наиболее распространенные горные породы Магнитогорского региона – изверженные (порфиры, порфириты) и осадочные образования (породы карбонатной формации силура, девона и карбона). Основные типы поверхностных отложений – мощные коры выветривания, включающие сильно трещиноватые скальные породы и элювий карбонатных и глинисто-карбонатных пород глинистого состава.

Все перечисленные выше медноколчеданные месторождения Южного Урала приурочены к долине реки Урал и разрабатываются здесь наиболее дешевым открытым (карьерным) способом. Большинство карьеров в связи с истощением запасов полезных ископаемых уже давно имеет весьма значительную (в сотни метров) глубину. За десятилетия эксплуатации этих месторождений произошли заметные и разнообразные изменения геологической среды.

Изменения геологической среды, установленные нашими исследованиями на самом южном – Гайском месторождении (типичном медноколчеданном месторождении Южного Урала), в принципе характерны для всех перечисленных выше месторождений.

Нарушен природный ландшафт, что выразилось в образовании типичных для горнопромышленных районов новых форм рельефа – денудационных (карьеры) и аккумулятивных (отвалы), в образовании искусственных во-

доемов (хвостохранилище, шламоотстойник, пруды-накопители и др.), в нарушении почвенно-растительного покрова.

Изменены гидрогеологические условия, что проявилось в заметном нарушении гидродинамического режима подземных вод и образовании новых видов поверхностных и подземных вод. Произошла сработка уровней водоносных горизонтов, что вызвало изменение условий питания и разгрузки подземных вод, развитие депрессионных воронок и водопроявлений в выработках.

В процессе добычи руды и ее переработки образовались сточные воды Гайской обогатительной фабрики и кислые шахтные воды (после процесса цементации). Кроме того, образовались технические воды, содержащие ряд примесей (преимущественно нефтепродукты), которые образуются после охлаждения оборудования и спускаются в канализацию. Все это способствовало загрязнению грунтовых толщ, почв, поверхностных и подземных вод токсичными элементами.

Изменены состав, структурно-текстурные особенности, состояние и свойства горных пород, в результате чего активизировались процессы выветривания, проявилась ветровая и водная эрозия, развились различные склоновые процессы (осыпи, обвалы, оползни) в бортах карьеров и на откосах отвалов [4].

Важно отметить, что под отвалами горных пород и руд, которые оказывают существенное влияние на рост водопритоков в горные выработки и на развитие рудного (сульфидного) карста, происходит формирование новых техногенных водоносных горизонтов сернокислых подземных вод. При этом особенно хорошо подотвальные водоемы и рудный карст проявляются на Гайском и Учалинском медноколчеданных месторождениях [3]. Хотя развитие сульфидно-карстовых процессов в карстующихся известняках характерно для всех медноколчеданных месторождений на Южном Урале.

В связи с общностью природной обстановки, а также горнотехнических условий эксплуатации и характера изменений геологической среды под влиянием горнодобывающей промышленности на Южном Урале были разработаны и предложены некоторые рекомендации для осуществления геологической безопасности этих территорий.

1. Для прогноза региональных и локальных изменений инженерно-геологических условий на территориях с интенсивным развитием горнодобывающей промышленности создать комплекс режимных наблюдений на специально заложённой сети контрольных пунктов.

2. В проектах предусматривать максимальное хозяйственное использование вскрышных пород и проведение соответствующего отвалообразования, обеспечение эффективно действующего дренажа вдоль бортов карьеров и откосов отвалов для снижения интенсивности проявления склоновых процессов и загрязнения окружающих территорий.

3. Разработать проекты рекультивации обработанных площадей и отвалов, на нейтрализацию и перехват кислых вод, утилизацию токсичных пород.

4. Предусмотреть использование карьерных и шахтных вод для хозяйственных целей.

Литература

1. Григорьева С.В., Неизвестнов Я.В. Опыт строительства и изменение природных условий под влиянием деятельности человека. Разработка месторождений // Инженерная геология СССР. Т. 5, часть II (Урал), раздел III. – Изд. Моск. ун-та, 1978. – С. 210-216.
2. Попов И.В., Терешков Г.М. Инженерно-геологическая характеристика Магнитогорского региона // Инженерная геология СССР. Т. 5, часть II (Урал), раздел I, глава 9. – Изд. Моск. ун-та, 1978. – С. 187-193.
3. Гаев А.Я. Об инженерно-геологических исследованиях Магнитогорского региона // Семинар «Эффективные методы инженерно-геологических исследований Урала». – Пермь: изд. Перм. ун-та, 1986. – С.11-13.
4. Пантелеева Т.И., Григорьева С.В. Исследования изменений геологической среды при разработке твердых полезных ископаемых (на примере Гайского ГОКа) // Научно-техн. конф. «Изучение инженерно-геологических условий месторождений Урала различных генетических типов». – Свердловск: изд. Свердл. горн. ин-та, 1983. – С. 18.
5. Макаров В.И., Григорьева С.В. Закономерности новейшей тектонической структуры Сибирской платформы // Геоэкология. – 2013. – № 2. – С. 99-114.

КОНЦЕПТУАЛЬНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ТЕРРИТОРИЙ ИНТЕНСИВНОЙ ДОБЫЧИ ТВЕРДЫХ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ УРАЛА

О.Н. Грязнов, С.Н. Елохина

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

Геоэкологическая безопасность территорий интенсивной разработки месторождений твердых полезных ископаемых (МТПИ) должна базироваться на всестороннем изучении, оценке состояния и прогнозе последствий горно-промышленного техногенеза активной и пассивной стадий [5]. Стадия активного техногенеза охватывает период разработки месторождения горнодобывающим предприятием. Пассивная стадия – период прекращения добычных работ и, как правило на Урале, мокрой консервации (затопления) горных выработок. Активной стадии свойственны техногенные процессы, пассивной – природно-техногенные процессы, происходящие в массиве горных пород МТПИ, на поверхности и прилегающих территориях (нередко за границей горного отвода). Комплексы техногенных и природно-техногенных процессов, установленные на большинстве освоенных месторождений Урала, приведены в таблице.

Таблица

**Техногенные и природно-техногенные геологические процессы
при разработке месторождений твердых полезных ископаемых Урала [4]**

Группы* и классы процессов	Виды процессов и их проявлений	
	Активная стадия горнопромышленного техногенеза (техногенные процессы)	Пассивная стадия горнопромышленного техногенеза (природно-техногенные процессы)
1	2	3
1. Ландшафты	Создание техногенного ландшафта	Деградация ранее образованных и создание новых элементов техногенного ландшафта (карьерные озера и пр.)
2. Антропогенный литогенез	При ведении горных работ	После закрытия предприятия
2.1. Субаэральный	Насыпные грунты: отвалы горных пород и забалансовых руд; при строительстве дорог, рекультивации карьерных выемок, провалов и зон обрушения; намывные грунты: хвосты обогащения	Деградация, физическое и химическое выветривание отвалов горных пород и забалансовых руд и других техногенных образований
2.2. Субаквальный	Техногенный аллювий	Вынос и осаждение взвешенных частиц при изливании шахтных вод и деградации техногенных грунтов
2.3. Субтерральный	Техногенное выветривание; погребенные технологические потери горных пород и руд	Деградация и размыв подземных техногенных полостей, подземная суффозия
3. Гидрогенная	Дренаж шахтных и карьерных полей	Подъем уровня подземных вод (полное или частичное самозатопление шахтных и карьерных полей)
3.1. Гидродинамический	Техногенные зоны аэрации, сброс дренажных вод с подтоплением и заболачиванием, эрозионным размывом	Изменение структуры фильтрационного потока подземных вод; излив шахтных вод на поверхность земли, подтопление и заболачивание; в ряде случаев сохранение водоотлива (полностью или частично) и техногенной зоны аэрации
3.2. Геохимический	Активизация геохимических процессов	Активизация геохимических процессов: растворение вторичных минералообразований, смешение, разбавление, осаждение

Окончание таблицы

1	2	3
3.3. Гидрохимический	Загрязнение поверхностных и подземных вод	Загрязнение поверхностных и подземных вод, в том числе на водозаборах
4. Геодинамический	Оползни, обвалы, осыпи в открытых горных выработках и зонах обрушения	Активизация техногенных поверхностных гравитационно-эрозионных процессов
5. Субтерральная	При ведении подземных горных работ	После закрытия предприятия
5.1. Литодинамический	Деформационные процессы вследствие перераспределения напряженно-деформационного состояния массивов горных пород: горные удары, стреляние, разрушение горных выработок, техногенные землетрясения; зоны обрушения; вывалы, осыпание горных пород; пучение глинистых пород	Нарушение напряженно-деформационного состояния массивов горных пород при их вторичном замачивании: разжижение и снижение прочностных свойств горных пород; гравитационно-эрозионные процессы
5.2. Гидрогеодинамический	Прорывы подземных вод и пльвунов	Прорывы подземных вод и пльвунов из старых выработок в новые
5.3. Геодинамический	Активизация карстовых и суффозионных процессов	Активизация карстовых и суффозионно-карстовых процессов, техногенная механическая суффозия
5.4. Геотермический	Подземные пожары и взрывы газов	Формирование особого геотемпературного градиента

* – Группы выделены жирным шрифтом.

МТПИ и окружающая его природная среда представляют природно-техническую систему (ПТС), охватывающую все многообразие взаимоотношений инженерных объектов (или сооружений) с компонентами природной среды [2]. Типы ПТС весьма разнообразны. Они определяются многими факторами, важнейшие из них – тип инженерного объекта (горнодобывающего предприятия – ГДП) или сооружения, геологические и ландшафтно-климатические условия природной среды.

ПТС «МТПИ – ГДП» включает две подсистемы: «сооружение» (шахта или карьер с их инфраструктурой) и «область взаимодействия» (ОВ). Последняя представляет собой объем массива скальных горных пород, в котором происходит изменение естественных условий в процессе строительства и эксплуатации «сооружения» при разработке МТПИ. ОВ формируется в кон-

кретных физико-географических, геолого-структурных, литолого-петрографических, мерзлотно-гидрогеологических и геодинамических условиях, которые характеризуются набором компонентов, определяющих особенности и тенденции процессов изменения ГС при вторжении ГДП в массив горных пород [1]. Эта система на активной и пассивной стадиях горнопромышленного техногенеза продуцирует многочисленные геологические опасности и риски, которые необходимо выявлять, изучать, оценивать и прогнозировать их развитие.

Выявление, изучение и оценка геологических условий территорий интенсивной добычи твердых полезных ископаемых Урала возможно при проведении комплексной инженерно-геологической, гидрогеологической и геологической съемки. Масштаб съемки зависит от размеров рудных районов, полей и месторождений. Как правило, это масштаб 1:50000 – 1:10000. Проведение съемок лимитируется нормативными документами [7, 11], опытом работы отдельных коллективов [3, 8, 9, 10]. Конечная цель комплексной съемки – оценка геологических условий территории, ее районирование по степени геологической опасности. По результатам съемочных работ на участках выявленных опасностей и рисков необходима постановка мониторинга состояния недр. Его вид определяется типом опасных процессов и явлений [6].

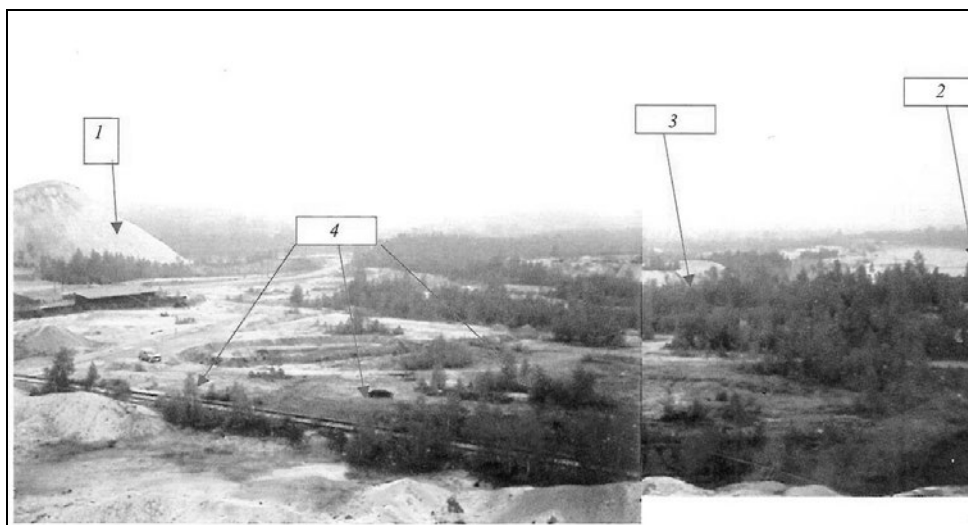


Рис. 1. Панорама территории Дегтярского техногенеза пассивной стадии на участках между шахтой «Капитальная-1» и затопленным карьером шахты «Колчеданной»:

1 – террикон безрудных пород шахты «Капитальная-1»; 2 – затопленный карьер на участке бывшей шахты «Колчеданная»; 3 – северная зона обрушения (провалы заполняются пустыми породами); 4 – отвал пустых пород

Примером геоэкологически опасного объекта, требующего пристального внимания специалистов, проведения оценки геоэкологического состояния, разработки природоохранных мероприятий и проекта рекультивации может служить территория Дегтярского рудника, отработавшего за 60 лет до глубины 610 м одноименное медноколчеданное месторождение на Среднем Урале, в 40 км к западу от г. Екатеринбурга (рис. 1).

По материалам мониторинга осуществляется прогноз развития негативных процессов, разрабатываются природоохранные мероприятия с целью минимизации причиняемого ущерба и проекты рекультивации. Однако необходимо учитывать, что проведение рекультивационных мероприятий не может полностью дезактивировать последствия природно-техногенных процессов.

Таким образом, геоэкологическая безопасность территорий интенсивной добычи твердых полезных ископаемых определяется, во-первых, комплексом опасных геологических процессов специфических для активной и пассивной стадии техногенного воздействия. Во-вторых, информационное обеспечение геоэкологической безопасности достигается средствами картографирования, а также ведения сквозных мониторинговых наблюдений, включая период рекультивационных и пострекультивационных мероприятий.

Литература

1. *Абатурова И.В., Грязнов О.Н.* Инженерно-геологические условия месторождений Урала в скальных массивах // Изв. вузов. Горный журнал. – 2014. – № 6. – С. 160-168.
2. *Грязнов О.Н.* Природно-технические системы – универсальные системы взаимодействия инженерных сооружений (объектов) и природной среды // Известия УГГУ. – 2015. – Вып. 4 (40). – С. 5-10.
3. *Грязнов О.Н., Брусницын В.Д., Бордокова В.Г.* Методические основы геоэкологического районирования урбанизированных территорий (на примере Воронцовского рудного поля. Сев. Урал) // Известия УГГА. Серия: геология и геофизика. – 2002. – Вып. 15. – С. 243-252.
4. *Грязнов О.Н., Елохина С.Н.* Горнопромышленный техногенез при разработке месторождений твердых полезных ископаемых Урала // Ресурсовоспроизводящие, малоотходные и природоохранные технологии освоения недр. Матер. XIV Международ. конфер. – Москва (Россия) – Бишкек (Кыргызстан), 14-20 сент. 2015. – С. 257-259.
5. *Елохина С.Н.* Гидрогеоэкологические последствия горного техногенеза на Урале / под ред. О.Н. Грязнова. – Екатеринбург: ООО «УИПЦ», 2013. – 187 с.
6. *Королев В.А.* Мониторинг геологических, литотехнических и эколого-геологических систем / под ред. В.Т. Трофимова. – М.: КДУ, 2007; 2015. – 416 с.
7. Методические рекомендации по проведению гидрогеологической и инженерно-геологической съемки масштаба 1:50000 для целей промышленного и гражданского строительства / А.А. Островский, И.М. Цыпина. – М.: ВСЕГИНГЕО, 1984. – 103 с.
8. *Осипов В.И.* Карта крупномасштабного (детального) инженерно-геологического районирования территории г. Москвы / В.И. Осипов и др. // Геоэкология. Инженерная геология. Гидрогеология. Геокриология. – 2011. – № 4. – С. 306-318.
9. *Осипов В.И.* Районирование геологической среды города Москвы для целей строительства объектов с заглубленными основаниями / В.И. Осипов и др. // Геоэкология. Инженерная геология. Гидрогеология. Геокриология. – 2001. – № 3. – С. 227-237.

10. Отчет по комплексной гидрогеологической, инженерно-геологической и геоэкологической съемке М 1:50000 листа Q-42-50-А (Салехард) / О.Н. Грязнов и др. – Екатеринбург, 2004.

11. Требования к геолого-экологическим исследованиям и картографированию масштаба 1:50000 – 1:25000 / М.С. Голицын, В.Н. Островский, Л.А. Островский. – М.: ВСЕГИ-НАГЕО, 1990. – 127 с.

РЕГИОНАЛЬНАЯ СПЕЦИФИКА ИНЖЕНЕРНЫХ ИЗЫСКАНИЙ КАК ФАКТОР ОБЕСПЕЧЕНИЯ ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ В КОНТЕКСТЕ ЗАДАЧ УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ УРФО

О.М. Гуман¹, Е.О. Вегнер-Козлова^{2,3}

¹ Уральский государственный горный университет, г. Екатеринбург, ул. Куйбышева, 30.
E-mail: guman2007@mail.ru

² УрФУ имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, г. Екатеринбург, ул. Мира, 19.

³ Институт экономики УрО РАН, г. Екатеринбург, ул. Московская, д. 29.
E-mail: katya.human@mail.ru

Социально-экономическое развитие общества, ориентированное на быстрые темпы экономического роста, породило беспрецедентное причинение вреда окружающей природной среде. Человечество столкнулось с противоречиями между растущими потребностями мирового сообщества и невозможностью биосферы обеспечить эти потребности. Устранение сложившихся противоречий возможно только в рамках стабильного социально-экономического развития, не разрушающего своей природной основы. Переход к устойчивому развитию предполагает постепенное восстановление естественных экосистем до уровня, гарантирующего стабильность окружающей среды [10]. Достижение устойчивого социально-экономического развития регионов при сохранении его природного капитала дает возможность обеспечения качества жизни, соответствующего уровню современных стандартов развитых стран. Гарантия экологической безопасности (в том числе и геоэкологической) и достижение параметров «зеленой экономики» входят в задачи перехода к устойчивому развитию. Однако решение этой проблематики сегодня не в достаточной степени обеспечено эффективными методическими подходами и практическим инструментарием, адекватными современным эколого-экономическим вызовам.

Устойчивость развития во многом зависит от функционирования «зеленой экономики» [2]. В качестве базиса «зеленой экономики» выступает фундаментальный закон ограниченности ресурсов и отступление от парадигмы, рассматривающей категорию потребления как стимул воспроизводства, предполагающий, что большее потребление обуславливает большее производство. Гипертрофированно растущее мировое промышленное и сельскохо-

зависимое производство и соответствующий ему спрос на ресурсы и полезные ископаемые предполагает дальнейшее сохранение зависимости от нефти, газа и других видов ископаемого топлива. Этот тренд называется «коричневая экономика» (brown economics). Статистические показатели подтверждают, что социально-экономические результаты УрФО определяются сложившейся региональной спецификой структуры производства, детерминированной влиянием товарно-сырьевой конъюнктурой мировых рынков, то есть именно «коричневой экономикой».

Концепция устойчивого развития как основная парадигма управления экономическими системами определила необходимость принимать за объект управления весь природно-хозяйственный комплекс крупных, экономически обособленных регионов [8].

Переход к устойчивому развитию должен обеспечить на перспективу сбалансированное решение социально-экономических проблем на основе сохранения благоприятной окружающей среды и природно-ресурсного потенциала. Указанная цель определила ряд приоритетных задач:

- стабилизировать экологическую ситуацию;
- достичь экологизации экономической деятельности и распространения экологически ориентированных методов управления;
- внедрить энерго- и ресурсосберегающие технологии и целенаправленно изменить структуру личного и общественного потребления.

При этом проблемы, решаемые в каждом регионе, в значительной степени должны соответствовать федеральным задачам, но также необходим учет местных особенностей.

Урал относится к числу старейших горнодобывающих регионов России, и является одним из крупнейших в России регионов по величине разведанных и прогнозируемых запасов полезных ископаемых. Это предопределило экстенсивное развитие таких видов экономической деятельности как черная и цветная металлургия, строительство, химическое производство, добыча полезных ископаемых, включая золотодобычу.

Освоение месторождений твердых полезных ископаемых на Урале продолжается более трехсот лет, однако в современных условиях значительное внимание уделяется инженерным, в том числе инженерно-экологическим изысканиям. В последние годы началась разработка месторождений, находящихся на значительном удалении от промышленных центров или ранее считавшихся малоперспективными, в том числе медноколчеданных – Тарньерское, Новошешемурское, Шешемурское, Юбилейное, Султановское, Летнее, Левобережное; железорудных – Теченское, золоторудных – Кировское, Южно-Кировское. Помимо этого, в разработку включаются техногенно-минеральные месторождения, представленные различными видами минерального сырья. Экологическая обстановка в историческом аспекте на освоенных территориях формируется геохимическими особенностями пород региона, деятельностью горных и перерабатывающих предприятий в прошлом, деятельностью горных и перерабатывающих предприятий в настоящем, влиянием

заброшенных горных выработок, отвалов, свалок на компоненты окружающей среды [6].

Инженерно-геологические особенности Уральского региона, в том числе и районов месторождения, обусловлены линейностью большинства тектонических элементов Уральского складчатого пояса, их выдержанностью в субмеридиональном направлении, преимущественным развитием магматических пород на восточном склоне, с вторичными изменениями вмещающих пород, и первично осадочных, закарстованных – на западном; широким возрастным диапазоном слагающих его пород (от древних, сильнометаморфизованных до современных четвертичных, недоуплотненных); исключительным разнообразием разновозрастных магматических проявлений, разной степенью трещиноватости и выветрелости скальных пород, наличием кор выветривания, особенно на восточном склоне региона, неотектоническими движениями земной коры, с сохранением на участках относительных опусканий коры выветривания, а на участках относительных поднятий – с ее сносом [4].

Большую роль в формировании инженерных особенностей играют подземные воды. Уральский регион по современной схеме гидрогеологического районирования размещается на площади четырех крупных бассейнов подземных вод первого порядка: Восточно-Русского и Предуралья артезианских; Большеуральского сложного бассейна корово-блоковых (трещинно-пластово-блоковых) вод; Западно-Сибирского артезианского бассейна [1].

Распространение инженерно-геологических процессов в пределах отдельных месторождений обусловлено сменой ландшафтно-климатических зон в меридиональном направлении: в зоне развития многолетнемерзлых пород развиты процессы морозного пучения, солифлюкция, термокарст, термоэрозия, в таежной зоне (избыточного увлажнения) – склоновые, суффозионные процессы, заболачивание, подтопление, в степных районах – процессы, связанные с увлажнением поверхностных отложений – набухание, просадки, пучение и др.; а также наличием горно-добывающих комплексов, формирующих процессы по масштабам охвата территорий соизмеримые с природными – оползни, осыпи, овражная эрозия, карстово-суффозионные процессы, воронки обрушения на обрабатываемых территориях; значительные перепады высот в горной полосе Урала способствуют формированию больших объемов поверхностного и подземного стока с территорий, с выносом каменного материала. Небольшие перепады высот в равнинной части Урала, относительно ровные территории приводят к тому, что доля поверхностного и подземного стока в круговороте воды уменьшается, происходит застой воды, заболачивание территорий; густая речная сеть активно формирует эрозионные процессы, увлажненные грунты аллювиального комплекса отличаются малой несущей способностью, что влияет на устойчивость инженерных сооружений [7].

Инженерные изыскания на вновь осваиваемых рудных месторождениях выполняются для: подземных горных выработок, открытых горных выработок, сопутствующих наземных сооружений различного назначения (дороги, кучи выщелачивания, отвалы, отстойники, ЛЭП, копры шахтных стволов, административные здания и др.). Они являются комплексными, включают

геодезические, геологические, экологические, гидрометеорологические работы и должны охватывать, как правило, всю площадь горного и земельного отводов, т.е. всю территорию, подвергающуюся воздействию горного предприятия [7]. Особенностью территорий месторождений является наличие в числе инженерно-геологических элементов околорудно-измененных пород – метасоматитов, обладающих специфическими свойствами [3]. На завершающем этапе работ горного предприятия выполняется санация территории месторождения или рекультивация нарушенных горными работами земель, что требует значительных объемов инертных грунтов, которые по своему происхождению могут быть природными и техногенными.

Использование отходов в качестве материала для рекультивации земель определяет необходимость оценки их экологической опасности, изучения минерального состава и концентраций тяжелых металлов для изучения возможности их последующего использования. Воздействие объектов размещения отходов горного производства (отвалов, хвостохранилищ) на геологическую среду проявляется как взаимосвязанное развитие геохимических процессов воздушной и водной миграции тяжелых металлов и других веществ, загрязняющих окружающую среду, и геодинамических процессов, определяющих устойчивость подобных объектов. На разных этапах их существования связь геохимических и геодинамических процессов имеет свои особенности и приоритеты. Устойчивость, гравитационные процессы, выветривание, заболачивание могут быть связаны с дефляцией, прорывами дамб обвалования (Качканарское хвостохранилище), подтоплением, сползанием и выпором пород основания (шлакоотвал ОАО «СУМЗ»), морозным выпучиванием отходов.

В то же время нельзя не отметить защитные свойства пород, препятствующие распространению загрязнения с поверхности в подземные воды. Например, при рекультивации карьеров песками переработки медеплавильных шлаков в слабопроницаемых глинистых породах элювиально-делювиального генезиса происходит накопление просачивающихся атмосферных осадков на границе «песок – глинистый грунт» с насыщением последнего в верхней части водой [5].

Глубина проникновения загрязнения обусловлена глубиной смачивания грунтов зоны аэрации (2,0-3,0 м), т.е. загрязнение происходит при инфильтрации загрязненного фильтрата в грунты зоны аэрации, которые в увлажненном состоянии являются геохимическим барьером для фильтрата. Комплекс тяжелых металлов в глинистых грунтах ниже глубины 1,0-3,0 м резко отличается от такового в песках строительных, соответствует комплексу металлов, накапливающихся при выветривании горных пород [5]. Линейные коры выветривания, ориентированные вкрест потока подземных вод, являются геохимическим барьером для загрязненных потоков подземных вод.

На современном этапе результаты инженерных изысканий обусловлены историей освоения регионов. Разведанные природные месторождения до этапа отработки не оказывают существенного влияния на компоненты окружающей природной среды, техногенные инженерно-геологические процессы

не проявляются. Техногенно-минеральные месторождения [9], сформированные в прошлом, активно влияют на компоненты окружающей среды на этапе их существования, а также могут активизировать инженерно-геологические процессы в пределах прилегающих территорий. В процессе разработки природные месторождения становятся крупными источниками загрязнения всех компонентов окружающей среды, проявляются инженерно-геологические процессы, связанные с подработкой территории, осушением горных пород. По окончании горных работ формируются техногенно-минеральные месторождения, которые становятся новыми основными источниками воздействия на окружающую среду и меняют инженерно-геологические условия прилегающих территорий. Техногенные месторождения на этапе их отработки способствуют улучшению экологической ситуации вокруг них [6].

Литература

1. Абатурова И.В., Афанасиади Э.И., Грязнов О.Н., Гуман О.М., Дубейковский С.Г., Новиков В.П., Палкин С.В., Парфенова Л.П. Проблемы гидрогеологии, инженерной геологии и геоэкологии при разведке и эксплуатации месторождений твердых полезных ископаемых на Урале // Известия Уральского горного института. – 1993. – № 2. – С. 189-199.
2. Бобылев С.Н., Захаров В.М. Зеленая экономика и модернизация. Эколого-экономические основы устойчивого развития // Бюллетень Института устойчивого развития Общественной палаты РФ «На пути к устойчивому развитию России». – 2012. – № 60.
3. Гуман О.М., Макаров А.Б., Долинина И.А., Ворожжев А.В. Свойства метасоматитов колчеданных месторождений Урала как специфических грунтов // РАН «Сергеевские чтения». Вып. 12. Материалы годичной сессии Научного совета РАН по проблемам геоэкологии, инженерной геологии и гидрогеологии (23-24 марта 2010). – М.: РУДН, 2010. – С. 248-253.
4. Гуман О.М., Дубейковский С.Г. Инженерно-геологическая типизация железорудных месторождений Урала // Инженерная геология. – 1991. – № 3. – С. 36-42.
5. Гуман О.М., Долинина И.А., Макаров А.Б., Рудой А.Г. Использование отходов переработки отвальных шлаков для рекультивации нарушенных земель горнодобывающего комплекса // Известия вузов. Горный журнал. – 2010. – № 4. – С. 43-49.
6. Гуман О.М., Макаров А.Б., Мусина О.М. Особенности инженерных изысканий при освоении рудных месторождений в Уральском регионе // Известия вузов. Горный журнал. – 2012. – № 1. – С. 134-137.
7. Гуман О.М., Макаров А.Б., Долинина И.А., Захаров А.В., Ворожжев А.В. Опыт инженерно-экологических изысканий в Уральском регионе // Перспективы развития инженерных изысканий в строительстве в Российской Федерации. Материалы VII Общероссийской конференции изыскательских организаций 15-16 декабря 2011 г. – М.: ООО «Геомаркетинг», 2011. – С. 97-99.
8. Дьяков М.Ю. Развитие природно-хозяйственного комплекса региона на принципах эколого-экономической сбалансированности (на примере МО Камчатского края): автореф. дис. ... канд. эконом. наук. – Санкт-Петербург, 2014
9. Талалай А.Г., Макаров А.Б., Зобнин Б.Б. Техногенные месторождения Урала, методы их исследования и перспективы разработки // Известия вузов. Горный журнал. – 1997. – № 11-12. – С. 20-36.
10. Указ Президента РФ от 01.04.1996 № 440 «О Концепции перехода Российской Федерации к устойчивому развитию».

**ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ
ИЗУЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ ЭКСПЛУАТАЦИИ
ЯКОВЛЕВСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ БОГАТЫХ ЖЕЛЕЗНЫХ РУД
НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА ПОДЗЕМНОГО ПРОСТРАНСТВА
КАК МНОГОКОМПОНЕНТНОЙ СИСТЕМЫ**

Р.Э. Дашко, И.В. Алексеев

Санкт-Петербургский горный университет, кафедра ГиИГ, 199106, Санкт-Петербург, В.О.,
21 линия, д. 2. E-mail: regda2002@mail.ru, alekseew.ivan@gmail.com

Яковлевское месторождение относится к Белгородской группе месторождений КМА и обладает огромными запасами богатых железных руд (БЖР), в которых содержание полезного компонента превышает 60%. Такие руды не требуют обогащения и могут непосредственно поступать в металлургическое производство.

Яковлевский рудник был введен в эксплуатацию с годовым объемом добычи 0,5 млн. т. в 2007 г. На протяжении последующих нескольких лет четко прослеживался рост добычи руды, увеличившейся к 2013 г. в два раза, что привело к развитию деформаций кровли на рабочем горизонте -370 м. Согласно новым проектным решениям объем извлекаемой руды не должен превышать 1,4 млн. т.

Специфика инженерно-геологических условий объекта обусловлена тем, что работы на нем ведутся в корах химического выветривания, которые залегают под мощной толщей осадочных пород верхнего палеозоя, мезозоя и кайнозоя, на глубинах, превышающих 500 м (рис. 1). Генезис БЖР, который связан с активными химическими и биохимическими процессами, сопровождающимися выносом кремнезема, серы, фосфора из железистых кварцитов и сланцев, предопределяет ряд некоторых особенностей в их строении, залегании и инженерно-геологических характеристиках: плащеобразное залегание рудного тела; незакономерное распределение руд разных типов по мощности и простиранию, варьирование степени их трещиноватости; высокая пористость БЖР за счет процессов выщелачивания; неравномерная водопроницаемость по площади и глубине разреза рудной толщи, вмещающих и перекрывающих ее пород; высокая гидрофильность некоторых типов БЖР; высокая степень изменчивости прочности руд и пород; анизотропия физико-механических свойств как БЖР, так и вмещающих пород; присутствие глинистых продуктов выветривания (хлорита, шамозита) в дисперсных рудах [4].

Принимая во внимание высокую степень неустойчивости БЖР в обнажениях выработок, камерно-слоевая система разработки ведется с полной закладкой образующихся на горизонте -370 м пустот легкими бетонами с проектной прочностью 10 МПа.

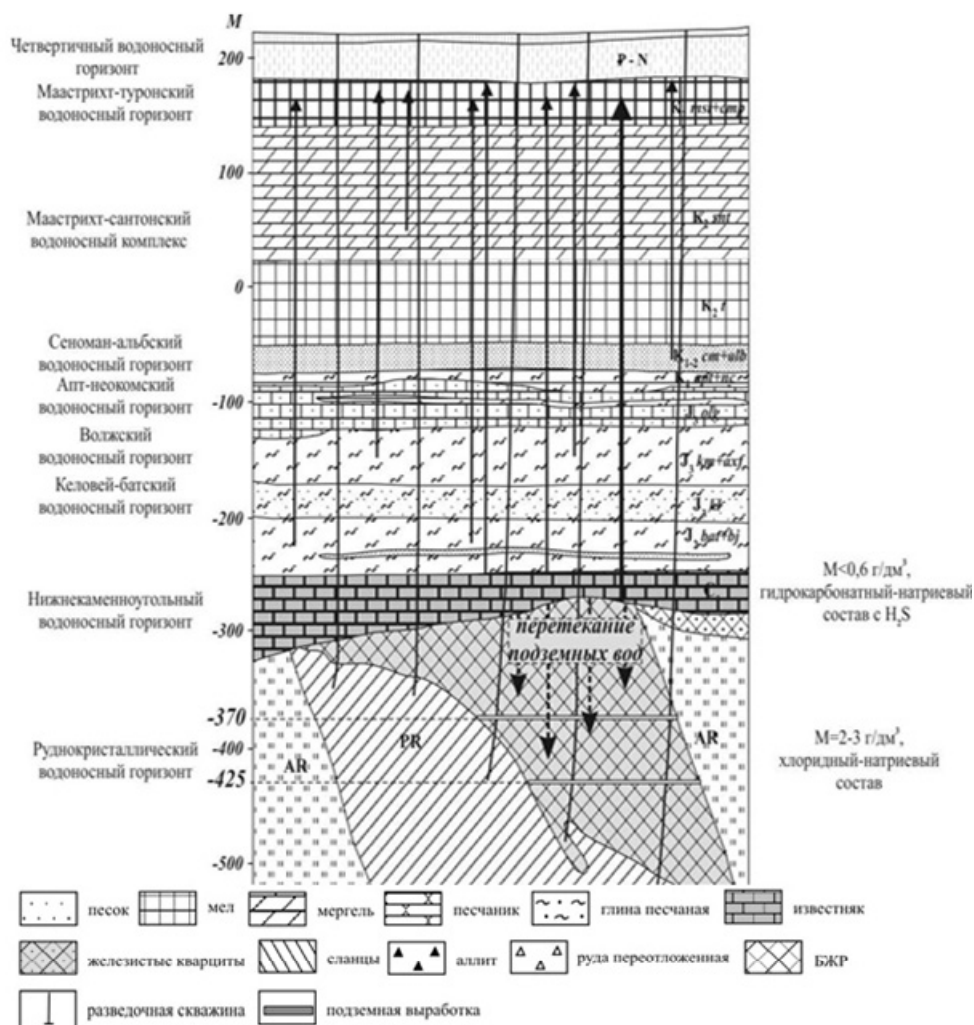


Рис. 1. Схематический разрез Яковлевского месторождения

Сложность горно-геологических условий определяется также особенностями гидрогеологической обстановки месторождения и применяемой системой осушения. Следует отметить, что работы в настоящий момент ведутся под несколькими неосушенными высоконапорными водоносными горизонтами, гидравлически связанными между собой. В условиях дренирования только руднокристаллического горизонта (рудного тела) с помощью самоизливающихся горизонтальных и слабонаклонных скважин при сохранении неизменно высоких напоров в вышележащих водоносных горизонтах изменяются гидродинамические условия месторождения – возрастает градиент напоров. Данное обстоятельство предопределяет нисходящее перетекание

вод нижнекаменноугольного водоносного горизонта через верхнюю часть рудной толщи между кровлей рабочего горизонта -370 м и подошвой нижнекаменноугольных отложений, которая выступает в качестве водозащитного целика (рис. 1). Влияние перетекания проявляется во вторичном увлажнении ранее осушенных БЖР, приводящем к резкому снижению их угла внутреннего трения и переходу в плавунное состояние, «размягчению» за счет растворения карбонатов жестких карбонатизированных руд, служащих жестким каркасом водозащитной толщи, и снижении прочности руд с глинистым цементом. Кроме того, эти воды агрессивны по отношению к материалу крепей и бетонов закладки.

По мере расширения фронта горных работ и увеличения объемов добычи БЖР на месторождении происходит активизация инженерно-геологических процессов, во многом определяющая безопасность эксплуатации объекта. Ранее произведена систематизация процессов природного и природно-техногенного генезиса на Яковлевском руднике, в которой они разделены по генетическим типам и уровням опасности [2]. К наиболее опасным относится формирование локальных прорывов подземных вод из неосушенного высоконапорного нижнекаменноугольного водоносного горизонта.

При рассмотрении безопасности ведения горных работ, для предупреждения либо локализации опасных природно-техногенных процессов необходимо анализировать подземное пространство рудника как многокомпонентную систему, в которой выделяются и изучаются не только горные породы и руды, а также подземные воды, но и микробиота, подземные газы различного генезиса и взаимодействие с ними подземных несущих конструкций – крепей горных выработок и закладочного материала [5].

Проводимый на Яковлевском руднике в течение более 10 лет комплексный мониторинг показал наличие богатой подземной микробиоты. Кроме аборигенных микроорганизмов, связанных непосредственно с древними корами химического выветривания железистых кварцитов, выделена также микробиота, привнесенная в рудную толщу. Часть ее поступает за счет восходящего перетекания минерализованных подземных вод через тектонические трещины гранитных тел. Еще одним источником является нисходящее перетекание вод нижнекаменноугольного горизонта, в котором наблюдается интенсивное развитие сульфатредуцирующих бактерий, чья деятельность определяется наличием в нижней части указанного горизонта сульфатов и органического вещества (в форме бурых углей и битуминозных глин) [3].

Микробиота негативно воздействует на трансформацию физико-механических свойств БЖР, переводя их в состояние плавунув. Кроме того, микроорганизмы и формируемые ими биопленки, развивающиеся при обильном содержании влаги в материалах и наличии питательного субстрата, оказывают существенное влияние на характер протекания электрохимических процессов, приводя к активной деструкции конструкционных материалов [1]. Изучение численности и видового разнообразия микробиоты Яковлевского рудника в ходе проведенного специализированного мониторинга дало воз-

возможность установить и подтвердить активность биокоррозионного разрушения бетонов закладки и металлических крепей (рис. 2, 3).



Рис. 2. Прогрессирующая коррозия железобетонных плит-стяжек

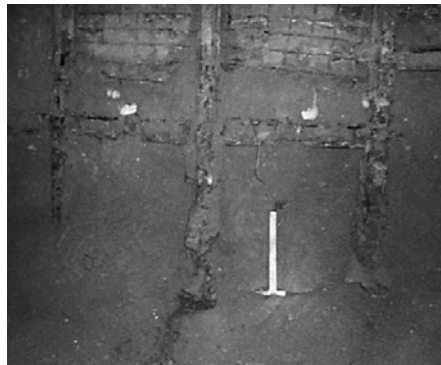


Рис. 3. Отложение продуктов коррозии на поверхности арочной крепи

Процесс биокоррозионного разрушения происходит преимущественно по двум направлениям.

1. Продуктами метаболизма микробиоты, к которым относятся органические и неорганические кислоты, газы, а также ферменты.

2. Путем извлечения необходимых для жизнедеятельности микроорганизмов ионов и соединений из строительных материалов.

Среди анаэробных форм микроорганизмов наиболее опасны сульфат-редуцирующие бактерии, которые способны восстанавливать сульфаты с образованием большого количества сероводорода, повышающего кислотность среды, значительно ускорять ход электрохимических процессов, способствуя протеканию коррозии в форме питтингов и утончения металлических конструкций.

В аэробной среде наиболее опасны тионовые и нитрифицирующие бактерии, деятельность которых обусловлена продуцированием ими сильных минеральных кислот – серной и азотной (или азотистой), а также железобактерии, способные окислять двухвалентное железо до Fe^{3+} , которое, после вторичных реакций, превращается в гидроксиды железа. Все названные микроорганизмы в большом количестве присутствуют на Яковлевском руднике.

Роль газовой компоненты подземного пространства рудника связана, во-первых, с действием радона, который определяет негативные процессы радиолитического преобразования горных пород, руд, конструкционных материалов и подземных вод, а также активизацию микробиоты. Радоновая съемка, неоднократно проводившаяся в составе комплексного инженерно-геологического мониторинга, позволила установить повышенную радиоактивность в районе тектонических трещин. Во-вторых, с богатыми микробио-

ценозами химических кор выветривания рудного тела в сочетании с привнесенными микроорганизмами, которые способны к интенсивной газогенерации в условиях оптимальных температур и наличия в породах и подземных водах органических соединений различной природы.

К газам биохимического генезиса относятся сероводород, поступающий в процессе перетекания воды из нижнекаменноугольного горизонта, и диоксид углерода. Содержание агрессивной угольной кислоты по данным гидрогеохимического опробования достигает 310 мг/дм³. Наличие растворенных газов выщелачивает карбонаты из водозащитного целика на горизонте -370 м, а также активно разрушает цемент бетонов, а H₂S формирует кислую среду, способную ускорять разрушение металлов.

Литература

1. Дашко Р.Э., Алексеев И.В. Значение микробиологических процессов при геотехническом и инженерно-геологическом обеспечении устойчивости подземных выработок Яковлевского рудника (Курская магнитная аномалия) // Геотехника. – 2013. – № 3. – С. 36-47.
2. Дашко Р.Э., Феллер Е.Н. Формирование и развитие горно-геологических процессов в зависимости от изменения инженерно-геологических и гидрогеологических условий на Яковлевском руднике // Записки Горного института. – СПб, 2012. – № 199. – С. 151-160.
3. Колодяжная А.А., Крюкова В.Г. О происхождении карста в отложениях нижнего карбона Курской магнитной аномалии. Геохимия подземных вод некоторых районов Европейской части СССР. – М.: Изд. АН СССР, 1963. – С. 38-59.
4. Цибизов А.Н. Опыт инженерно-геологического анализа структуры рудного тела Яковлевского месторождения (по материалам разведки) // Вопросы геологии, инженерной геологии и гидрогеологии месторождений КМА. – М.: Ростехиздат, 1961. – С. 55-63.
5. Dashko R.E., Alekseev I.V. Underground space of Saint-Petersburg as a multicomponent system: engineering geological and geotechnical aspects of its development // Proceedings of 13th Baltic Sea Geotechnical Conference: "Historical Experience and Challenges of Geotechnical Problems in Baltic Sea Region", Lithuania, 22–24 September 2016. – P. 78-84.

К МЕТОДИКЕ ОЦЕНКИ ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ГОРНОПРОМЫШЛЕННЫХ РАЙОНОВ

**В.А. Исмаилов, А.А. Адылов, И.А. Агзамова,
Н.Р. Норматова, Д.Ш. Бозоров**

Ташкентский государственный технический университет,
1000095, г. Ташкент, ул. Университетская, д. 2. E-mail: Vakhit.mbm@mail.ru

Предприятия горнодобывающей промышленности относятся к наиболее интенсивным источникам воздействия на геоэкологическую среду. По И.И. Косиновой, любое горнодобывающее предприятие оказывает воздейст-

вие на окружающую среду по следующим направлениям: 1) прямое изъятие земельных ресурсов, растительности, поверхностных и подземных вод, наносящее ущерб экосистемам; 2) привнесение в геоэкологическую среду загрязняющих веществ (в том числе через вторичное загрязнение), а также визуальных доминант, шумов, вибраций, различных температур, геодинамических напряжений; 3) активизация экзогенных процессов, осложняющая градостроительство; 4) нарушение естественных свойств геологической среды, техногенная денудация, техногенная аккумуляция; 5) разубоживание полезного ископаемого; 6) уничтожение (деградация) почв, уменьшение их плодородия, отчуждение пахотных и пастбищных земель; 7) загрязнение, истощение и изменение химического состава подземных и поверхностных вод, нарушение гидродинамического режима подземных вод, нарушение гидрологического режима подземных вод, возникновение техногенных поверхностных водотоков; 8) изменение почвенно-грунтовой толщи; 9) перемещение многомиллионных тонн горных пород; 10) формирование техногенного ландшафта; 11) угнетение растительности, экосистем различного уровня организации [2]. При этом основными компонентами формирования геоэкологической среды в горнопромышленных районах выступают формы рельефа, типы почв, поверхностные и подземные воды, горные породы, геологические процессы и явления и их инженерно-геологические аналоги.

При оценке геоэкологического состояния территории, на наш взгляд, более достоверным (в практическом смысле) является дифференцированный подход, т.е. оценка каждого компонента по принятым критериям. С этой позиции предлагается оценить состояние геоэкологической среды по компонентам в территориальных единицах, т.е. выделенных на топографической карте горнопромышленного района. В качестве критериев оценки состояния приняты 4 градации: удовлетворительное (геоэкологическое состояние в пределах установленных норм), менее удовлетворительное (по одному или двум компонентам геоэкологическое состояние нарушено или не соответствует принятым нормам), неудовлетворительное (по двум компонентам геоэкологическое состояние сильно нарушено) и катастрофическое (по нескольким компонентам геоэкологическое состояние нарушено).

Для апробации разработанной методики оценки геоэкологического состояния горнопромышленного района привлечены материалы полевых инженерно-геологических, гидрогеологических и геофизических исследований в пределах Алмалыкского горнопромышленного района [1].

Ниже приведены количественные и качественные показатели оценки компонентов геоэкологического состояния в ИЯ (Исследуемая Ячейка):

1. Оценка состояния рельефа в горнопромышленных районах (табл. 1), где основным критерием оценки принята площадь изменения рельефа.

2. Оценка состояния почвенного горизонта в горнодобывающих районах (табл. 2). В качестве критерия оценки использована площадь загрязнения почв.

3. Оценка измененности поверхностных вод в горнодобывающих районах обобщена в табл. 3, где критерием является изменение стока поверхностных вод.

4. Оценка измененности подземных вод в горнодобывающих районах дана в табл. 4. В качестве критериев приняты подъем УПВ и степень загрязнения подземных вод.

5. Оценка измененности грунтов показана в табл. 5, где критерием выбраны изменения физико-механических и водных свойств грунтов в верхних слоях дисперсных грунтов.

6. Оценка развития инженерно-геологических процессов и явлений в горнодобывающих районах показана в табл. 6.

Итак, для оценки измененности геоэкологической среды в исследуемой ячейке суммируем частные оценки компонентов. При этом каждой степени измененности компонентов присваивается множительный коэффициент. Так, сильно измененным присваивается коэффициент 3, средне измененным 2, слабо измененным 1, неизменным 0. В связи с тем, что каждый компонент геоэкологической среды имеет не одинаковый вес оказываемого ущерба окружающей среде, нами установлены следующие весовые нагрузки из расчета 10 баллов: рельеф – 2,0, подземные воды – 2,0, почвы – 1,0, поверхностные воды – 1,5, грунты – 2,0 и инженерно-геологические процессы и явления – 1,5. Суммарная оценка измененности геоэкологической среды в исследуемой ячейке определяется путем сложения веса каждого компонента.

Таблица 1

Оценка состояния рельефа в горнопромышленных районах

Компонент	Общая характеристика измененности компонента	Уровень измененности (количественные показатели)	Оценка геоэкологического состояния
РЕЛЬЕФ	Сильно переработанный рельеф: карьеры, отвалы пустых пород, хвостохранилище	В ИЯ – рельеф изменен на площади более 50%; величина изменения высоты/глубины расчленения более 20 м	Катастрофическое
	Отвалы вскрышных пород, шламо-хвостохранилище, твердые бытовые отходы, дорожные насыпи и выемки	В ИЯ – рельеф изменен на площади от 25 до 50%; величина изменения высоты/глубины расчленения более от 5 м и более	Неудовлетворительное
	Измененный рельеф при планировке, расчленении склонов, засыпка отвалами, золо-шламохранилище, бытовые отходы	В ИЯ – рельеф изменен на площади до 25%; величина изменения высоты/глубины расчленения до 5 м	Менее удовлетворительное
	Исторически сложившийся рельеф сохранен	В пределах ИЯ рельеф не изменен или в пределах допустимых норм	Удовлетворительное

Таблица 2

Оценка состояния почвенного горизонта в горнодобывающих районах

Компонент	Общая характеристика измененности компонента	Уровень измененности (количественные показатели)	Оценка геоэкологического состояния
ПОЧВЫ	Почвенный покров удален при открытой добыче, уничтожен (изменен) под отвалами и хвостохранилищем, а также насыпями	В ИЯ площадь выведенных из сельхозоборота земель составляет практически до 100% Почвенный горизонт полностью деградирован.	Катастрофическое
ПОЧВЫ	Эрозия, заболачивание, повышения УГВ, покрытие поверхности почвы биотиками. Повышение плотности почв физико-химическими процессами, засоление	Площадь выведенных из сельхозоборота земель вследствие их деградации, на площади 1 км ² , подлежащих частичной (до 50%) рекультивации	Неудовлетворительное
	Уничтожение гумусового горизонта, уплотнение почвенного горизонта Превышение ПДК химических веществ, Снижение уровня активной микробной массы	Площадь выведенных из сельхозоборота земель вследствие их загрязнения на площади 1 км ² , подлежит рекультивации до 25%-ной площади ИЯ	Менее удовлетворительное
	Территория, не тронутая горнодобывающей промышленностью	Площадь находится в сельхозобороте земель или является пастбищем	Удовлетворительное

Таблица 3

Оценка измененности поверхностных вод в горнодобывающих районах

Компонент	Общая характеристика измененности	Уровень измененности (количественные показатели)	Оценка геоэкологического состояния
ПОВЕРХНОСТНЫЕ ВОДЫ	Изменение гидрографической сети в результате засыпки речных долин, строительство водоотводящих каналов с карьерного поля, поверхностный сток выведен трубопроводами и др.	В ИЯ естественный речной сток прекращен на всей площади.	Катастрофическое
	Потери вод в результате строительства дамб, запруда речушек наносами, устройство малых водоемов, озер, прудов. Подпитка грунтовых вод	В ИЯ расход естественный сток поверхностных вод изменен от 25% до 50%	Неудовлетворительное
	Потери воды в результате фильтрации воды в зону аэрации и в трещинные зоны горных пород, а также потери воды за счет испарения	В ИЯ расход естественного речного стока изменен менее 25%	Менее удовлетворительное
	Естественная форма речных долин и расходы воды не изменены	Сохранение естественного речного стока	Удовлетворительное

Таблица 4

Оценка измененности подземных вод в горнодобывающих районах

Компонент	Общая характеристика измененности компонента	Уровень измененности (количественные показатели)	Оценка геоэкологического состояния
ПОДЗЕМНЫЕ ВОДЫ	Повышение УПВ за счет нарушения гидродинамических параметров подземных вод в результате подпор поверхностных вод	В ИЯ на более 50% площади наблюдается подъем уровня подземных вод (более 5 м)	Катастрофическое
	Наличие в подземных водах загрязняющих веществ (нитраты, фенолы, тяжелые металлы, соединения хлора, нефтепродукты и др.). Повышение минерализации грунтовых вод	В ИЯ на площади более 50% загрязнение подземных вод составляет более 5 – кратной величины ПДК	
	Подъем УПВ в результате изменения русла поверхностных вод	Подъем УПВ от 3 до 5 м наблюдается на более, чем 50% площади ИЯ	Неудовлетворительное
	Наличия в подземных водах загрязняющих веществ (нитраты, фенолы, тяжелые металлы, соединения хлора, нефтепродукты и др.). Повышение минерализации подземных вод	В ИЯ на площади более 50% загрязнение подземных вод превышает 3-5 кратную величину ПДК	
	Подъем УПВ в результате изменения гидродинамических параметров, изменение русла поверхностных вод	Подъем УПВ до 3 м наблюдается на 50% площади ИЯ	Менее удовлетворительное
	Наличия в подземных водах нитратов, фенолов, тяжелых металлов, хлорорганических соединений, нефтепродуктов, канцерогенов. Повышение минерализации подземных вод	В ИЯ на площади более 50% загрязнение подземных вод достигает 3-кратной величины ПДК	
	Гидрогеодинамические параметры подземных вод не изменены	Величина колебания УПВ в пределах многолетнего режима	Удовлетворительное
	Изменение гидрогеохимического состава воды не наблюдается	Состав подземных вод в пределах естественного состояния	

Таблица 5

Оценка измененности грунтов

Компонент	Общая характеристика измененности	Уровень измененности (количественные показатели)	Оценка геоэкологического состояния
ГРУНТЫ	Дисперсные грунты (песчаные и глинистые грунты) уплотнены под действием статических и динамических нагрузок. Повышение содержания солей в зоне аэрации. Грунты преобразованы	В ИЯ физико-механические и водные свойства дисперсных грунтов изменены до глубины 5 м на более 50% площади	Катастрофическое
	То же	В ИЯ физико-механические и водные свойства дисперсных грунтов изменены до глубины 5 м на 25-50% площади	Неудовлетворительное
	То же	В ИЯ физико-механические и водные свойства дисперсных грунтов изменены до глубины 5 м на площади до 25%	Менее удовлетворительное
	Естественное состояние и свойства грунтов не изменены	Свойства дисперсных грунтов не изменены	Удовлетворительное

Таблица 6

Оценка развития инженерно-геологических процессов и явлений в горнодобывающих районах

Компонент	Общая характеристика измененности	Уровень измененности (количественные показатели)	Оценка геоэкологического состояния
ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ И ЯВЛЕНИЯ	Оползни, обвалы и обрушения на бортах карьеров, на склонах отвалов и долин рек. Прорыв вод из отводных каналов, подтопление, заболачивание, осадочных процессов, суффозионные процессы на оснований отвалов, выщелачивание и др.	В ИЯ более 25% площади поражено инженерно-геологическими процессами и явлениями	Катастрофическое
ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ И ЯВЛЕНИЯ	То же	В ИЯ от 5 до 25% площади поражены инженерно-геологическими процессами и явлениями	Неудовлетворительное
	То же	В ИЯ менее 5% площади поражены инженерно-геологическими процессами и явлениями	Менее удовлетворительное
	На территории инженерно-геологические процессы не наблюдаются	В ИЯ нет проявлений инженерно-геологических процессов	Удовлетворительное

Таким образом, на основании покомпонентной оценки и суммирования полученных баллов нами принята следующая градация оценки измененности исследуемой ячейки, представляющая суть предлагаемой методики:

1. Сильно измененная геоэкологическая среда – от 20 до 30 баллов.
2. Средне измененная геоэкологическая среда – от 10 до 20 баллов.
3. Слабо измененная геоэкологическая среда – до 10 баллов.

Литература

1. *Исмаилов В.А., Норматова Н.Р.* Особенности геоэкологического состояния Алмалыкского горнопромышленного региона. Ресурсовоспроизводящие, малоотходные, природоохранные технологии освоения недр // Материалы XIV международной конференции Москва (Россия) – Бишкек (Кыргызстан) 14-20 сентября 2015 г. – М.: РУДН, 2015. – С. 253-255.

2. *Косинова И.И., Богословский В.А., Бударина В.А.* Методы эколого-геохимических, эколого-геофизических исследований и рациональное недропользование. – Воронеж: Изд.ВГУ, 2004. – 281 с.

ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ОБСТАНОВКА ТЕРРИТОРИИ КАЛУЖСКОЙ КОЛЬЦЕВОЙ СТРУКТУРЫ

Э.Р. Казанкова, Н.В. Корнилова

ИПНГ РАН, 119333, г. Москва ул. Губкина д. 3.
E-mail: Elvira.Kazankova@mail.ru, nataliakornilova@rambler.ru

Калужская вулканогенно-тектоническая кольцевая структура характеризуется сложным тектоническим строением и по ряду генетических и морфологических признаков является необычной для центральных районов Восточно-Европейской платформы [3, 6]. Платформенный чехол структуры представлен отложениями венда, среднего и верхнего девона, нижнего и среднего карбона и четвертичными. Своеобразие структуры определяется наличием кольцевых разломов в фундаменте и нижней части платформенного чехла; присутствием вулканогенных пород – эффузивов, туфолов, туфов, туффитов, брекчий кристаллических пород; резко и беспорядочно изменчивыми углами наклона слоев верхнедевонских и пярнусских отложений [3,6].

Разрывные нарушения фиксируются по комплексу признаков двух и даже трехкратному повторению маркирующих горизонтов в одной и той же скважине или по резким изменениям абсолютных отметок этих горизонтов на соседних близко расположенных скважинах [1]. Кроме того, разрывные нарушения определяются по резким перепадам глубин преломляющих горизонтов и зонам отсутствия корреляции сейсмических волн. Кольцевым разломам соответствуют зоны высоких градиентов силы тяжести. Разломы представ-

ляют собой системы субпараллельных трещин (сбросов и взбросов), наклоненных во внешнюю сторону. Судя по особенностям строения верхней части осадочного чехла, центральный блок имеет сложное мозаичное строение. Мощность верхнедевонских отложений в грабене превышает 400 м, то есть, в 2–3 раза больше, чем с внешней стороны структуры. В верхней части осадочного чехла имеются зоны повышенной трещиноватости пород, которые служат естественными каналами для подъема в ряде мест напорных минерализованных вод из девонских отложений на дневную поверхность (Резванский и Росвянский источники) [5].

Оценка природной опасности и геоэкологического риска – научное исследование, в котором факты и научный прогноз используются для определения потенциально неблагоприятного воздействия.

На территории Калужской кольцевой структуры расположены Калужское и Якшуновское подземные хранилища газа (ПХГ). В районах, примыкающих к Калужскому и Якшуновскому ПХГ, действуют три шахты по добыче бурого угля и ряд карьеров, разрабатывающих известняки и глинистое сырье (для производства керамзитового гравия, строительного кирпича и пр.). Территорию пересекают железнодорожные магистрали Москва-Киев и Тула-Смоленск, имеется широкая сеть шоссейных дорог.

Условно на рассматриваемой территории можно выделить следующие виды нарушений окружающей среды:

- геохимические (изменение природной структуры горного массива, рельефа местности, поверхностного слоя земли, почв, в том числе вырубка лесов, деформация поверхности);

- гидрогеологические (изменение запасов, режима движения, количества и уровня грунтовых вод, водного режима почв и грунтов, вынос в реки и водоемы вредных веществ из недр Земли);

- химические (изменение состава и свойств атмосферы и гидросферы, в том числе подкисление, засоление, загрязнение вод, увеличение фитотоксических элементов в воде и воздухе);

- физико-механические (загрязнение воздуха, его подогрев, изменение свойств почвенного покрова и пр.);

- шумовые помехи, вибрацию почв и горного массива, выбросы породы при взрывах, ухудшение видимости в атмосфере и другие возможные явления, сопровождающие горные разработки и отрицательно влияющие на окружающую среду и другие.

Оценка геоэкологической ситуации может быть решена исключительно с помощью методов многофакторного анализа. Комплексы факторов, определяющих геоэкологический риск, существенно различаются.

Калужское подземное хранилище (ПХГ) расположено в южной части внешнего обрамления кольцевой структуры и по кровле гдовского песчаника в основании редкинской свиты протерозоя представляет собой брахиантиклинальную складку северо-западного простирания, крутое северо-восточное крыло осложнено серией тектонических нарушений большой амплитуды. По изогипсе – 800 и ограничивающему разлому южная, не затронутая наруше-

ниями, часть поднятия имеет размеры 10х(1,2-2,5) км и амплитуду до 160 м. Свод Калужского поднятия расчленен на две вершины. Кроме тектонических нарушений, структура характеризуется различием литологического состава пород, изолированностью отдельных блоков, наличием экранирующих зон с уменьшенной [3, 6].

Газ закачивается в пласт-коллектор, залегающий на глубинах 797-998 м, представленный песчаниками гдовского горизонта нижнего кембрия, мощностью 12-18 м, пористостью от 12 до 30% [3, 6].

Якшуновское поднятие с северо-запада примыкает к Калужскому. Имеет более сложное тектоническое строение. Поперечными разломами сводовая часть ее разбита на три блока. Якшуновская структура является непосредственным продолжением Калужского поднятия в северо-западном направлении и представляет собой цепь локальных воздыманий слоев вдоль разлома, осложненных тремя локальными побочными тектоническими нарушениями различной протяженности и амплитуды.

Объектом закачки служат также, как и на Калужском ПХГ, гдовские песчаники, общей мощностью 6-11 м. Глубина залегания кровли их составляет 850-950 м, пористость 14-25% [3, 6]. Якшуновское ПХГ было создано в единой гидродинамической системе с уже действующим Калужским ПХГ.

Природное неустойчивое равновесие среды нарушено асимметричным циклическим режимом работы хранилища. В пластах нарушаются взаимодействия между вмещающими породами, подземными водами, органическим веществом и растворенными газами [5].

Перетоки газа по вертикали были зафиксированы еще в период первых опытно-промышленных закачек. В результате вертикальной миграции свободный газ обнаружен в коллекторах практически всех водоносных горизонтах площади. В самом верхнем упинском водоносном горизонте обнаружен газ в растворенном виде. В результате многолетних гравиметрических наблюдений установлено латеральное растекание газа во всех вышележащих горизонтах, поступающего туда при вертикальной миграции из основного пласта коллектора.

По данным гидрогеохимических исследований, барометрии и НГК установлено, что закачиваемый газ локально присутствует во всех водоносных горизонтах среднего и верхнего девона, вплоть до данково-лебедевского (32,34%), а также в упинском (2,31%) горизонте нижнего карбона. Максимальное газонасыщение водоносных горизонтов концентрируется в сводовой и северо-восточной частях Калужского ПХГ, а в отложениях воробьевского горизонта скопления газа (94,21-95,11%) образовали вторичные залежи, подтвержденные НГК [7].

Геологическими причинами перетоков и утечек газа за пределы пласта-коллектора могут быть следующие: наличие тектонических нарушений и ослабленных проницаемых зон, непосредственный контакт продуктивного пласта с проницаемыми отложениями, наличие литологических «окон» (в основном песчаных) в основной крышке, непосредственно перекрывающей пласт-коллектор, опесчанивание пород крышек и другие.

Результаты приповерхностной газовой съемки на ПХГ показывают, что миграция газа достигает верхнего слоя почвы и атмосферного воздуха [3].

Особенности строения и функционирования ПХГ определяются сложностью и большим разнообразием способов техногенного вмешательства в геологическую и окружающую среду [3, 6]. ПХГ, по сути происходящих процессов, являются сложными системами, поведение которых обуславливается воздействием внешних и внутренних факторов. Эти системы требуют постоянного контроля за поведением искусственных залежей, состоянием покрышек и заколонного пространства скважин, а также за латеральным и вертикальным перемещением флюидов при возникновении перепадов давления [2]. Особенно велика роль флюидов в изменении характеристик среды при работе ПХГ. Как отбор, так и закачка газа в пласт изменяют объем трещинного и порового пространства, внутрислоевого давление, свойства самого флюида [4].

Определенную роль могут сыграть и вторичные процессы, к примеру, выделение газа из вод или коагуляция коллекторов, вызванные нарушением равновесного состояния флюидных систем.

Геоэкологическая безопасность представляет собой совокупное состояние природных и технических систем, обеспечивающее минимальный уровень нарушения естественного режима их функционирования и неблагоприятного воздействия на геолого-геофизическую среду, живую природу и здоровье людей. Оценка безопасности подразумевает варианты вероятного развития событий в системах на долгосрочную перспективу [5].

Таким образом, на территории Калужской кольцевой структуры формируются сложные взаимодействия разнообразных факторов, в том числе и частично или полностью не поддающиеся контролю. Эти процессы протекают гораздо быстрее и контрастнее, чем естественные геодинамические и, таким образом, возникает несогласованность техногенных воздействий на среду с ее естественным состоянием.

Чрезвычайно сложное взаимодействие в природно-техногенных системах определяет, таким образом, сложность их изучения.

Литература

1. *Воронова В.В.* Разработка методики оценки перспективности водоносных трещинато-пористых карбонатных коллекторов для создания подземных хранилищ газа: автореф. дис. ... к.т.н. – М., 2014. – 24 с.
2. *Евик В.Н., Варягов С.А., Павлюкова И.В., Смирнов Ю.Ю.* Мониторинг геологической среды при эксплуатации Щелковского подземного хранилища газа // Сборник научных трудов. Серия Нефть и газ. СевКавГТУ. – Ставрополь, 2009. – Вып. № 2. – С. 18-24.
3. *Казанкова Э.Р., Корнилова Н.В.* Геоэкологические проблемы подземных хранилищ газа (на примере Московского региона) // Бюллетень Московского общества испытателей природы. Отдел биологический. – 2009. – Т. 114. – № 3. – С. 388-397.
4. *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.

5. Казанкова Э.Р., Корнилова Н.В. Геоэкологические проблемы подземного хранения газа в России // Геология нефти и газа. – 2016. – № 3. – С. 102-108.

6. Казанкова Э.Р., Корнилова Н.В. Калужская кольцевая структура – результат самоорганизации геологического пространства // Георесурсы, геоэнергетика, геополитика. – 2015. – № 1 (11). – С. 6.

7. Самохин А.В. Эколого-геофизические исследования техногенного воздействия Калужского подземного хранилища газа на компоненты окружающей среды: автореф. дис. ... к.г.-м.н. – М., 2009. – 22 с.

ОЦЕНКА ТРАНСФОРМАЦИИ ПРИРОДНОЙ СРЕДЫ (НА ПРИМЕРЕ ЦЕНТРАЛЬНОЙ РОССИИ)

Э.А. Лихачёва¹, И.В. Чеснокова²

¹ Институт географии РАН, 119017, г. Москва, Старомонетный переулок, д. 29.

² Институт водных проблем РАН, 119333, г. Москва, ул. Губкина, д. 3.

E-mail: ichesn@rambler.ru

Центральная Россия (ЦР) представляет собой наиболее освоенную часть Российской Федерации, обладающую достаточным природно-ресурсным потенциалом. На территории ЦР имеются запасы железной руды (активные разработки в Белгородской и Курской областях), залежи бурого угля (на юге Московской и в Тульской областях), месторождения гранита, глины, залежи никелевых руд (в Воронежской области). В небольших количествах есть нефть и газ. Для оценки трансформации природной среды авторами были использованы карты, составленные в лаборатории геоморфологии ИГ РАН [3, 5, 8, 9].

Трансформацию природных условий на этой территории определили: 1) нарушенность пахотных земель (эрозионный смыв до 3-10 т/га и более в год) в различных регионах на площади 20-50% и более; 2) нарушенность земель горнодобывающей промышленностью (отвалы, карьеры, хвостохранилища и др.); природно-техногенные деформации ландшафта (оседания, обрушения поверхности и др.); изменение структуры поверхностного стока; сильное изменение пойм и русел рек и др.; 3) интенсивная урбанизация.

Методика работ. Для оценки трансформации природных условий территории Центральной России выбраны следующие основные характеристики.

Экзодинамические условия. Выделено три категории сочетаний экзогенных и эндогенных факторов, выраженных в баллах: 1) благоприятные сейсмические и экзогенные условия, где преимущественно развиты процессы плоскостного смыва и эрозия; 2) благоприятные сейсмические и относительно благоприятные экзогенные условия, где экзодинамическую обстановку определяют процессы эрозии и частично карстово-суффозионные; 3) относительно благоприятные сейсмические и относительно благоприятные экзоген-

ные условия, где экзодинамическую обстановку определяют эрозионные и оползневые процессы на фоне слабой сейсмичности.

Природно-техногенные процессы. Рассматривалась эродированность сельскохозяйственных земель в процентном отношении от площади. Было выделено две градации: меньше и больше 50%.

Техногенная загрязненность почв – % от площади региона (разброс величин от 6 до 60%) [6]. Были приняты следующие градации: до 15%, 15-30% и более 30% площади.

На достаточно устойчивых в морфодинамическом отношении территориях человеческой деятельностью может быть спровоцировано развитие экстремальных геоморфологических процессов, как на локальных участках, так и на больших площадях, некоторые из них уже сегодня относятся к территориям с экстремальным развитием антропогенных процессов. На городских территориях развит комплекс техногенных и техногенно активизированных процессов: подтопление, поверхностная эрозия, проседание поверхности и ряд других. Ущерб от природно-антропогенных процессов и, в частности, от наиболее распространенного из них – подтопления, наблюдаются в большинстве регионов.

Геоэкологическая опасность современных антропогенных процессов заключается в снижении качества почвенных ресурсов, причем не только вследствие деградации почвенного покрова (прироста доли эродированных земель), но и за счет выноса огромной массы питательных веществ и удобрений, гибели посевов, заноса пойменных земель малопродуктивным субстратом, заилении русел малых рек и, в конечном итоге, их деградации. Поверхностный сток воды и наносов с сельскохозяйственных и горнопромышленных территорий является одним из главных источников загрязнения водоемов биогенными элементами, пестицидами, тяжелыми металлами, обуславливающими зарастание водоемов и ухудшение качества водных ресурсов [2].

Для сравнения степени трансформированности природной среды в регионах была построена карта комплексной оценки трансформации природной среды. Для нее определялся комплексный индекс трансформации природной среды. Это достаточно сложная задача, т.к. различные оценки базируются на разных показателях. Поэтому полученный комплексный индекс – результат обобщения ряда показателей и оценок на основе экспертных знаний.

Так, например, для определения комплексной оценки техногенного воздействия была привлечена характеристика суммарного ущерба от техногенных процессов в денежном выражении (у.е.). Этот показатель является относительным экономическим показателем и свидетельствует о характере землепользования, и об экологических условиях проживания. Были приняты следующие градации (ранжирования показателей) – *ущербы* в млн. у.е.: <50; 50–100; 100–200; >200. Косвенной характеристикой землепользования являются и данные об образовании техногенных грунтов на территории России.

В результате экспертного обобщения комплекса показателей было получено 7 конечных градаций для территории Центральной России, что позво-

ляет сопоставить полученные оценки природно-антропогенной трансформации территории Центральной России (рис. 1).

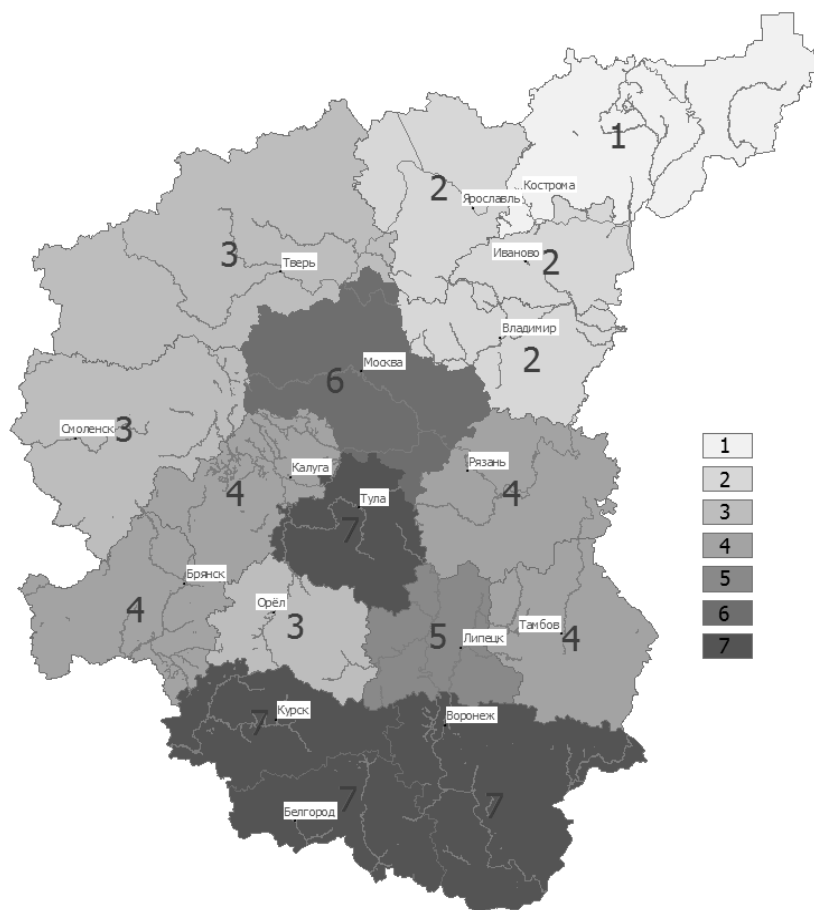


Рис. 1. Карта комплексной оценки трансформации природной среды ЦР

Результаты работ. Итоги комплексной оценки природно-антропогенной трансформации территории Центральной России.

Территории областей, получившие комплексный индекс:

1-2: Костромская, Ярославская, Ивановская, Владимирская – относительно слабая трансформация, в основном за счет мелиорации и сельскохозяйственных работ, а также активизации природных процессов на урбанизированных территориях;

3: Тверская, Смоленская, Орловская – в целом слабая трансформация территорий, в основном за счет активизации экзогенных процессов;

4-5: Калужская, Тамбовская, Рязанская, Брянская, Липецкая – умеренная трансформация за счет сельскохозяйственной нагрузки и активизации

техногенных процессов (в том числе, подтопление, эрозия, карстовые и оползневые процессы) и активизации экзогенных процессов на нарушенных и сопредельных территориях;

6: Москва и Московская область – весьма большая трансформация преимущественно за счет интенсивной урбанизации (80% территории);

7: Тульская, Воронежская, Курская, Белгородская – значительная деформация природной среды преимущественно за счет горнодобывающей промышленности в комплексе с интенсивной сельскохозяйственной нагрузкой.

Следует отметить, что масштабы влияния хозяйственной деятельности человека в горнопромышленных районах Курской магнитной аномалии значительно превосходят скорости развития природных рельефообразующих процессов. Основные месторождения железных руд с промышленными запасами приурочены к территориям Белгородской, Курской, частично Орловской, Брянской и Воронежской областей, где на площади около 70 тыс. км² сосредоточены крупнейшие месторождения. Добыча идет тремя основными способами: открытым, шахтным и методом скважинной гидродобычи. С открытой добычей полезных ископаемых связаны наиболее масштабные нарушения земной поверхности. Так, добыча железорудного сырья в Старооскольско-Губскинском районе Белгородской области привела к нарушению природных условий на площади 16 тыс. га [4].

Разработки песка, глины, мела малыми карьерами велись и ведутся по всей территории Центральной России. И хотя они не приводят к появлению на большой площади антропогенного рельефа, тем не менее, в значительной степени усиливают интенсивность экзогенных процессов.

Добыча бурого угля и в Подмосковном угольном бассейне (юг Московской области, Калужская, Смоленская, Рязанская, Тульская области), повлияла не только на состояние природной среды, но и в значительной степени способствовало устойчивому загрязнению территории, которое ощущается до сих пор. Активность природно-техногенных процессов этой территории связана не только с наземными техногенными преобразованиями, но и с подземными выработками (провалы, оседания поверхности, оползни).

Существует зависимость развития природно-техногенных процессов от экономического состояния района. Работающие предприятия создают одни виды воздействия (шум, вибрация, блуждающие токи, откачка подземных вод, промышленные отходы и т.д.), а неработающие – другие [7]. Когда отсутствуют средства на поддержание коммуникаций, подземных выработок и на рекультивацию, тогда чаще происходят обрушения поверхности, развиваются процессы подтопления и заболачивания, идет разрушение транспортных путей, эрозия заброшенных полей и т.д.

Трансформация природной среды определяется степенью освоенности и степенью экономического развития района. И в то же время эти районы различны и по типам загрязнения грунтов: удобрения (химические и органические) на сельскохозяйственных землях; свалки бытовых отходов повсеместны в радиусе 1-2 км от сельских поселений и малых городов и до 10 км вокруг больших городов; загрязнения тяжелыми металлами и нефтепродуктами

вдоль транспортных коммуникаций; загрязнения, связанные с топливной промышленностью и необходимостью производства тепла для жилых и рабочих помещений. Это последнее загрязнение на большей части сельскохозяйственных поселений долгое время было связано с использованием дров и торфа; на территории городов – с использованием угля, дающим большое количество твердых отходов и выбросов в атмосферу [1]. Трассы нефте- и газопроводов, пересекающие территорию тоже время от времени способствуют загрязнению (повреждения, разрывы).

В целом, в Центральной России площадь хронического загрязнения составляет 650,2 тыс. км² (или 19,3% территории). Наиболее загрязненными являются регионы с повышенной концентрацией городов и населения: Московская (включая г.Москву) и Тульская области. На территории России с этими областями сравнимы только Ростовская, Свердловская, Челябинская и Кемеровская области [6].

Анализ социально-экономических и природных условий показал, что сильная трансформация природных условий вызвана успешным социально-экономическим развитием региона (Московская, Белгородская, Липецкая, Орловская области). Это связано с концентрацией населения и привлекательностью регионов для мигрантов, с высокой степенью урбанизированности, относительной устойчивостью промышленности и интенсивностью сельского хозяйства. В рамках Центральной России природные ограничения развития отраслей, зависящих от качества природных ресурсов, привели к явному градиенту север-юг.

Литература

1. Геоморфологические системы: свойства, иерархия, организованность / Отв. ред. Э.А. Лихачёва. – М.: Медиа-ПРЕСС, 2010. – 288 с.
2. Мильков Ф.Н. Сельскохозяйственные ландшафты, их специфика и классификация // Вопросы географии. – 1984. – № 124. – С. 24–34.
3. Оценка эрозионной опасности рельефа СССР // Закономерности появления эрозионных и русловых процессов в различных природных условиях м-ба 1:2500000 (по материалам анализа топографических карт м-ба 1:300000 и данных о величинах смывости почв). – М.: Лаборатория геоморфологии ИГРАН, 1987. – 16 л.
4. Петин А.Н. Рациональное недропользование в железорудной провинции Курской магнитной аномалии (проблемы и пути их решения): автореф. дис. ... д.г.н. – Белгород: БГУ, 2009. – 46 с.
5. Районирование территории России по степени экстремальности развития эколого-геоморфологических ситуаций // Карта м-ба 1:9000000. – М.: ООО «ДИ ЭМ БИ», 2006. – 1 п.л.
6. Черногаева Г.М., Зеленов А.С. Сравнение урбанизированных территорий субъектов РФ по степени напряженности экологической ситуации // Известия РАН. Сер. геогр. – 2009. – № 4. – С. 86–92.
7. Чеснокова И.В., Локишин Г.П. Техногенные физические поля – свойства антропогенно-геоморфологических систем / Отв. ред. Э.А. Лихачёва. – М.: Медиа-ПРЕСС, 2016. – 192 с.
8. Эколого-геоморфологические ситуации в субъектах Российской Федерации // Карта м-ба 1:9000000. – М.: ООО «ДИ ЭМ БИ», 2002. – 1 п.л.
9. Эколого-геоморфологическая оценка Центральные районов Русской равнины // Карта м-ба 1:1000000. – М.: ФГУП ПКО «Картография», 2006. – 1 п.л.

РЕКУЛЬТИВАЦИЯ НАРУШЕННЫХ ЗЕМЕЛЬ – ОДИН ИЗ ПУТЕЙ РЕШЕНИЯ ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКИХ ПРОБЛЕМ В РАЙОНАХ РАЗРАБОТКИ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

Т.Б. Минакова, Е.В. Булдакова

Институт геоэкологии им. Е.М. Сергеева РАН, 101000, Москва, Уланский пер., д. 13, стр. 2.
E-mail: e_buldakova@mail.ru, yasenevo312@mail.ru

В процесс горного производства вовлечены все виды природных ресурсов, которые не только эксплуатируются (недра, земля, вода), но и нарушаются, загрязняются, что приводит к негативным геоэкологическим последствиям. В России площадь нарушенных земель на начало 2016 г. – 1037 тыс.га, из них 65% приходится на Европейскую часть страны [5]. Эта площадь ежегодно возрастает и пропорционально ей расширяется территория геоэкологического неблагополучия. Предотвращению этого может способствовать привлечение новых ресурсосберегающих и экологических технологий разработки месторождений полезных ископаемых, направленных на минимизацию негативного воздействия, а также рекультивация нарушенных земель. Однако на сегодня темпы рекультивации безнадежно отстают от темпов нарушения (3,6% от нарушенных земель).

Выявление особенностей геоэкологических проблем в горнопромышленных районах, в частности, обусловливаемых отсутствием рекультивационных работ, предпринято на примере железорудных месторождений Европейской части России. Для них характерна горно-геологическая неоднородность условий залегания рудных тел, определяющая различия в выборе способа отработки и технологии вскрытия месторождений, и как следствие, в формировании техногенного рельефа. От этого, а также от объемов добычи и переработки руды зависят виды и радиус распространения негативного воздействия горного производства. На экономическую значимость рассматриваемых месторождений указывает высокая доля их участия как во внешнем (55%), так и во внутреннем (63%) сбыте продукции. Их размещение от Поллярного круга до Крыма обеспечивает достаточное природно-хозяйственное разнообразие территорий.

В результате анализа современного геоэкологического состояния районов рассматриваемых месторождений, выполненного на основе фондовых и литературных данных, собственных наблюдений были выявлены основные геоэкологические проблемы и их особенности.

Одной из основных геоэкологических проблем районов разработки месторождений является продолжительное существование неотработанных площадей, а также отработанных нарушенных участков (10%), изъятых из продуктивного оборота, но до сих пор не восстановленных.

Около 90% железных руд добывается открытым способом, когда происходят наиболее существенные изменения структуры природных ландшафтов за счет увеличения или уменьшения абсолютных отметок поверхности земли, изменения состояния природных компонентов в результате негативного прямого или косвенного влияния деятельности горнорудных предприятий. Среднее соотношение карьеров и отвалов в пределах земельного отвода – 40:60. Объемы отходов в 4-5 раз превосходят объемы добычи [9].

Виды и сочетания геоэкологических проблем по рассматриваемым месторождениям отражены в табл.1. Нарушенные земли систематизированы в соответствии с принятыми классификациями техногенного рельефа и пригодности пород к рекультивации [3, 4, 7, 8]. Сочетание типов нарушенных земель отражает специфику каждого объекта, схожесть и различия между ними. Хотя виды негативного воздействия горного производства на природные компоненты и человека практически на всех месторождениях одинаковые: нарушение гидрогеологического режима, загрязнение подземных и поверхностных вод, атмосферного воздуха, запыление прилегающих территорий, изменение структуры землепользования и т.д., однако масштабы и качественная структура их существенно различаются в зависимости от природно-хозяйственных особенностей территории.

Для северных месторождений основные негативные факторы – загрязнение водотоков от воздействий хвостохранилищ; непригодность скальных пород к биологической рекультивации; продолжительность естественного восстановления притундровой растительности. Благоприятные почвенно-климатические условия и внутреннее отвалообразование способствовали самозарастанию нарушенных земель на Киреевском руднике, а на Камыш-Бурунском месторождении – возврату в прежний вид хозяйственного использования. Особенностью размещения нарушенных земель является их близость к населенным пунктам (отвалы в городах Железногорск, Ковдор и др.) или к ООПТ (природный заповедник «Костомукшский» на границе с одноименным ГОКом, заповедник «Ямская степь» в зоне воздействия гидроотвала Березовый лог Лебединского ГОКа).

Наиболее масштабно негативное воздействие железорудных предприятий проявляется на территории КМА. Для нее характерно противоречие: с одной стороны, необходимость разработки богатейших залежей железных руд, с другой – высокая плотность населения и благоприятные для земледелия почвенно-климатические условия.

На КМА кроме основной на сегодня открытой разработки, с 1952 г. ведется подземная на шахте им.Губкина, а также – Яковлевском руднике с применением метода глубокого замораживания. Экономически и экологически более перспективен метод скважинной гидродобычи (Большетроицкое и другие железорудные месторождения в Белгородской области), но приводящий к изменению напряженно-деформационного состояния горного массива.

Таблица 1
Геоэкологические особенности нарушения земель и их рекультивации на железорудных месторождениях Европейской части РФ

1 Предприятия-недропользователи. Месторождения, год начала разработки, особенности размещения	2 Геоэкологические особенности месторождений			4 Примеры и эффективность рекультивации (k), рассчитанная по Методике [1]
	3 Особенности нарушения литооснов, типы нарушенных земель	3 Основные виды воздействия на природные компоненты и человека	3 Основные виды воздействия на природные компоненты и человека	
АО «Олкон» (Оленегорский ГОК). Оленегорское месторождение за Полярным кругом около г. Оленегорск Мурманской области, разрабатывается с 1954 г.	Отрабатывается открыто – подземным способом. Карьеры нагорно-террасированные глубиной до 400 м (3 и 4 тип), отвалы платообразные высотой до 50 м (7 тип)	Загрязнение озер и рек особенно под воздействием хвостохранилищ, пыление их высохших пляжей	Загрязнение озер и рек особенно под воздействием хвостохранилищ, пыление их высохших пляжей	Законсервированный карьер заполнен водой. Для лесной рекультивации 7 типа (k = 0,19), санитарно-гигиенической (k = 0,04)
ОАО «Ковдорский ГОК». Ковдорское месторождение за Полярным кругом в черте города Ковдор Мурманской области. Разрабатывается с 1962 г. (железная руда, апатитовый и бабделейтовый концентраты)	Отрабатывается открытым способом. Карьеры 3 и 4 типа, отвалы 7 типа, хвостохранилища 12 типа	Загрязнение озер и рек особенно под воздействием хвостохранилищ, в паводковый период и при аварийных сбросах. Пыление высохших пляжей	Загрязнение озер и рек особенно под воздействием хвостохранилищ, в паводковый период и при аварийных сбросах. Пыление высохших пляжей	Лесная рекультивация отвалов скальных пород вскрыши с использованием потенциально плодородных пород. Санитарно-гигиеническая рекультивация на (k = 0,04)
ОАО «Карельский окаш» «Костомукшинский ГОК» Костомукшинское месторождение в Карелии. В 1978 г. вскрышные работы. Рядом природный заповедник «Костомукшский».	Разработка месторождения усложняется заболоченностью местности. Площадь нарушенных земель >1200 га. Карьеры 3 типа, отвалы 7 типа	Лес засыпается отвальными породами. Водоёмы и водотоки загрязняются сбросами. Пыление пляжей хвостохранилищ	Лес засыпается отвальными породами. Водоёмы и водотоки загрязняются сбросами. Пыление пляжей хвостохранилищ	Рекультивация отвалов в лесохозяйственном направлении (k = 0,19). На скальные породы наносится морена, торф или их смесь
Киреевский рудник. Разработка бурого железняка на Тульском месторождении с XVI в., на Киреевском руднике в Тульской области – с 1929 по 1975 гг.	Глубина разработки 15-20 м, бестранспортная система с перемещением пустых пород в отработанное пространство – 10 тип	Изыятие сельскохозяйственных земель привело к изменению структуры землепользования в районе	Изыятие сельскохозяйственных земель привело к изменению структуры землепользования в районе	Один из первых объектов рекультивированных в России (под с.х. уголья k = 0,08), в основном самозарастание лесом

Окончание табл. 1

1	2	3	4
<p>ОАО «Михайловский ГОК» компании «Металлоинвест» Добыча руды на Михайловском месторождении КМА в Курской области ведется с 1960 г. Отвалы рядом с г. Железногорск</p>	<p>Площадь карьера 1200 га, глубина >300 м – 3 тип 20%, отвалы 7 тип – 34%, 12 тип – 46%. Общая площадь нарушенных земель > 6 тыс. га.</p>	<p>Дефицит питьевой воды. Понижение уровня подземных вод – 60 м, пыление хвостохранилища. Анomalное геомагнитное поле</p>	<p>Лесопосадки на склонах отвалов и дамб (k = 0,36), санитарно-гигиенического направления (0,11). Самозарастание отвалов с лесовидными суглинками</p>
<p>ОАО «Лебединский ГОК» компании «Металлоинвест» Лебединское месторождение КМА на плодородных землях Белгородской области. Лебединский карьер, дважды внесенный в Книгу рекордов Гиннеса, эксплуатируется с 1971 г.</p>	<p>Макс. ширина карьера – 5 км, глубина – 600 м (3 тип), гидроотвалы меловых пород вскрыши высотой до 45 м (8 тип), отвалы 7 типа, хвостохранилище проектной высотой 95 м</p>	<p>Понижение уровня подземных вод 100 м. Загрязнение поверхностных и подземных вод. Радиационное загрязнение, геомагнитное поле. Радиус распространения выбросов ГОКа от 5 до 40 км</p>	<p>Рекультивировано 1000 га. Например, лесная рекультивация на отвале «Бродок» (k = 0,29), с. х на гидроотвале (k = 0,18), санитарно-гигиеническая на дамбе хвостохранилища (k = 0,15),</p>
<p>ОАО «Стойленский ГОК» НЛМК Стойленское месторождение КМА на плодородных землях Белгородской области, около г. Губкин и г. Старый Оскол Карьер введен в эксплуатацию в 1961 г.</p>	<p>Меловой отвал высотой 100 м (9 тип) и хвостохранилище проектной площадью >1,5 тыс. га и высотой >70 м примыкают к гидроотвалу-хвостовому хозяйству ЛГОКа. Вскрышные породы – сырье для строительства</p>	<p>Загрязнение подземных и поверхностных вод. Радиационное загрязнение, геомагнитное поле. Подтопление территорий, пыление хвостохранилищ</p>	<p>Вокруг хвостохранилища лесные полосы. (k = 0,32), санитарно-гигиенической – (k = 0,15). Планируется: разработка консолидированного плана рекультивации</p>
<p>Камыш-Бурунский ГОК Камыш-Бурунское месторождение железных руд и известняка в Крыму разрабатывался с 1845 г. ГОКом с 1932 по 1991 г.</p>	<p>Системы разработки – транспортная и транспортноотвальная. Внутренние отвалы (5, 10 типы). Нарушалось 45-60 га/год</p>	<p>Негативное воздействие только во временном изъятии земель, поскольку рекультивация шла следом за нарушением</p>	<p>Ежегодная рекультивация на площади равной вовлекаемой в разработку площади. За 1964-1976 гг. возвращено сельскому хозяйству 950 га (k = 0,30)</p>

Важной геоэкологической проблемой КМА является дефицит и качество питьевой воды. Из-за сложных гидрогеологических и инженерно-геологических условий площадь депрессионной воронки – 20,4 тыс.км² [5]. В зонах, захваченных депрессионной воронкой, отмечается снижение урожайности сельскохозяйственных культур на 10-60%. Одновременно возникает подтопление вокруг отвалов из-за уплотнения и ухудшения фильтрации грунтов, а также вблизи гидроотвалов и шламохранилищ. Добыча и переработка железной руды сопровождается выбросом силикозоопасной кварцевой пыли и радионуклидов, других элементов-токсикантов, выносом из хвостохранилищ урана и тория. Аномальное геомагнитное поле сказывается на ухудшении здоровья населения [6].

Огромные площади нарушаемых земель при добыче руды – это, с одной стороны, источник негативного воздействия на природные компоненты и человека, с другой – резерв для возвращения их в хозяйственный оборот после рекультивации, что важно учитывать при планировании перспективного развития территории региона, ориентируясь на обеспечение ее геоэкологической стабильности [2]. К сожалению, объемы рекультивации на данных месторождениях низкие – измеряются десятками гектар [5]. Так, в последние годы удельный вес ежегодного объема рекультивируемых МГОК площадей не составлял и 1% от площади нарушенных земель [10].

К основным причинам отставания восстановления нарушенных земель относятся превалирование разрабатываемых площадей над отработанными, многие отвалы и хвостохранилища являются техногенными месторождениями. Сравнение прибыли от сельскохозяйственного производства и прибыли от горных работ не стимулирует восстановление земель и экономное расходование территорий. Существует экономическая незаинтересованность предприятий-недропользователей: высокие затраты на рекультивацию (до 1 млн.руб./га), окупаемость затрат в 10 и более лет при минимальных размерах установленных административных штрафов.

Другой важной проблемой является необоснованный выбор направления рекультивации нарушенных земель [8].

На рассматриваемых месторождениях положительные результаты рекультивации получены только на отработанных Киреевском и Камыш-Бурунском месторождениях, характеризующихся более благоприятными условиями, чем действующих объекты. Здесь вскрышные породы размещались в карьерах, преобладали породы относительно пригодные для биологической рекультивации. В этих случаях преследовалась цель возврата в прежний вид использования (сельскохозяйственный). Возможно, что с учетом социально-экономической эффективности оптимальными оказались бы другие направления (например, рекреационное в связи с потребностями густонаселенной Тульской области и курортной специализацией Крыма). Для выбора оптимального варианта необходимо комплексное изучение особенностей рекультивируемого объекта и учет природно-технологических возможностей и социально-экологических требований.

Улучшить режим восстановления земель возможно путем сокращения сроков от начала эксплуатации карьера до начала рекультивации внешних отвалов в оптимальном направлении, частичного размещения вскрыши в выработанное пространство, использования вскрышных пород в других отраслях хозяйства.

На основании проведенных исследований были получены следующие выводы:

1. Геоэкологические проблемы, связанные с разработкой рассмотренных месторождений, характерны и для других горнодобывающих объектов. Однако подход к выбору способа и направления восстановления нарушенных земель будет индивидуальным для каждого случая в зависимости от систем разработки месторождения и отвалообразования, объемов отходов обогащения, природно-хозяйственных особенностей территории и т.д.

2. Районы разработки месторождений отличаются геоэкологической нестабильностью локальных площадей, однако она может распространиться и на соседние районы. Поэтому для сохранения геоэкологической стабильности территории необходим обоснованный выбор направления рекультивации уже на стадии проектирования освоения месторождения, а также комплексный геоэкологический мониторинг на всех стадиях эксплуатации месторождения, включая и последующую рекультивацию.

3. На современном уровне научно-технического прогресса разработка месторождений сопровождается видами и масштабами нарушений, неизвестных прежде. Следовательно, необходимо расширение исследований в области поиска и разработки новых технологий проведения рекультивационных работ.

4. Вскрытые причины низких темпов рекультивации земель обуславливают необходимость повышения экономической заинтересованности горнодобывающих предприятий в природоохранных мероприятиях, стимулирования соблюдения стандартов рекультивации, например, путем внесения залоговых платежей на стадии получения разрешения на изъятие земель для проведения восстановительных работ в будущем.

Литература

1. Алексеев Н.А., Линькова Е.Г., Минакова Т.Б., Овчинников В.А. Методика определения экономической эффективности рекультивации нарушенных земель (Утв. Зам.председателя Госплана СССР А.И.Лукашовым 14.12.1985). – М., 1985. – 92 с.

2. Булдакова Е.В., Минакова Т.Б., Сависко И.С. Создание перспективной модели природопользования на основе геоэкологической оценки территории (на примере Белгородской области)// Геоэкологические проблемы современности: Доклады IV Международной научной конференции. Владимир, 20-22 сентября 2012 г. / Под ред. проф. И.А. Карловича. – Владимир: ВлГУ, 2012. – С. 49-51.

3. ГОСТ 17.5.1.02-85 (взамен ГОСТа 17.5.1.02-78) «Охрана природы. Земли. Классификация нарушенных земель для рекультивации». Введ. с 01.01.86. – М.: Изд-во стандартов, 1987. – 16 с. // Сб.ГОСТов. – М.: ИПК Издательство стандартов, 2002.

4. ГОСТ 17.5.1.03-86 (взамен ГОСТа 17.5.1.03-78) «Охрана природы. Земли. Классификация вскрышных и вмещающих пород для биологической рекультивации земель». Введ. с

01.01.88. – М.: Изд-во стандартов, 1987. – 10 с. // Сб. ГОСТов. – М.: ИПК Издательство стандартов, 2002.

5. Государственный доклад о состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2015 г. – М.: Минприроды России, 2016. – 604 с.

6. Котенко Е. А., Морозов В. Н., Кушнеренко В. К., Анисимов В. Н. Геоэкологические проблемы КМА и пути их решения // Горная промышленность. – 2003. – № 2. – С. 12-16.

7. Моторина Л.В., Овчинников В.А. Промышленность и рекультивация земель. – М.: Мысль, 1975. – 239 с.

8. Овчинников В.А., Минакова Т.Б., Алексеев Н.А. и др. Сборник укрупненных нормативов затрат на рекультивацию нарушенных земель. Одобрен Гос. агропромышленным комитетом СССР и согласован Госпланом СССР. – М., 1987. – 71 с.

9. Славиковская Ю.О. Сравнительная оценка техногенного воздействия на окружающую среду открытой и подземной геотехнологий // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – М.: Изд-во Моск. гос. горн. ун-та, 2011. – № 7. – С. 188-192.

10. Стифеев А.И., Бессонова Е.А., Лукьянов В.А. Техногенные ландшафты Курской области и проблема их окультуривания // Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии. – Курск, 2012. – № 7. – С. 3-6.

ИЗМЕНЕНИЕ ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ СРЕДЫ В ЦЕНТРАЛЬНО-КЫЗЫЛКУМСКОМ ГОРНОПРОМЫШЛЕННОМ РАЙОНЕ

М.М. Мирасланов¹, Н.Г. Мавлянова²

¹ Институт гидрогеологии и инженерной геологии, Ташкент, ул. Олимлар 64.

E-mail: hydrouz@inbox.uz

² Институт геоэкологии им. Е.М. Сергеева РАН, 101000, Москва, Уланский пер., д. 13, стр. 2.

E-mail: georisk2015@mail.ru

Интенсивная разработка различных типов месторождений твердых полезных ископаемых в горно-складчатых и пустынных зонах Узбекистана началась в 50-е гг. XX века. В настоящее время разведано 1466 месторождений, запасы всех суммарных видов минерально-сырьевых ресурсов в стоимостном выражении оцениваются около 11 трлн. долл. США. [4]. Месторождения отрабатываются открытым, подземным, реже комбинированным способами. Глубина открытых разработок колеблется от 100-200 до 350-560 м, площадь карьерных полей составляет от 2-4 до 10-12 км², подземная разработка – на глубине от 60-100 до 500-600 м. В перспективе намечается вести разработку открытым способом до 715-915 м (вторая очередь) и подземным до 1200-1500 м [1]. Проблемы рационального использования природных ресурсов и охраны окружающей среды находятся под постоянным вниманием руководства Республики. За годы независимости приняты законы: «Об охране природы», «О недрах», «Об отходах» и др. и ряд Постановлений Кабинета Министров Республики Узбекистан: «Об утверждении положения о государственной экологической экспертизе», «О совершенствовании системы плате-

жей за загрязнение окружающей среды и размещении отходов на территории РУз», «О программе действий по охране окружающей среды РУз» и др., которые обеспечивают надежную правовую основу стратегии развития экологически чистых технологий при освоении месторождений полезных ископаемых, комплексного освоения природных богатств республики и переработки отходов производств [4].

Значительная роль в промышленном освоении природных ресурсов принадлежит Кызылкумскому горнорудному району. Кызылкумы представляют собой каменную равнину с общим уклоном на северо-запад, в значительной степени покрытую золотыми песками. Абсолютные отметки колеблются от 100 до 200-300 м. Останцовые горные возвышенности не превышают абсолютных отметок 1000 м. Промышленное освоение пустыни Кызылкумы началось в 1958 г. после организации Навоийского горно-металлургического комбината (НГМК), занимавшегося первоначально добычей и переработкой урановых руд, а с 1969 г. – золотосодержащих руд. На пологих южных склонах Тамдытаусского массива расположено одно из крупнейших в мире золоторудных месторождений – карьер «Мурунтау». Разработка ведется комбинированным способом: открытым (верхние горизонты) и подземным нижние, глубокие горизонты. Параметры карьера по поверхности: длина – 3,35 км, ширина – 2,5 км, глубина – 560 м. На момент провозглашения независимости Республики Узбекистан в Навоийском горно-металлургическом комбинате переработка золотосодержащей руды и выпуск аффинированного золота осуществлялись на одном гидрометаллургическом заводе – ГМЗ-2. Сегодня в состав золотоизвлекательного комплекса комбината входят четыре гидрометаллургических завода, один рудник кучного выщелачивания и один золотоизвлекательный цех. По сравнению с 1991 г. переработка руды на НГМК увеличилась в 3 раза и прирост выпуска золота составил более 40%. Для переработки руд месторождения «Мурунтау» и выпуска аффинированного золота в 1969 г. введен в эксплуатацию гидрометаллургический завод №2 (ГМЗ-2). На заводе осуществляется полный цикл переработки руды – от дробления исходной руды до получения готовой продукции в виде слитков золота высшей пробы [2].

Богатство Кызылкумов не ограничивается только ценным рудным сырьем, здесь есть крупные месторождения бентонитовых глин, мрамора, гранита, известняка, фосфорита и др. В отложениях среднего эоцена Кызылкумов разведаны крупные запасы зернистых фосфоритов – ценного сырья для производства минеральных удобрений, добыча которого начата открытым способом в 1996 г. Во всех разработанных до 1991 г. месторождениях полезных ископаемых, размещенных в Центральном Кызылкуме (ЦК), рекультивация земель из-за их малочисленности и нахождения в пустынной зоне не предусматривалась. После приобретения Республикой Узбекистан суверенитета и принятия закона «О недрах» требование по восстановлению земель, нарушенных горными работами, является обязательным.

К настоящему времени на территории ЦК образовались три мощные промышленно-экономические зоны – Навоийская, Учкудукская, Зарафшан-

ская. В процессе развития горнодобывающей промышленности в Кызылкумах появились новые города: Навои, Учкудук, Зарафшан, районные центры: Тымды, Кызылтепа, Янгирабад, поселки Даугызтау, Кокпатас. Районы горнопромышленных комплексов характеризуются различной степенью техногенной нагрузки на геологическую среду – от низкой до высокой (отвалы, шахты, карьеры, хвостохранилища, горно-металлургические заводы). В связи с этим возрастают масштабы воздействия добычи и переработки полезных ископаемых на окружающую среду, имея как региональный характер (Учкудукская и Зарафшанская промзоны – карьеры Учкудук, Зарафшан, ГМЗ-2,3, Навоийская промзона – ГМЗ-1 и хвостохранилища), так и локальный (добыча карьерами строительных и полудрагоценных камней, строительство дорог, газопроводов, водоводов, водозаборов и т.д.). Хозяйственная деятельность на площади растет, ландшафт трансформируется, нарушается почвенный покров, загрязняются поверхностные и подземные воды, активизируются геологические процессы (выветривание, дефляция, засоление грунтов, опустынивание и пр.). Отвалы и терриконы формируют холмистый рельеф антропогенного типа. Кроме того, горнодобывающие предприятия и перерабатывающие заводы активно воздействуют на атмосферу (поступление пыли и газов).

Интенсивность изменения геологической среды (ГС) зависит также от способа разработки месторождений.

При открытой разработке месторождений степень нарушения земель и связанные с ними изменения зависят от объема вскрышных пород, глубины и площади карьера. В исследуемом регионе горнорудные предприятия сконцентрированы в Кульджуктаусской, Ауминза-Бельтаусской, Амантай-Аристантаусской, Мурунтаусской, Турбац-Жетимтаусской горных возвышенностях и бугристых местностях Учкудука. Ввиду разобщенности рудных залежей их разработка ведется отдельными карьерами. В частности, Мурунтаусское месторождение разрабатывается 2 карьерами, Амантайтау – 2 карьерами, Зарташское – 12 карьерами, группа Учкудукских месторождений разрабатывается 10-ю карьерами, Кокпатаское (рудное поле) месторождение планируется разрабатывать 12 карьерами с максимальной глубиной 200-250 м. При открытой разработке месторождений основную часть изменений ГС составляют отвалы пустых пород и некондиционных руд. Площадь, занимаемая отвалами, в 3-4 раза превышает карьерное поле. Литературные данные также подтверждают, что отвалы пустых пород занимают большую площадь, и могут составлять 60-65% от земельного отвода [3]. Кроме отвального хозяйства и самого карьерного поля, ведение добычи полезных ископаемых открытым способом изменяет ГС на площади земельного отвода в результате размещения специальных и вспомогательных сооружений и оборудования (транспортные подъездные пути, ЛЭП, промышленные площадки, гаражи, складские и жилищные помещения). Их общая площадь составляет 2-3 км² или до 25% земельного отвода.

При подземной разработке месторождений изменения ГС происходят на территории, занятой шахтными отвалами, и на площадях, где располага-

ются технические средства, объекты хозяйственного, бытового обслуживания и др. В районах действующих шахт свойства пород в массиве изменяются в основном в результате перераспределения напряжений, осушения, взрывных и вибрационных воздействий и сопутствующих этим процессам деформаций, а также в результате геохимического воздействия. В настоящее время на территории ЦК действуют 3 рудника, разрабатываемых подземным способом. В ближайшие 10-15 лет подземная добыча увеличится в 2-3 раза (по материалам разведки), в связи с разработкой более глубоких горизонтов. Анализ материалов шахты «М» (Мурунтау) и действующих рудников, расположенных в Нуратинских горах показывает, что площадь, занятая шахтными отвалами, зависит от мощности рудника и продолжительности эксплуатации и на сегодняшний день составляет от 0,02 до 0,5 км², высота отвалов от 5 до 30 м. Территории, занятые объектами, входящими в состав комплекса подземной добычи полезных ископаемых составляют до 0,4-0,6 км², т.е. вдвое больше, чем площади под шахтными отвалами.

Таким образом, изменение ГС под влиянием горнорудных комплексов (разведка, разработка, транспортировка и связанные с ними объекты технического и хозяйственного и бытового обслуживания) в инженерно-геологическом и гидрогеологическом аспектах происходит в следующем направлении: геоморфометрические характеристики местности; состав, состояние и свойства горных пород; гидрогеологические условия района разработки; формирование инженерно-геологических процессов; загрязнение прилегающих земель и водного бассейна; сейсмические нарушения.

С изменением геоморфометрических характеристик местности связано формирование современных (антропогенных, раздробленных, перемещенных) отложений, отличающихся по всем геологическим параметрам от коренного залегания. Это отвальные грунты, создающие плюсовой рельеф (высотой до 60 м, площадью до 3 км²) и карьеры, формирующие минусовой рельеф (с глубиной более 500 м, площадью до 2,5 км²).

Многолетние наблюдения за развитием инженерно-геологических процессов показывают, что в горных выработках (шахты и карьеры) могут проявиться оползание бортов карьеров, осыпание пород, обрушение кровли подземных выработок, выдавливание пород в выработанное пространство и т.д. На карьерах ЦК сильно развиты осыпные явления, реже, обрушения и обвалы, единичные оползни. Осыпи образуются и усиливаются под влиянием дезинтеграции пород, обусловленной физическим выветриванием, и зависят от литологической принадлежности пород. Результаты обследований бортов карьера «Мурунтау» показывают, что осыпной материал накапливается в нижней части откосов, образуя угол естественного откоса 38-45⁰. Осыпные явления часто препятствуют движению транспорта. Обрушения и обвалы в большинстве случаев приурочены к рабочим уступам карьеров. В их формировании наряду с тектоническими нарушениями основную роль играет частое переслаивание сланцевых толщ с песчаниками и другими разновидностями пород. Наиболее крупные обрушения формируются на участках бортов карьеров, где имеются разрывные нарушения сбросово-сдвигового характера.

Крупноглыбовые обрушения развиваются в висячем борту, мелкообломочные в приразломных зонах. Объем обрушившихся масс в зависимости от геолого-тектонических условий и горнотехнических параметров карьеров изменяется от 100-150 до 300-400 м³. Оползневые явления на карьерах ЦК формируются редко, единичные оползни приурочены к лежащим бортам, где разрывные нарушения находятся согласно с углами падения пород и откосов (объемы 300-500 м³).

При подземной разработке наблюдаются следующие инженерно-геологические процессы: обрушения кровли горных выработок, в основном, приуроченные к узловой части пересечения двух разломов (объемы достигают 70-80 м³, в разведочных выработках 15-20 м³) вывалы наблюдаются часто, приурочены к местам пересечения двух и более крупных трещин или оперяющих разломов. Объемы небольшие – 3-4 м³, иногда 5-6 м³.

Основными источниками изменения ГС являются комплекс обогатительных сооружений и отходы (твердые, пастообразные), шлаки и шламы. Перерабатывающие предприятия в регионе сконцентрированы в Учкудукской, Мурунтауской, Зарафшанской, Навойской горнопромышленных зонах. Здесь, в основном, изменяется поверхность земли: создаются хвостохранилища, терриконы, водоемы, административно-хозяйственные здания и сооружения, металлообогатительные заводские комплексы и др. Среди этих сооружений большую площадь занимают хвостохранилища. По данным Центрального рудоуправления, главные из них:

– хвостохранилище ГМЗ-3 в Учкудукской ураново-рудной горнопромышленной зоне (ГПЗ) площадью 7,2 км² создано в 1995 г. Ежегодно сюда поступает 10,5 тыс. м³ твердых отходов в виде пульпы. Соотношение твердой фазы к жидкой составляет 1/1, 1/1,5;

– хвостохранилище ГМЗ-2 расположено в Мурунтауской ГПЗ (1-й и 2-й очереди). Хвостохранилище первой очереди расположено в 13 км от пос. Мурунтау. Создано в 1969 г. его площадь составляет 5,2 км². Объем накопленных измельченных отходов 91 млн.т. Хвостохранилище 2-ой очереди расположено вблизи г. Зарафшана, создано в 1975 г. Объем накопленного хвостового материала составляет 27 млн. т.,

– хвостохранилище ГМЗ-1 (радиоактивные отходы) находится в Навойской ГПЗ, расположено на левобережье р. Зарафшан вблизи г. Навои. Площадь составляет 6,3 км². К настоящему времени уложено более 80 млн т отходов [1].

В последние годы технология переработки минерального сырья меняется. Ранее добыча руд на урановых объектах на территории Кызылкумов проводилась горным способом в ограниченных объемах, причем основной был выполнен в Учкудукском горнорудном районе. В настоящее время добыча урана горным способом прекращена. Месторождение обрабатывается методом подземного выщелачивания (ПВ). На золоторудных месторождениях начали обработку методом кучного выщелачивания. При ПВ загрязняются подземные воды и изменяется естественный состав пород и руд вследствие закачки серной кислоты в рудосодержащие пласты.

Из приведенных данных видно, что в зонах горнорудных и перерабатывающих предприятий основные изменения компонентов геологической среды связаны с изменением рельефа местности, гидрогеологических и инженерно-геологических условий, проявлением новых и усилением имеющихся геологических процессов и явлений, а также загрязнением почв, подземных вод, растений, атмосферы.

Литература

1. *Мирасланов М.М.* Инженерная геология, гидрогеология месторождений твердых полезных ископаемых Узбекистана. – Ташкент: ГП НИИМР, 2011. – 228 с.
2. ГП «Навоийский горно-металлургический комбинат». – <http://www.ngmk.uz/>
3. *Русский И.И.* Технология отвальных работ и рекультивация на карьерах. – М.: Недра, 1979. – 222 с.
4. *Санакулов К.С.* Особенности вовлечения в переработку техногенных отходов горно-металлургических производств // Горный Вестник Узбекистана. – 2016. – № 1. – С. 3-7.

ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ РАЗРАБОТКИ ОТКРЫТЫМ СПОСОБОМ УГОЛЬНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ КУЗНЕЦКОГО БАССЕЙНА

В.Е. Ольховатенко

Томский государственный архитектурно-строительный университет,
634003, Томская область, г. Томск, пл. Соляная, д. 2. E-mail: igg@tsuab.ru

Открытый способ разработки месторождений полезных ископаемых имеет значительные преимущества перед подземным с точки зрения геологической безопасности ведения горнопроходческих работ. В то же самое время при разработке месторождений открытым способом возникает целый комплекс проблем, среди которых первостепенное значение приобретает проблема устойчивости бортов глубоких карьеров.

Строительство карьеров приводит к нарушению геодинамического равновесия геологической среды, изменению напряженно-деформированного состояния пород и развитию опасных процессов в бортах карьеров. Значительному воздействию подвергаются все компоненты окружающей среды: атмосфера, поверхностные и подземные воды, почвы, растительный и животный мир.

В связи с этим возникает острая необходимость в проведении комплексных исследований на различных стадиях освоения месторождений. Разработанный алгоритм комплексных исследований и обеспечения геологической безопасности предполагает использование системного подхода, осно-

ванного на изучении статистической, динамической, ретроспективной и технической систем при освоении месторождений полезных ископаемых, подлежащих открытой разработке (рис. 1). Причем статистическая система позволяет на геоструктурной основе оценить влияние таких важных компонентов, как геологическое строение, тектоника, степень дислоцированности пород, их состав, и условия залегания на разработку месторождений открытым способом.

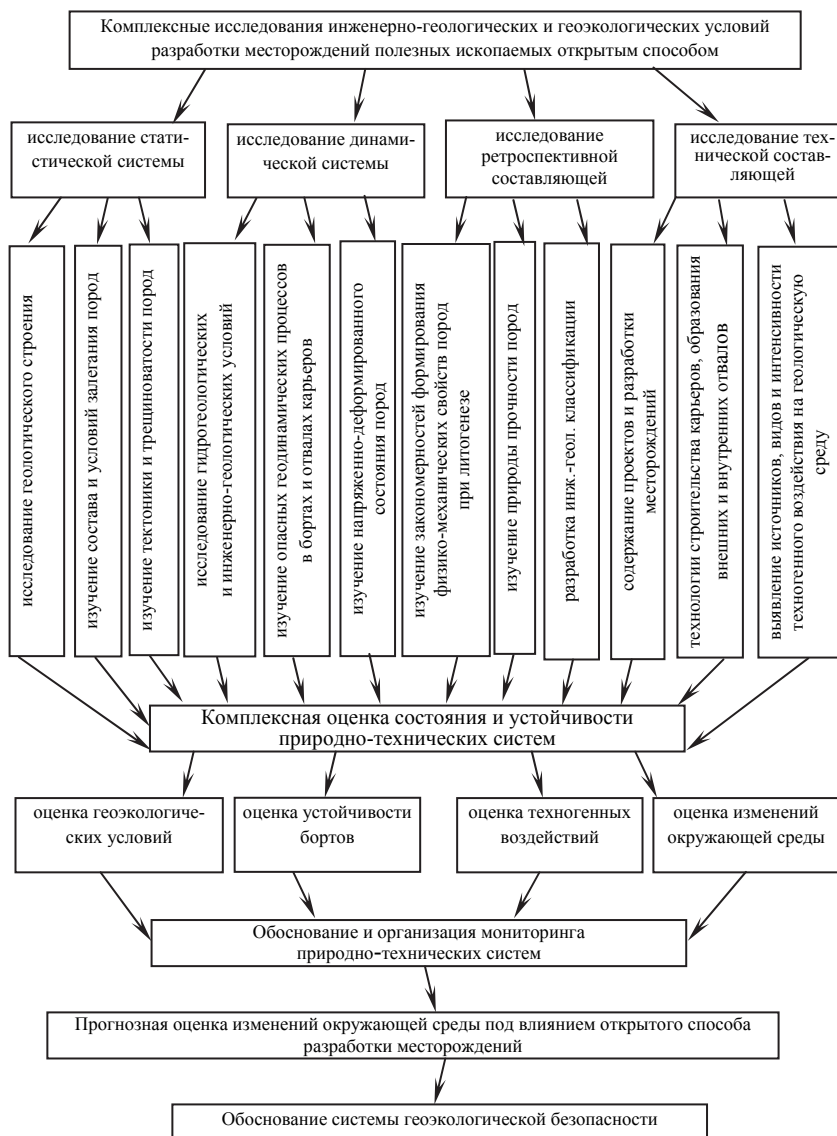


Рис. 1. Алгоритм комплексного изучения природно-технических систем при разработке месторождений открытым способом с целью обеспечения геоэкологической безопасности

Изучение перечисленных компонентов природно-технического комплекса рекомендуется осуществлять заблаговременно на начальных стадиях разведки месторождений, продолжать на стадии эксплуатационной разведки и в период разработки их открытым способом.

Целью ретроспективных исследований является выявление условий формирования физико-механических свойств горных пород угленосных отложений при литогенезе и природы их прочности, что имеет исключительно важное значение при разработке инженерно-геологических классификаций и оценке устойчивости бортов карьеров.

Динамическая система включает изучение всех компонентов природно-технической системы, существенно изменяющихся во времени под влиянием разработки месторождений открытым способом. В данном случае наблюдается трансформация элементов статистической системы в динамическую. Так, в процессе разработки месторождений открытым способом под влиянием техногенных воздействий происходят существенные изменения состояния горных пород, в которых появляется дополнительная трещиноватость, что нередко приводит к развитию опасных техноприродных процессов в бортах карьеров. Существенно изменяются гидрогеологические условия, ландшафт местности, состояние воздушной среды, поверхностных и подземных вод. Установление закономерностей изменения перечисленных компонентов динамической системы имеет исключительно важное значение при решении проблем геэкологической безопасности.

Техническая составляющая природно-технического горнодобывающего комплекса включает технический проект разработки месторождений открытым способом, технологию и технику их разработки, которые оказывают большое влияние на состояние и устойчивость природно-технической системы, степень опасности и уровень риска при добыче полезных ископаемых открытым способом и геэкологическую безопасность в целом.

Одним из крупнейших в России, где широко применяется открытый способ разработки угольных месторождений, является Кузнецкий бассейн. Наиболее крупными в Кузбассе являются Бачатский, Талдинский, Уропский, Ерунаковский Южный углеразрезы. Выполненные нами исследования показали, что ведущими природными факторами, влияющими на разработку месторождений открытым способом, являются геолого-структурные особенности месторождений, тектоника, состав, степень литогенетических преобразований и физико-механические свойства пород. В процессе исследований детально изучены состав и физико-механические свойства горных пород балахонской ($C_{2-3}P_{1be}$), кольчугинской (P_2), тарбаганской (J_{1-2}) серий и четвертичного возраста (Q_{III-IV}). При этом была установлена четкая зависимость физико-механических свойств пород от стадии литогенетических преобразований, что позволило впервые разработать инженерно-геологическую классификацию пород и типизацию угольных месторождений. Среди выделенных типов наиболее сложными в инженерно-геологическом отношении являются месторождения Присалаирской и Приколыван-Томской зон интенсивной линейной складчатости, для которых характерна сложная тектоника, наличие кулиско-

образных брахискладок с падением крыльев 60-90°, горные породы интенсивно дислоцированы и разорваны крупными продольными нарушениями с углами падения 40-80°. Наиболее простое строение имеет Пригорнонеорская зона моноклиналей, для которой характерно моноклиальное залегание горных пород, отсутствие тектонических разрывов и самая высокая прочность горных пород.

С учетом выявленных закономерностей инженерной геологического строения и с использованием результатов изучения физико-механических свойств были обоснованы методы и приведены расчеты устойчивости бортов карьеров [1]. Как показали расчеты, наибольшей устойчивостью характеризуются борта карьеров в Пригорнонеорской зоне моноклиналей.

Устойчивые углы наклона бортов, в данном случае, составляют 38° при глубине 200 м и коэффициенте запаса 1,3. Наименьшие устойчивые углы наклона бортов (31°) получены для Талдинского месторождения.

Одной из самых острых проблем при разработке угольных месторождений Кузбасса открытым способом являются глобальные изменения ландшафта и рельефа местности, что сопровождается появлением глубоких выемок на больших территориях, внешних и внутренних отвалов, а также гидроотвалов. Если внешние отвалы карьеров могут быть рекультивированы, то глубокие выемки после изъятия угля будет трудно обустроить и эффективно использовать. Кроме этого в откосах внешних и внутренних отвалов большой высоты возможно развитие оползневых процессов, которые будут осложнять работу и проведение рекультивации при обустройстве территории. Нельзя исключать и прорыва дамб гидроотвалов со всеми вытекающими отсюда последствиями. Применение мощной горнодобывающей техники и несоблюдение рекомендаций по обеспечению устойчивости бортов карьеров приводит к развитию опасных процессов в бортах карьеров в виде обвалов, осыпей и оползней. Существенной является проблема устойчивости откосов внешних и внутренних отвалов. В откосах последних формируются оползни течения из-за складирования вскрышных пород на слабое сильно обводненное грунтовое основание. Следует добавить, что в основании отвалов укладываются глинистые грунты, вместо песчаных.

В связи с большой глубиной угольных карьеров появляется реальная угроза развития опасных процессов в бортах действующих карьеров, что может привести к деформированию бортов и смещению большого объема горных пород. Это приведет к нарушению динамического равновесия в эксплуатации углеразрезов, выводу из строя горнотранспортного оборудования, а в отдельных случаях может угрожать жизни людей. Основными причинами развития опасных процессов в бортах карьеров могут быть:

- изменения напряженно-деформированного состояния горных пород в бортах карьеров;
- изменения физико-механических свойств горных пород, особенно их прочностных характеристик;
- техногенное воздействие на горные породы при работе горнотранспортного оборудования;

– система и технология разработки угольных месторождений открытым способом;

– сейсмические воздействия при производстве буровзрывных работ в бортах карьеров.

С точки зрения геоэкологической безопасности исключительно важное значение имеет проблема загрязнения окружающей среды. Критерии оценки состояния окружающей среды приведены в табл. 1.

Таблица 1

Критерии оценки состояния окружающей среды в районах угольных карьеров

Компоненты окружающей среды	Состояние	Описание
1. Геологическая среда	Опасное	Состояние геологической среды, при котором развитие опасных процессов в бортах карьеров и отвалах приводит к нарушению динамического равновесия в эксплуатации ПТС и возникновению чрезвычайных ситуаций. Устойчивость бортов карьеров и откосов является необеспеченной. В бортах карьеров и откосов отвалов образуются оползни, осыпи и обвалы.
	Условно-опасное	Состояние геологической среды, при котором возможно развитие опасных процессов в бортах карьеров в случае, если фактические углы наклона бортов превышают их расчетные значения
	Безопасное	Состояние геологической среды, при котором отсутствуют опасные геологические процессы
3. Ландшафт и рельеф местности	Опасное	Необратимые изменения ландшафта и рельефа местности за счет глубоких выемок и высоких отвалов, в откосах которых образуются оползни. Территории не поддаются рекультивации.
	Условно-опасное	Изменения ландшафта не носят необратимого характера, а территория поддается рекультивации. В откосах отвалов наблюдаются незначительные оползневые процессы.
	Безопасное	На территориях, примыкающих к углеразрезам, сохраняется ландшафт и рельеф местности.
5. Воздушный бассейн	Опасное	Концентрация угольной пыли и вредных веществ в атмосфере превышает ПДК в 2-5 раз. Наличие вредных компонентов в атмосфере оказывает существенное влияние на здоровье людей в населенных пунктах, расположенных в зоне влияния углеразрезов
	Условно-опасное	Загрязнение атмосферы пылью и вредными компонентами не превышает 2 ПДК и не оказывает существенного влияния на здоровье населения
	Безопасное	Содержание пыли и вредных компонентов в атмосфере не превышает ПДК

Как видно из таблицы, воздействию подвергаются все компоненты окружающей среды. Основным источником загрязнения являются транспорт и горнотранспортное оборудование, от которых будет поступать большое количество выбросов, содержащих вредные компоненты. Значительное воздействие на окружающую среду будет оказывать угольная пыль, поступающая при отработке угольных пластов и транспортировке угля.

Литература

1. *Ольховатенко В.Е.* Инженерная геология угольных месторождений Кузбасса. – Томск: Изд-во Томского государственного архитектурно-строительного университета, 2014. – 150 с.

ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ КАРЬЕРОВ ДОБЫЧИ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ЦЕМЕНТНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ В МОСКОВСКОЙ ОБЛАСТИ

А.И. Подлесных, И.А. Лаврусевич, А.А. Лаврусевич

Московский государственный строительный университет, 129337, Москва,
Ярославское шоссе, 26. E-mail: lavrusevich@yandex.ru

Техногенез на современном этапе развития человечества – основная угроза его дальнейшего благополучного существования на Земле. В настоящее время техногенез – процесс, в глобальном аспекте практически неуправляемый. В целом, в современный геологический момент, техногенез не подчиняется разуму и воле людей. Процесс протекает на разных иерархических уровнях, среди которых можно условно выделить локальный, региональный и глобальный уровни. Нам, в силу современного уровня развития человечества, ближе локальные процессы, в ход которых человек часто сознательно вмешивается и меняет их направление. На региональном и глобальном уровнях техногенез совершается преимущественно стихийно. Наши улучшения биосферы на локальном уровне вопреки нашей воле нередко могут способствовать региональному и глобальному разрушению среды и деградации человека. Изученность взаимосвязи техногенных процессов на разных иерархических уровнях до сих пор остается слабой.

Техногенез – внутренне закономерный процесс, в определенной мере изменяющийся под влиянием внешних факторов. В зависимости от уровня общественного развития, безусловно, находится и развитие научных знаний. Взаимосвязано с развитием общества и науки развитие техники, которое имеет, однако, и черты самостоятельности, поскольку наблюдается преемственность одних состояний техники от других. И весь процесс смены обществен-

ных формаций, развития экономики, науки, техники, искусства и других атрибутов человеческой культуры является единым процессом истории техногенеза. Главнейшие параметры саморазвивающейся мегасистемы – человек, общество, техника и окружающая среда. Сложность этой мегасистемы создает огромные трудности прогноза ее развития [4, 7].

За последние десятилетия конца XX и начала XXI вв. не сложилось соответствия между ограниченными эксплуатируемыми природными ресурсами, возрастающими потребностями общества и растущей мощностью техники. Возникшее противоречие усиливается бесплановостью мирового хозяйства, стихийным стремлением потребительского общества к беспорядочному и хищническому использованию природных богатств, в целях быстрого роста капитала, экономическими кризисами, недостаточной подготовленностью психологии населения Земли к охране среды и природных богатств, напряженной международной обстановкой и почти непрерывными войнами [8].

Геоэкологические проблемы районов разработки сырья для цементной промышленности выходят на первый уровень значимости в связи с тем, что охватывают практически все компоненты геосфер Земли и приводят к негативным изменениям на значительных территориях [2, 5, 11].

Основными сырьевыми материалами для цементного производства современного завода являются карбонатсодержащие образования, такие как известняк, мел и мергель, и алюмосиликатные – глины. В сутки цементный завод перерабатывает от 5 до 20 тыс. т. сырья. В Московской области эти материалы добываются в карьерах и затем доставляются на производство. Наибольшее процентное содержание среди сырьевых компонентов в производстве цемента составляет карбонатное сырье, и именно его запасы определяют выбор, как технологии так и выбор промышленной площадки [9].

Большая часть сырьевых месторождений была введена в эксплуатацию более 50 лет назад и современное состояние многих месторождений неизвестно. Тем не менее, среди них можно выделить объекты, перспективные как для геоэкологического изучения, так и для дальнейшего освоения и разработки [6].

Текущее состояние многих месторождений в настоящее время не контролируется. Большинство карьеров, заброшенных из-за спада производства в 1990-х годах, не были подвергнуты ни консервации, ни рекультивации.

В результате сложившегося подхода к разработке месторождений сырья для цементной промышленности ситуация с их геоэкологическим состоянием является крайне неблагоприятной.

Отмечены многочисленные случаи бесконтрольного применения для рекультивации карьерных выемок промышленных и бытовых отходов. Иначе говоря, под видом рекультивационных работ происходит захоронение отходов производства и потребления, причем без принятия необходимых в таком случае мер, направленных на предотвращение неблагоприятного воздействия. Размещенные таким образом отходы становятся источником различного рода поллютантов, оказывая широкий спектр негативного воздействия на окружающую среду [10].

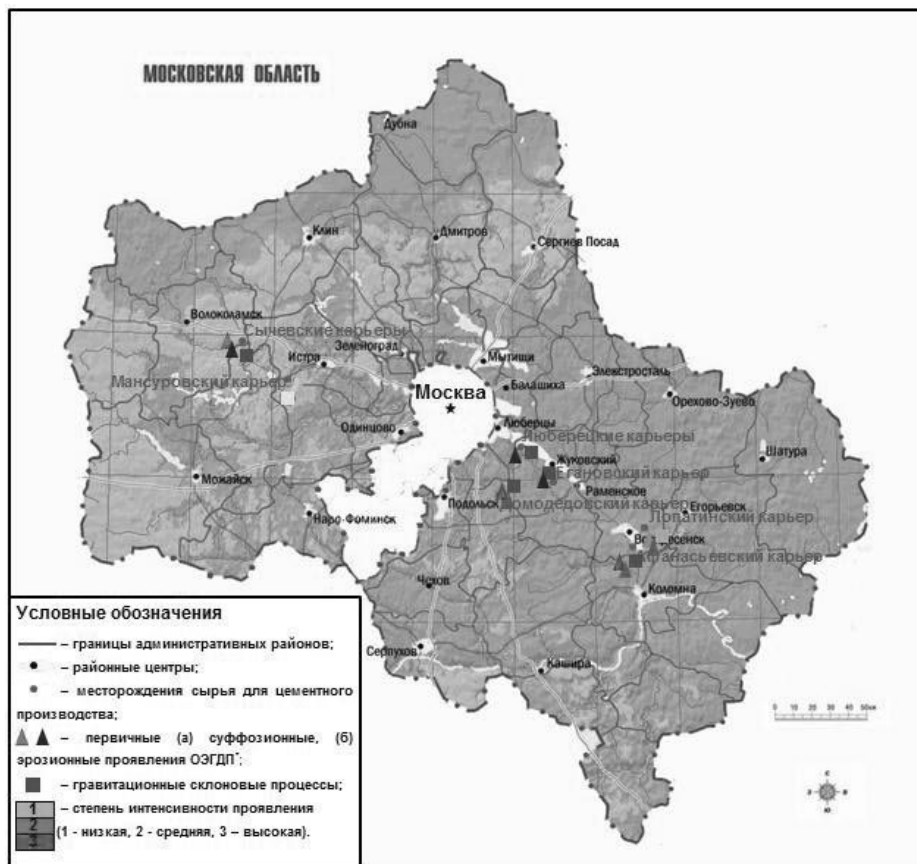


Рис. 1. Схематическая карта распространения поверхностных проявлений опасных экзогенных геодинамических процессов на территории карьеров по добыче сырья для цементного производства в МО

При карьерной добыче природного минерального сырья возникает серьезная техногенная нагрузка фактически на все компоненты окружающей среды. В результате этого воздействия изменяется рельеф, микроклимат, гидрологический и гидрогеологический режимы, флора и фауна, происходит загрязнение природной среды. Среди проблем, возникающих при карьерной добыче сырья для цементного производства, прежде всего, выделяют накопление больших объемов вскрышных и вмещающей пород, высокий уровень пылеобразования, шума, вибрации, а также выбросы загрязняющих веществ и др. [6, 9].

За счет экскавации, перемещения значительных объемов пород и создания отвалов, достигающих 100 и более метров и нередко размещаемых на плодородных участках, природный рельеф замещается техногенным.

Применяемые при добыче взрывные методы нарушают естественную структуру породы, провоцируя образование сквозных трещин, обуславливающих перераспределение напряженности внутри массива и его деформацию [1, 11].

Помимо этого, карьерный метод добычи также опасен развитием таких экзогенных геодинамических процессов, как суффозия, эрозия, обвалы, оползни и осыпи [1, 3, 12].

На основании маршрутных исследований территорий карьеров по добыче сырья для цементной промышленности, проведенного авторами летом 2016 г., была составлена схематическая карта распространения поверхностных проявлений опасных экзогенных геодинамических процессов с указанием степени интенсивности их протекания (рис. 1). На рис. 2 представлена схематическая карта расположения поверхностных проявлений опасных экзогенных геодинамических процессов на примере территории Афанасьевского карьера. Этот карьер был взят для более подробного рассмотрения потому, что на его территории ведется активная добыча сырьевых материалов, а также была выявлена высокая степень развития опасных экзогенных геодинамических процессов.

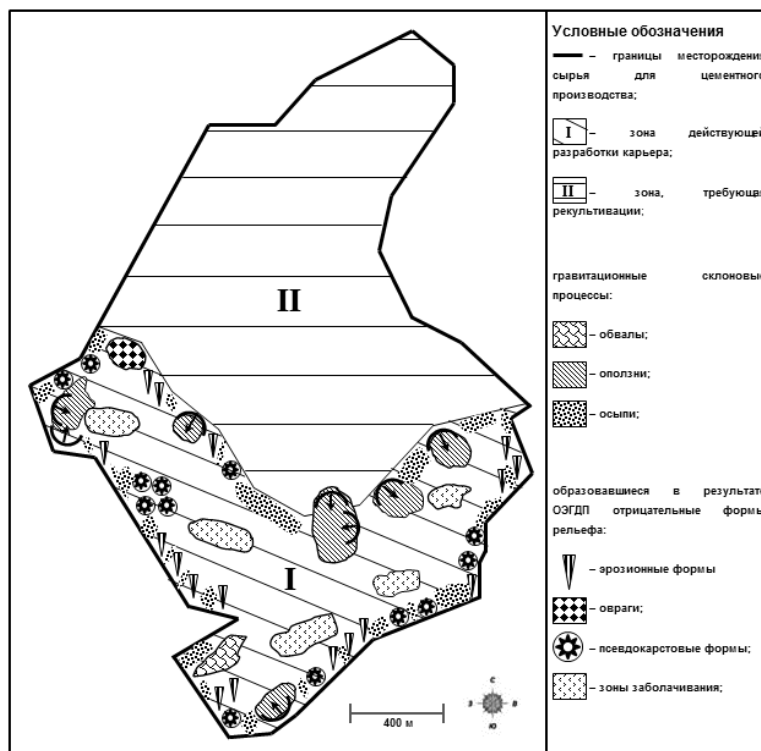


Рис. 2. Схематическая карта расположения поверхностных проявлений опасных экзогенных геодинамических процессов на территории Афанасьевского карьера

Таким образом, можно утверждать, что на территориях карьерной добычи сырьевых материалов для цементной промышленности замещение природного рельефа техногенным приводит к развитию опасных экзогенных геодинамических процессов, активизируя процессы дефляции, выветривания и перемещения значительных объемов пород, изменения гидрологического режима территорий и перераспределения приземных потоков воздуха.

Следовательно, на данном этапе развития техногенеза, геоэкологические последствия разработки сырьевых месторождений, затрагивающие практически все компоненты геосфер Земли, требуют самого пристального изучения.

Литература

1. *Ананьев В.П., Потапов А.Д.* Инженерная геология: учебник для строит. спец. вузов, 3-е изд., перераб. и испр. – М.: Высш. шк., 2005. – 575 с.
2. *Баранова М.Н., Чумаченко Н.Г., Тюрников В.В.* Геоэкологические проблемы при карьерной добыче минерального сырья для производства строительных материалов // Вестник СГАСУ. Градостроительство и архитектура. – 2014 – № 1 (14) – С. 80-85.
3. *Бондарик Г.К., Пендин В.В., Ярз Л.А.* Инженерная геодинамика: учебное пособие. – М.: КДУ, 2015. – 472 с.
4. *Вдовина О.К., Лаврусевич А.А., Грачева М.К.* Дифференциация природных и техногенных геохимических полей в зоне влияния горнорудных комплексов // Доклады VII Международной науч. конф. Геоэкологические проблемы современности. – Владимир, 2015. – С. 128-131.
5. *Горшков С.П.* Концептуальные основы геоэкологии: учебное пособие. – Смоленск: Изд-во СГУ, 1998. – 288 с.
6. Информационно-технический справочник по наилучшим доступным технологиям (НДТ). Производство цемента. – URL: http://www.gost.ru/wps/portal/pages/directions?WCM_GLOBAL_CONTEXT=/gost/GOSTRU/directions/ndt/developdirectory/directory2015/part6 (дата обращения 25.11.2015).
7. *Лаврусевич А.А., Вдовина О.К., Лаврусевич И.А.* Человек и техногенез // VI Международная научная конференция «Геоэкологические проблемы современности». – Владимир, 27-29 сентября, 2014. – С. 18-22.
8. *Лаврусевич А.А.* Основные черты техногенеза // Вестник МГСУ. – 2010. – № 4-2. – С. 175-181.
9. Материалы Международного Цементного Форума «Цемент, известь, гипс. Производство и экология» 6–11 марта 2007 года: Международный Цементный Форум – выездное заседание в Германии // Цемент. Известь. Гипс. – 2007. – № 1. – С. 19-22. Выездное заседание цементного форума «Цемент, известь, гипс. Производство и Экология» // Цемент. Известь. Гипс. – 2007. – № 2. – С. 22-27.
10. Письмо Минприроды России от 2 июня 2014 г. № 05-12-44/11342 Об использовании отходов производства и потребления для рекультивации карьерных выемок и искусственно созданных полостей. – URL: <http://base.consultant.ru/cons/cgi/online.cgi?req=doc&base=LAW&n=169212&fld=134&dst=100004&from=127561-0&rnd=214990.8179462697814861&> (дата обращения: 04.07.2016).
11. *Подлесных А.И., Лаврусевич И.А.* Геоэкологические проблемы цементного производства // Разведка и охрана недр. – 2016. – № 6. – С. 46-51.
12. *Хоменко В.П.* Закономерности и прогноз суффозионных процессов. – М.: ГЕОС, 2003. – 216 с.

ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ ПРИ РАЗРАБОТКЕ МЕТАНОВОГО ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО СЫРЬЯ

Р.Х. Сунгатуллин, Р.Р. Хасанов

Казанский (Приволжский) федеральный университет, 420008, г. Казань, ул. Кремлевская, 18.
E-mail: Rafael.Sungatullin@kpfu.ru, Rinat.Khassanov@kpfu.ru

В текущем столетии ожидается значительное увеличение потребления энергетических ресурсов, связанное с развитием экономики, повышением жизненного уровня и ростом населения. Это может привести к истощению запасов традиционных углеводородов и возникновению энергетического «голода». Поэтому в ближайшие десятилетия добыча традиционных горючих полезных ископаемых (нефть и газ) будет дополняться разработкой нетрадиционных источников сырья (высоковязкие нефти, битумы, угольный метан, сланцевый газ, газогидраты, газовые струи в морях, техногенные скопления и др.), которые сконцентрированы в колоссальных объемах в верхней части литосферы. Если ранее интерес человечества к нетрадиционному углеводородному сырью возникал в периоды экономических кризисов, то в настоящее время рациональное их использование является одним из важнейших факторов устойчивого развития стран и регионов, поскольку многие экономические, технологические, экологические проблемы, а также вопросы национальной безопасности, решаются за счет освоения собственной минерально-сырьевой базы.

В мировой энергетике можно спрогнозировать следующий общий тренд развития: переход от нефти и газа к новым источникам энергии будет осуществляться через освоение нетрадиционных источников углеводородного сырья. Наиболее востребованным для производства энергии видом ископаемого топлива в ближайшие десятилетия будет являться природный газ, что обусловлено его относительно высокой калорийностью и экономической эффективностью, относительной экологичностью. Это позволит природному газу продолжать замещать нефть и уголь в энергетическом балансе мира. Максимум извлечения газа придется на вторую половину XXI века, когда добыча традиционного газа сравняется с добычей из нетрадиционных источников (рис. 1). Одним из самых доступных источников нетрадиционного газобразного сырья является сопутствующий метан из каменных и бурых углей, который в пересчете на условное топливо занимает в мире четвертое место после традиционных угля, нефти и газа, а по качественным и технологическим показателям находится на границе традиционных и нетрадиционных углеводородов (рис. 2). Объективными предпосылками добычи метана из углей являются широкое распространение угленосных отложений, наличие методов извлечения и использования угольного метана, значительные его ресурсы [2].

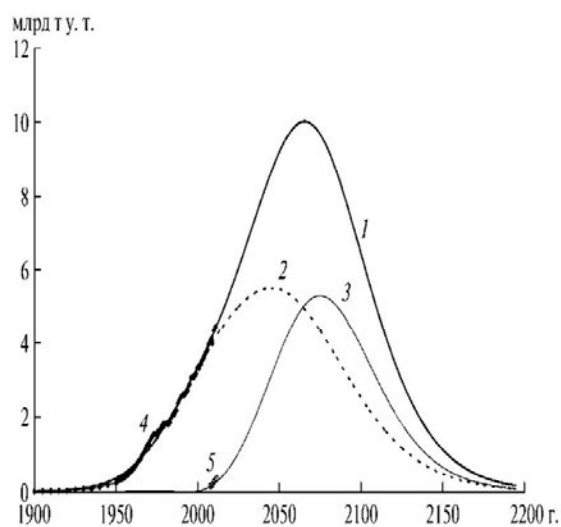


Рис.1. Объем добычи природного газа в XX-XXII вв, по [3]:
 1-3 – прогнозная оценка: 1 – суммарная добыча,
 2 – добыча традиционного газа,
 3 – добыча газа из нетрадиционных источников

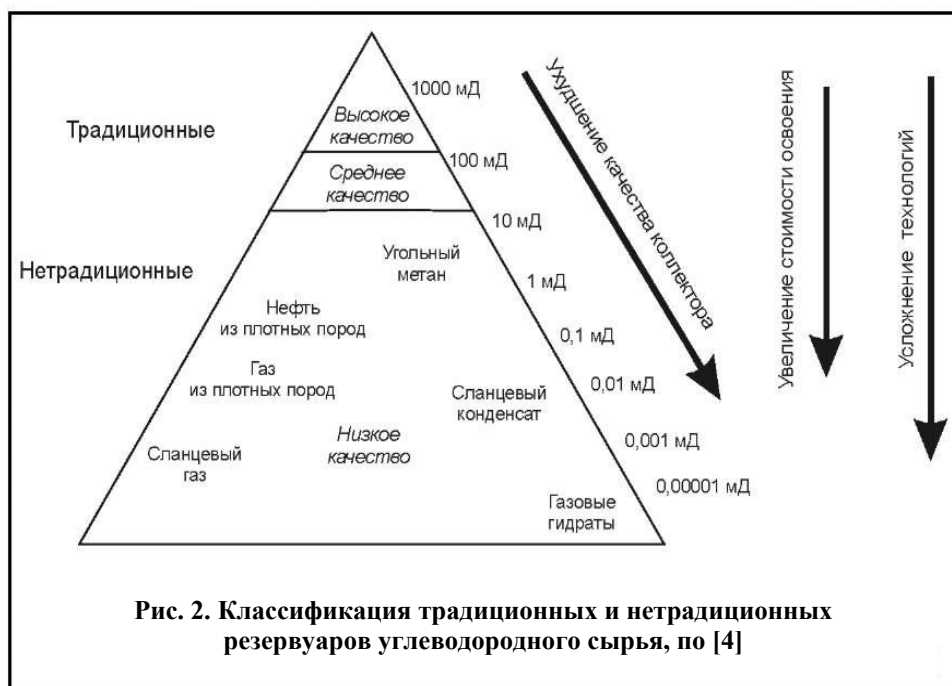


Рис. 2. Классификация традиционных и нетрадиционных резервуаров углеводородного сырья, по [4]

Ожидается, что к 2020 г. мировая добыча метана из угольных пластов достигнет 100-150 млрд. м³/год, а в недалекой перспективе его добыча может составить 470-600 млрд. м³/год или 15-20% мировой добычи природного газа [1]. Так, сегодня промышленная добыча нетрадиционного газа, включая угольный метан, интенсивно ведется в США. Здесь ежегодно добывается 50 млрд. м³ угольного метана [8], что составляет около 8% всего потребляемого газа в США. В России с 2009 г. приступили к промышленной добыче угольного метана на Талдинском месторождении в Кузнецком угольном бассейне.

Добыча угольного метана позволяет вовлечь в освоение месторождения твердых горючих ископаемых, признанных непромышленными по причине небольших запасов, сложных горно-геологических и гидрогеологических условий, большой глубины залегания рабочих пластов, оставленных запасов под застроенными площадями или неразрабатываемые залежи по экологическим причинам.

Технология получения угольного метана, как любая промышленная технология, подразумевает позитивные и негативные стороны. Например, некоторые исследователи считают [3], что частичное замещение угля на нетрадиционный газ в мировом энергобалансе приводит к заметному смягчению антропогенного воздействия на климат. С другой стороны, опыт США, Канады, Китая разработки «прорывных» технологий добычи энергии из альтернативных источников часто свидетельствует о дестабилизации экологического состояния геологического пространства с непредсказуемыми последствиями и, преимущественно, отрицательно влияет на развитие биоты и человечества, с возникновением зон экологического дискомфорта. Именно поэтому при рассмотрении вопросов освоения нетрадиционных углеводородных ресурсов на первый план выходят вопросы экологической безопасности и геологического риска. Особенно важны и актуальны данные исследования для густонаселенных и экономически развитых регионов, таких как Республика Татарстан, где расположены залежи различных горючих полезных ископаемых, при этом разработка некоторых (например, углей) традиционными способами невозможна [6].

На территории Татарстана расположена большая часть Камского угленосного бассейна [7], перспективного для будущей разработки угольного метана. Здесь бурые и каменные угли залегают в нижнекаменноугольных (визейских) отложениях на глубинах от 900 до 1400 м. Общие ресурсы углистых пород в визейских отложениях превышают 10 млрд. т. По нашим оценкам, в углях и угленосных породах Республики Татарстан может быть сосредоточено от 20 до 30 млрд. м³ угольного метана, что может удовлетворить основные потребности республики в газе. Учитывая, что основные залежи традиционных нефти и газа на территории республики находятся на поздних стадиях разработки, возможность использования новых источников углеводородов является важным элементом планирования экономического развития субъекта и Приволжского федерального округа в целом.

По сравнению с традиционными способами добычи и использования угля с помощью карьеров и шахт, добыча угольного метана в Республике Татарстан имеет эколого-экономические преимущества, к которым относятся [5]: 1) относительно низкие затраты на вскрытие залежей; 2) отсутствие необходимости отчуждения земель и сохранение плодородного слоя почвы, зависимости способов добычи от глубины залегания угольных пластов, людей в добычном забое; 3) минимальное воздействие на большинство геосфер и социосферу; 4) значительное снижение выбросов вредных веществ в атмосферу и отсутствие необходимости улавливания и захоронения CO₂; 5) отсутствие отходов пород и проявлений опасных процессов; 6) приближенность к источнику энергопотребления с использованием сырья на миниТЭЦ – децентрализация энергетики, которая характерна сегодня для развитых стран; 7) полнота извлечения энергии из угольного пласта (до 80%).

Исходя из вышеизложенного, одним из самых перспективных российских субъектов для промышленной разработки угольного метана, по нашему мнению, является Республика Татарстан, которая, располагая значительными ресурсами природных энергоносителей, позволяет рассмотреть вопрос создания здесь предприятий, совместно разрабатывающих традиционные и нетрадиционные источники углеводородного сырья. В Татарстане имеется высококвалифицированный производственный и научно-технический кадровый потенциал, создана мощная нефтеперерабатывающая и нефтехимическая промышленность, существует трубопроводная инфраструктура. Однако нахождение угольных месторождений Татарстана вблизи промышленных объектов и населенных пунктов требует большого внимания к обеспечению экологической безопасности населения и биоты в целом. Необходимо очень тщательно проводить экспертизу и экологический мониторинг планируемых к разработке залежей угольного метана, т.к. многие природные среды (биосфера и социосфера, подземная и поверхностная гидросферы, верхняя часть литосферы) очень чувствительны к воздействию техногенных процессов и трансформации геосред, что может привести к необратимым последствиям для окружающей среды и дестабилизации социально-экономической обстановки региона.

Таким образом, учитывая почти неисчерпаемые запасы углей на земном шаре, получение газометанового сырья из угольных пластов может стать основой мировой энергетики второй половины XXI века. Основная причина невостребованности угольных месторождений как источника газообразного сырья в России – отсутствие в настоящее время рентабельной, экологически безопасной и конкурентноспособной (относительно традиционного газа) технологии добычи.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 15-45-02665.

Литература

1. *Гафаров Н.А., Глаголев А.И.* Освоение нетрадиционных УВ-ресурсов в США: современное состояние и перспективы // Газовая промышленность. – 2012. – № 11. – С. 48-53.
2. *Голицын М.В., Богомолов А.Х., Вялов В.И., Зайцев В.А., Макарова Е.Ю., Митронов Д.В., Пронина Н.В., Черников А.Г.* Метаноугольные бассейны и месторождения России. Пути решения проблем добычи метана из угольных пластов // Геология нефти и газа. – 2013. – № 3. – С. 88-95.
3. *Клименко В.В., Терешин А.Г.* Нетрадиционный газ и трансформация глобального углеродного баланса // Доклады Академии наук. – 2013. – Т. 453. – № 1. – С. 95-98.
4. *Прищепа О.М., Аверьянова О.Ю.* Понятийная база и терминология углеводородов сланцевых низкопроницаемых коллекторов // Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений. – 2014. – № 6. – С. 4-15.
5. *Сунгатуллин Р.Х., Хасанов Р.Р., Сунгатуллина Г.М.* Нетрадиционные технологии отработки углеводородного сырья в Татарстане: экологический аспект // Георесурсы. – 2012. – № 2. – С. 46-49.
6. *Сунгатуллин Р.Х., Хасанов Р.Р., Сунгатуллина Г.М.* Разработка нетрадиционных углеводородов: геоэкологические преимущества и риски // Известия высших учебных заведений. Горный журнал. – 2014. – № 4. – С. 43-49.
7. *Хисамов Р.С., Гатиятуллин Н.К., Гафуров Ш.З., Хасанов Р.Р.* Геология и ресурсы Камского угольного бассейна на территории Республики Татарстан. – Казань: Изд-во «Фэн» АН РТ, 2009.
8. *Moore T.A.* Coalbed methane: A review // International Journal of Coal Geology. – 2012. – V. 101. – P 36-81.

ОЦЕНКА ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ПОСЛЕДСТВИЙ В РАЙОНАХ РАЗРАБОТКИ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

В.Н. Экзарьян

Российский государственный геологоразведочный университет имени С. Орджоникидзе (МГРИ-РГГРУ), 117997, г. Москва, ул. Миклухо-Маклая, 23. E-mail: ekzar@hotmail.ru

Процесс освоения минерально-сырьевых ресурсов является уникальной отраслью человеческой деятельности в силу своей непосредственной связи с природой как по цели и воздействию (недра Земли), так и по пространству, в котором он осуществляется (окружающая среда практически в полном спектре составляющих ее элементов). В этой деятельности в единый узел сплетаются все противоречия между необходимостью ее осуществления и развития и требованиями ее ограничения для сохранения окружающей среды.

Отличительной особенностью процессов освоения минерально-сырьевых ресурсов является также то, что они начинаются, как правило, на необжитых территориях, то есть с вхождения в контакт с первоначальным, девственным состоянием природной среды (фактически с ее биоценозом). Это дает уникальную возможность иметь в качестве исходной базы окружающей среды, в том числе геологической, по существу ее природный эталон.

Другой особенностью процесса является его динамическое свойство наращивать техногенную нагрузку на природу. Если начальные этапы процесса (геологическая съемка, общие поиски и т.п.) осуществляются с применением небольшого количества маломощной техники, то эксплуатация месторождений связана с использованием большого технического арсенала, который, как правило, приводит к разрушению природы. При этом пересекаются и сочетаются различные техногенные и природные факторы, проявляющиеся с различной интенсивностью на каждом этапе. В результате выявляется главное противоречие в оценке значимости процесса – между возрастанием прямого экономического эффекта при увеличении объемов производства минерального сырья и не менее интенсивно нарастающей техногенной нагрузкой на окружающую природную среду, величина которой часто превышает восстановительные возможности биосферы и геологической среды. Разрешение этого противоречия, имеющего в своей сути задачу обеспечения жизни человечества и сохранения природы, требует существенно нового взгляда на характер экономических и экологических аспектов и их взаимосвязи.

Горнодобывающий комплекс (ГДК) имеет ряд особенностей, определяющих проявление разнообразных экологических факторов. Наиболее типичные экологические факторы сформированы в четыре группы, связанные:

- с обустройством объекта добычи;
- особенностями выемки (способов добычи) минерального сырья;
- свойствами добываемого сырья;
- ликвидацией объекта разведки и добычи.

Экологические факторы, связанные с обустройством объекта добычи (нефтепромысел, шахты, карьер и т.п.) минерального сырья, имеют в целом ту же природу, что и возведение обычных промышленных объектов: подведение транспортных артерий, капитальное строительство основных производственных объектов, жилья, коммуникационных сооружений и социально-культурных объектов.

При обустройстве объекта добычи необходимо учитывать особенности природы во всем ее многообразии: речная система, лесное хозяйство, животный мир и т.д. и т.п. Вопрос охраны природной среды должен решаться с учетом экологических «законов», которые связаны с жизнедеятельностью отдельных видов животных и их сообществ. Так, вторжение в экологическую нишу северных оленей приводит при строительстве нефте- и газопроводов не только к значительному сокращению численности оленей, но и к социальным бедам коренных жителей.

Экологические факторы, связанные с особенностями выемки (способов добычи) минерального сырья, проявляются по-разному и зависят от способов проходки горных выработок, горнотехнических условий. При проходке горных выработок (шахты, штольни и др.) нарушается структура геологической среды. Сдвиг горных пород, провалы и мульды проседания земной поверхности поражают территории в сотни квадратных километров. Оползни,

обусловленные горными работами, захватывают массы грунтов объемом до 10 млн. м³, что приводит к катастрофическим последствиям. Нарушения водоносных горизонтов, вследствие проходки горных выработок, провоцируют образование депрессионных воронок радиусом до 10-15 км и затрудняют водообмен. По этой же причине заметно мелеют или пересыхают малые реки, пересыхают болота, обезвоживаются почвы и грунты.

К экологическим явлениям, связанным с проходкой подземных горных выработок, относится концентрация газов в горных выработках. Особенно опасен метан в угольных шахтах, наличие которого нередко приводит к взрывам с трагическими последствиями.

При проходке подземных горных выработок загрязняется воздушный слой. Основными источниками загрязнения являются газопылевые выделения из подземных горных выработок, из породных отвалов и складов полезных ископаемых. Считается, что в атмосферу Земли из подземных горных выработок шахт и рудников ежегодно поступает около 200 тыс. т пыли. Рудничный воздух, выделяемый в атмосферу, по некоторым данным содержит около 27 млрд. м³ метана и 16,8 млрд. т. диоксида углерода. Открытый способ разработки месторождений полезных ископаемых порождает не меньше экологических проблем.

Бурение глубоких скважин (более 1000 м) также может рассматриваться как опасный экологический фактор. При этом более существенное значение имеет не само проникновение бурового снаряда на большую глубину, а последующее использование глубоких скважин для различных технологических целей.

Загрязнение земель, подземных и поверхностных вод связано не только с производственной деятельностью, но и с аварийными ситуациями на внутри промысловых и магистральных трубопроводах, протяженность которых составляет сотни тысяч км.

Утечки газа из газопроводов составляют 6-7 млрд. м³ в год. В нефтеперерабатывающей отрасли появились новые техногенные явления: под заводами образовались залежи нефти. Значительные потери нефти связаны с ее перевозкой танкерами. В Мировой океан ежегодно выливается около 6 млн. т.: около 15% поверхности Мирового океана покрыто нефтяной пленкой.

Экологические факторы, связанные с ликвидацией объекта разведки и добычи, обусловлены возможностями и качеством рекультивационных работ, которые включают выравнивание земель, лесопосадки, создание парков и прудов на месте горных выработок и другие мероприятия. Эти мероприятия направлены, в основном, на восстановление медико-биологической, хозяйственной и эстетической ценности нарушенных ландшафтов. Имеются примеры, когда после разработки месторождений полезных ископаемых состояние земель, с точки зрения их использования в сельском хозяйстве или для мелиорации, улучшилось. В ряде случаев материал «хвостохранилищ» является сырьем для получения ценных компонентов на основе более совершенных технологических решений.

Однако такие примеры не являются преобладающими в реальной практике. Чаще имеет место пренебрежение установленными требованиями к рекультивации, небрежное их выполнение, а то и просто игнорирование.

Таким образом, можно выделить следующие основные экологические последствия ГДК:

1. Оседание земной поверхности и изменение природных ландшафтов.
2. Изменение режима поверхностных и подземных вод.
3. Изменения химического состава поверхностных и подземных вод.
4. Активизация экзогенных геологических процессов (ЭГП).
5. Загрязнение почв и горных пород.

Оседание земной поверхности возникает в результате добычи нефти и газа, откачек подземных вод, разработки пластовых залежей (уголь). Теоретически доказано, что любая откачка из недр жидкости, вызывающая понижение пластового давления, должна приводить к оседанию земной поверхности от 1 до 50 см на каждые 10 м падения уровня подземных вод.

Оседание поверхности земли начинается с локальных очагов, и постепенно сливаясь, охватывают большие площади до 10-15тыс. км², достигая скоростей более 20 см/год. Классические примеры оседания земной поверхности связаны с добычей нефти, газа и подземных вод в Америке (до 9 м) и Японии (4 м). При подземной газификации угля на глубине 70-200 м (Ангрен) на площади 0,5 км² возникла мульда с опусканием поверхности земли до 5 м. Большие мульды сдвижения образуются при подземной выплавке серы (Яворское и Гаурдакское месторождения).

Изменения режима поверхностных и подземных вод. Как известно, при продолжительном водоотборе формируются огромные депрессионные воронки с радиусом в десятки километров и почти полным осушением водоносных горизонтов. Так, на Миргалимсайском месторождении уровень подземных вод снижен на 300 м, Джекказганском – более 200 м, СУБРе – 360 м, площадь воронки около 100 км². Особо крупные депрессии образуются при эксплуатации группы рядом расположенных месторождений. В Западном Донбассе сформировалась воронка депрессии глубиной до 40 м площадью около 400 км². В Подмосковном угольном бассейне площадь депрессионных воронок по разным горизонтам составляет от 65 до 200 км². На территории СУБР за 40 лет эксплуатации образовалось около 1600 новых карстовых форм. На многих месторождения реки превращаются из источников дренирования в источники питания.

Изменения химического состава поверхностных и подземных вод. По данным ЮНЕСКО около 1/4 всех водных ресурсов на земном шаре оказалась загрязненной. В настоящее время объем стоков на Земле оценивается в 500 км³/год. Имеются прогнозные оценки, что к концу века объем стоков может существенно возрасти. Очагами загрязнения являются: хвостохранилища, пруды-накопители, солеотвалы и др. Воздействие горнодобывающих предприятий на водный режим территории сводится:

- 1) к изменению направления потока поверхностных и подземных вод;
- 2) изменению уровней и расходов потоков;
- 3) изменению качества воды.

Активизация ЭГП. Наиболее распространенными ЭГП в зоне действия ГДК являются: осыпи, обрушения бортов карьеров, оползни, сели, карстово-суффозионные и криогенные, иногда происходит усиление эрозии. Крупные оползни развиты на угольных карьерах Урала: Бутурлинский разрез (оползни объемом 1 млн. м³), Богословский разрез – серия оползней объемом 3-10 млн. м³, на Коркинском разрезе – многочисленные оползневые подвижки, на Магнитогорском железорудном месторождении – оползень 2 млн. м³. Эрозия, усиленная в пределах ГДК, наглядно наблюдается в Подмосковном угольном бассейне.

В г. Славянске в результате подземного выщелачивания залежей каменной соли поверхность земли просела на площади 100 га, максимальная просадка составила 32 см. Происходят провалы с образованием воронок диаметром до 45 м и глубиной до 10 м. При подтоплении территорий, сложенных лессовыми породами, возникают просадочные деформации (Атоммаш), которые приводят к значительному экономическому ущербу, авариям, а иногда и катастрофическим последствиям.

Криогенные процессы. Оттаивание мерзлых пород наиболее часто наблюдается под основаниями сооружений, вокруг стволов шахт и скважин, в днищах карьеров, вдоль трасс нефте- и газохранилищ, газопроводов. Интенсивное оттаивание происходит вокруг стволов газовых и нефтяных скважин. И, наоборот, в связи с уничтожением мохового покрова отмечается образование мерзлых пород там, где их раньше не было (Кольский полуостров). *Термокарст* – наиболее опасный криогенный процесс, возникающий в результате хозяйственной деятельности человека и приводящий к оттаиванию мерзлых пород, отмечается на севере Западной Сибири (Тимано-Печерской провинции, в долине рек Забайкалья). На территориях, где происходит увеличение влажности, возникают деформации *пучения*. Локальное пучение отмечено вдоль трасс ЛЭП, трубопроводов, трасс дорог в северо-восточных районах страны.

Загрязнение почв и горных пород. Источниками загрязнения являются: рудничные воды, гидрофилтрационные воды хвостохранилищ и шламонакопителей, воды естественного стока с породных и рудных отвалов, сточные воды ГОКов, рудничная пыль. Техногенные аномалии в почвах таких металлов, как кадмий, никель, молибден, цинк, ванадий могут быть опасны для всего живого. Еще опаснее накопление высокотоксичных металлов: ртути, свинца, мышьяка, селена. На черноземных почвах загрязняющее влияние горнодобывающих предприятий сказывается на расстояниях до 100-120 км, по глубине загрязнители проникают до 1 м.

В работе [2] предложена методика эколого-экономической оценки последствий, основанная на интеграции: природных рисков, экономического

ущерба и определения экономической эффективности природоохранных мероприятий. Однако основной проблемой при обеспечении безопасности разработки месторождений полезных ископаемых является выработка единого интеграционного показателя природных и техногенных рисков.

Литература

1. *Экзарьян В.Н.* Геоэкология и охрана окружающей среды. – М.: Изд. «Щит-М», 2009.
2. *Экзарьян В.Н.* Эколого-экономическая оценка техногенных последствий от изменений геологической среды как основа перехода на модель устойчивого развития // Геоэкология. – 2014. – № 3. – С. 242-252.

ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ ТРАНСФОРМАЦИИ ТЕРРИТОРИИ ИНДУСТРИАЛЬНОГО ГОРОДА НА РУБЕЖЕ XX–XXI ВВ. (НА ПРИМЕРЕ Г. ЖАНАТАС, КАЗАХСТАН)

И.А. Яшков, А.В. Иванов, Т.Н. Виноградова, М.И. Акчурин

Саратовский государственный технический университет имени Ю.А. Гагарина,
410054, г. Саратов, ул. Политехническая, 77. E-mail: yashkovia@mail.ru

В конце XX в. в результате сначала социально-экономических процессов периода перестройки, а затем и развала СССР большинство городов Казахстана были подвержены сильнейшим трансформациям. Политические, экономические и социальные потрясения в Казахстане, а также элементы нерационального природопользования серьезным образом изменили город. понадобилось несколько десятилетий для того, чтобы цветущие социалистические города превратились в центры социально-экономического и геоэкологического бедствия Казахстана.

Рассмотрим наиболее подробно городскую систему, испытавшую на себе влияние комплекса внешних (политические, экономические, социальные, культурные, экологические и др.) и внутренних (комфортность проживания, медико-санитарные, эпидемиологические и др.) факторов развития на примере эволюции города Жанатас как весьма показательной урбосистемы в свете вышеизложенного.

Рождение г.Жанатас началось с освоения в 1964 г. крупнейшего в горах Каратау фосфоритового месторождения, которое было открыто еще в 1939 г. За довольно короткое время населенный пункт значительно вырос, преобразовавшись из небольшого поселения в 20-25 домов (юрты казахов) в город районного (1969 г.), а затем и областного подчинения (1971 г.).

Город развивался как крупный промышленный центр, специализирующийся на добыче и транспортировке фосфатного сырья и продуктов его переработки. Запасы фосфоритовой руды только в одном месторождении «Жанатас» оценивались более чем в 200 млрд. т – это обеспечивало возможность экономического роста и развития города. Решением XXV съезда КПСС была определена необходимость доведения к 2000 г. объемов добычи фосфоритов в бассейне Каратау до 50 млн. т в год, что означало роль второго в СССР центра по добыче и химической обработке фосфоритов после комбината «Апатит» на Кольском полуострове [1]. В интервале 1969-1989 гг. в городе были построены и функционировали все необходимые системы жизнеобеспечения города: инженерные сети, рекреационные зоны, благоустроенные общественные пространства, объекты социального и культурно-бытового обслуживания, учреждения образования, здравоохранения, отдыха и культуры. Население города до 1989 г. стремительно росло и составляло к этому времени более 53 тыс. человек.

В начале 1990-х гг. политические, экономические и социальные потрясения в Казахстане, вызванные распадом СССР, а также элементы нерационального городского природопользования серьезным образом изменили эволюцию Жанатаса. Понадобилось совсем немного времени для того, чтобы город превратился в центр социально-экономического и экологического бедствия Казахстана. Общую ситуацию, которая сложилась к концу 1990-х гг. в Жанатасе, можно охарактеризовать как катастрофическую – население сократилось до 25927 чел. (1999), в городе в обостренной форме развивались многочисленные кризисные явления: политические, экономические, социальные, медико-санитарные и др.

На протяжении всего постсоветского периода в Жанатасе наиболее выраженными геоэкологическими проблемами в изменении облика городского ландшафта стали значительная площадь заброшенных жилых домов и, даже, целых микрорайонов; запущенное состояние дворовых территорий, фрагментарная вырубка древесной и кустарниковой растительности для обогрева и приготовления пищи; общее загрязнение городской среды твердыми бытовыми отходами и продуктами разрушения промышленных и жилых зданий; возникновение зон антисанитарного состояния в местах несанкционированного размещения бытовых отходов и разделки домашнего скота во дворах жилых микрорайонов и др.

В 2013 г. в ходе маршрутных работ по территории г. Жанатас были изучены состояние жилой и заброшенной городской инфраструктуры, благоустройства дворовых территорий, зеленой архитектуры, мест размещения контейнеров для сбора мусора, пешеходных зон, гаражных комплексов, поливной системы (арыков) и пр. Также маршрутные исследования затронули территории, прилегающие к горнопромышленным объектам (действующим и заброшенным карьерам, фабрикам).

Опыт этих исследований показал наличие значительного количества примеров деструктивного развития городской среды и уровня жизни населения Жанатаса.

Последующая камеральная обработка экспедиционных материалов, в том числе с привлечением методов прикладного аэродешифрирования, дистанционного зондирования и геоинформационного картографирования, позволила построить серию тематических карт на территорию города Жанатаса по состоянию на 2015 г. [2].

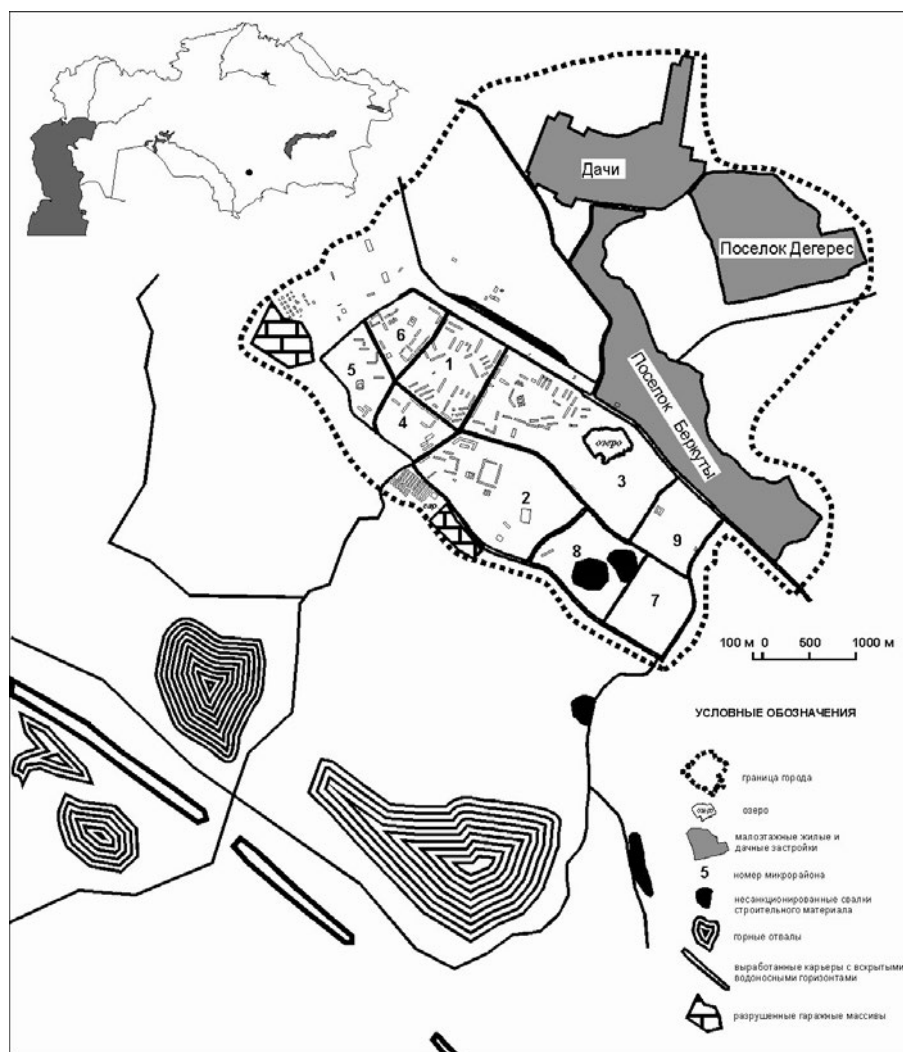


Рис. 1. Карта геоэкологического состояния территории г. Жанатас и прилегающих районов добычи фосфорита по состоянию на ноябрь 2016 г.

На сегодняшний день наиболее катастрофическими примерами геоэкологической трансформации территории города Жанатас остаются площадки несанкционированного размещения строительного материала, полученного в ходе многолетней программы по сносу аварийных и нежилых зданий. Они размещаются практически повсеместно по территории города и представляют серьезную опасность местному населению. Кроме того, выявлены участки несанкционированного складирования строительных отходов за границей города в ущельях и карьерных выемках. Нерешенными остаются проблемы рекультивации выработанных карьеров со вскрытыми водоносными горизонтами, горных отвалов, заброшенных гаражных массивов, бывших промышленных площадок и прочие (рис. 1).

Современный обзор действующих нормативных документов республиканского, областного и местного уровня, в которых юридически регламентируются процедуры реконфигурации территории моногородов Казахстана, позволяет говорить о некоторой положительной активизации посткризисных процессов в городах на фоне ускоренной индустриализации.

Наиболее серьезного внимания заслуживает изучение вопроса строительства горнорудного и химического комплексов в районе города Жанатас, с которым самым тесным образом связаны российские компании, инвестирующие в добычу фосфоритовой руды и производства минерально-химической продукции.

С целью расширения ресурсной базы с 2013 г. российская агрохимическая компания ЕвроХим, специализирующаяся на производстве азотных и фосфорных удобрений, ведет разработку фосфоритоносных месторождений в непосредственной близости от города Жанатаса в Джамбульской области: Кокджон (запасы фосфоритовой руды составляют более 505,0 млн. т руды по категории А+В+С1) и Гиммельфарбское (запасы фосфоритовой руды составляют 328,0 млн. т руды по категории А+В+С1) [3].

Стратегически важный для развития Южного Казахстана и непосредственно города Жанатаса проект призван обеспечить казахстанских сельхозпроизводителей качественными удобрениями и стимулировать рост производительности сельского хозяйства. На первом этапе, завершившемся в декабре 2015 года, инвестором организована добыча на месторождениях, а также построено и освоено производство фосфоритной муки в объеме 640 000 т/год. Объем инвестиций составил более 130 млн долл. США.

В настоящее время на втором этапе реализации проекта продолжается работа над созданием транспортной инфраструктуры и запуском дополнительных мощностей. Реализуется программа строительства предприятия по переработке и производству химической продукции и удобрений: сульфата калия, дикальций фосфата, хлористого кальция, гипса, сульфата магния, азотно-фосфорно-калийных удобрений. После запуска всех мощностей совокупные объемы производства превысят 1 млн т. различных удобрений в год.

Суммарный объем инвестиций на втором этапе оценивается в 1 млрд. долларов. Общие инвестиции «ЕвроХима» в освоение жамбылских фосфоритных месторождений в ближайшие годы могут составить около 2 млрд. долларов. К сегодняшнему дню на предприятии ТОО «ЕвроХим-Каратау» создано более 300 рабочих мест (перспективный план – более 800 человек). Всего же планируется создать до 2000 рабочих мест непосредственно на горнопромышленном производстве и в смежных отраслях, на которых будет трудиться городское население Жанатаса. Строительство новых горнопромышленных производств должно стимулировать сокращение оттока населения из города, рост населения как за счет естественного прироста, так и трудовой миграции. По прогнозным оценкам к 2030 г. население города увеличится до 30 тыс. чел. (*практически выровняется с показателями 1979 г.*), а к 2050 г. оно возрастет до 40 тыс. (*будет сопоставимым с численностью населения на начало 1980-х гг.*) [4].

Перспективная стратегическая модель развития городского пространства Жанатаса в настоящее время определяется мастер-планом, разработанным по заказу ЕвроХим российской группой компаний «Конструкторское бюро высотных и подземных сооружений» (г. Санкт-Петербург), специализирующейся на разработке архитектурной концепции территорий, проектировании и строительстве объектов, экономической оценке проекта, управлении и эксплуатации.

Градопланировочные и природоохранные мероприятия в городе предполагают как уплотнение существующей жилой застройки, оставшейся в наследие от советской микрорайонной градостроительной модели, так и развитие «новых территорий» города. Строительство нового крупного жилого района предполагается в его юго-восточной части, где ранее размещались седьмой, восьмой и девятый микрорайоны города, снесенные полностью с поверхности городского ландшафта за последние годы. Уплотнительная застройка планируется в первом, четвертом, пятом и шестом микрорайонах. Между городскими микрорайонами предусмотрено формирование удобных пешеходных маршрутов, размещение благоустроенных общественных пространств. Дворовые пространства планируется оборудовать детскими площадками [5].

Таким образом, территория города Жанатаса является одним из наиболее показательных модельных полигонов исследования геоэкологических проблем функционирования городской геосистемы и комфортности проживания населения. Рубеж XX-XXI вв. наиболее характерно демонстрирует серьезные проблемы поиска местными властями инструментов эффективного городского природопользования.

Для ЕвроХим, одного из крупнейших мировых производителей минеральных удобрений, развитие горнопромышленной инфраструктуры города Жанатас с размещенными поблизости фосфоритовыми месторождениями является перспективным проектом, позволяющим существенно расширить

ресурсную базу с возможностью реализации продукции как в Казахстане, так и в других странах мира.

Работа выполнена при финансовой поддержке Минобрнауки России и Германской службы академических обменов (DAAD) в рамках Государственного задания 33.695.2016/ДААД по проекту «Экологическая история советских народов (на примере Казахстана) в исторической памяти немецких мигрантов конца XX века»; в рамках реализации комплексной научно-инновационной программы Саратовского государственного технического университета имени Ю.А. Гагарина на 2016-2018 годы (направление 15В «Изучение фундаментальных экологических закономерностей функционирования и эволюции природно-техногенных систем, обеспечение безопасности, оценка туристического потенциала (региональные и глобальные аспекты)»).

Литература

1. Жабасов С.И., Мухтаров М.А. Камни плодородия Каратау. – Алма-Ата: Казахстан, 1977.
2. Яшков И.А., Иванов А.В., Виноградова Т.Н. Урбанистический атлас Казахстана. Эволюция сети поселений в XX-XXI веках. – Саратов: ООО «Кузница рекламы», 2016. – 36 с.
3. Комитет геологии и недропользования Министерства по инвестициям и развитию Республики Казахстан. – URL: <http://geology.gov.kz/ru/presstsentr/informatsiya/spravochnik-mestorozhdenij-kazahstana/tverdye-poleznye-iskopaemye/>
4. ЕвроХим – Удобрения. – URL: <http://www.eurochemgroup.com/ru/>
5. Группа компаний «Конструкторское бюро высотных и подземных сооружений». – URL: <http://kbvips.ru/>

2. ОЦЕНКА ПРИРОДНО-ТЕХНОГЕННЫХ ОПАСНОСТЕЙ И РИСКОВ В РАЙОНАХ РАЗРАБОТКИ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

КОНЦЕПТУАЛЬНЫЕ ОСНОВЫ ПРОГНОЗА ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ РАЙОНОВ ОСВОЕНИЯ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

А.А. Волчек, П.В. Шведовский

Брестский государственный технический университет,
Республика Беларусь, г. Брест, ул. Московская, 267. E-mail: Volchak@tut.by

При рассмотрении района освоения месторождения полезных ископаемых как объекта его геоэкологическая безопасность определяется способностью выполнять присущие ему функции экологического аспекта с сохранением основных параметров при антропогенных технологических воздействиях системы освоения.

Основные параметры геоэкологической безопасности объекта по исследованиям [1, 2] зависят от соотношения самовосстанавливающихся и не восстанавливающихся элементов (цепей), их структурно-функциональной связанности (последовательное, параллельное, наложенное, с последствием), степени их управляемости, продолжительности эксплуатационных циклов, и наличия слабых «звеньев» (степенью контролируемости и прогнозируемости).

С математической точки зрения параметрическая функция геоэкологической безопасности объекта есть вероятность того, что за время функционирования системы освоения месторождения параметры ее состояния и состояния объекта не выйдут за допустимые пределы.

Если базировать геоэкологическую безопасность на обобщенных параметрах сопротивляемости (живучести) R и нагрузки P , то вероятность безопасности объекта можно выразить соотношением

$$P_i = P(R - R) > 0, \text{ при } P_i + Q = 1, \quad (1)$$

где Q – вероятный риск.

Соответственно непараметрическая функция будет иметь вид

$$F(t) = n^t \cdot (1 - \bar{h}_j), \quad (2)$$

где \bar{h}_j – оценка функции максимального правдоподобия; t – время функционирования системы освоения месторождения; n – число независимых нецензурируемых (неконтролируемых) и цензурируемых элементов объекта.

В общем геэкологическая безопасность объекта должна аспектироваться относительно функций эколого-социальных последствий (F_1) и экологической надежности (F_2), определяющих параметры и степень экологических нарушений среды обитания ($П_1$) и изменения социально-экономических условий проживания ($П_2$) населения.

Количественное определение этих параметров возможно осуществлять через самые различные критерии: среднюю продолжительность жизни населения, как в целом, так и по возрастным и социальным группам; уровни обеспеченности комфортности и т.д. Но независимо от принятых критериев, параметры геэкологической безопасности – всегда случайные величины, поэтому их количественную оценку необходимо определять с позиций выбросов (флуктуации) случайных функций.

Специфичность геэкологических последствий – группа типа времени жизни – обуславливает целесообразность использования суммарных статистик на базе теории векторов с анализом покомпонентных воздействий внутренних и внешних свойств системы освоения, которые позволяют учесть накопленную меру воздействий (K_j) и их сдвиг во времени (τ_j).

При этом степень допустимости изменений их состояния всегда имеет внеэкономическую компоненту, связанную с уникальностью, т. е. оценка изменений состояния природного объекта, а, соответственно, и антропогенизирующей системы должна проводиться на основе теории полезности, включающей как «материально осязаемые», так и «неосязаемые полезности».

Отсюда функция геэкологической безопасности (P_c) должна охватывать три области: собственно объекта (P_1), его элементы (P_2) и процессы (P_3), т. е., $P_c = P_1 \cdot P_2 \cdot P_3$. При этом, если не наступает катастрофического разрушения объекта, P_1 – определяет вероятность его функционирования в пределах допустимого, P_2 – вероятность того, что основные элементы объекта, в течение определенного периода, не выйдут за пределы допустимого, а P_3 – вероятность того, что технология освоения месторождения полезных ископаемых не вызовет катастрофических изменений основных элементов объекта.

Анализ единичных графиков функции геэкологической безопасности [$P_c(t)$], функции интенсивности нарушения элементов объекта [$\lambda(t)$] и функции «резервной» безопасности надежности [$f(t)$], определяющей длительность периода до неблагоприятных изменений объекта (рис.1), показывает, что интенсивность роста последствий в период формирования критического уровня геэкологической безопасности, должна определяться уровнем на-

чальной безопасности и изменчивостью во времени внутренних процессов системы освоения и внешних факторов.

Анализ временных графиков позволяет отметить, что оптимальный уровень геоэкологической безопасности можно обеспечивать на двух направлениях – начальным «резервированием» и поэтапной реализацией охранных и восстановительных мероприятий.

С эколого-социальной точки зрения определение оптимального компромисса между приведенными затратами и геоэкологической безопасностью требует установления функции экологического ущерба вида

$$Y_i(S) = Y(a_1, a_2, \dots, a_n; b_1, b_2, \dots, b_n), \quad (3)$$

где a_i – параметры, определяющие состояние системы воздействием, влияющих на вероятность появления экологических изменений; b_i – детерминированные величины, определяющие конструктивно-технологические характеристики системы и эколого-экономические характеристики объекта.

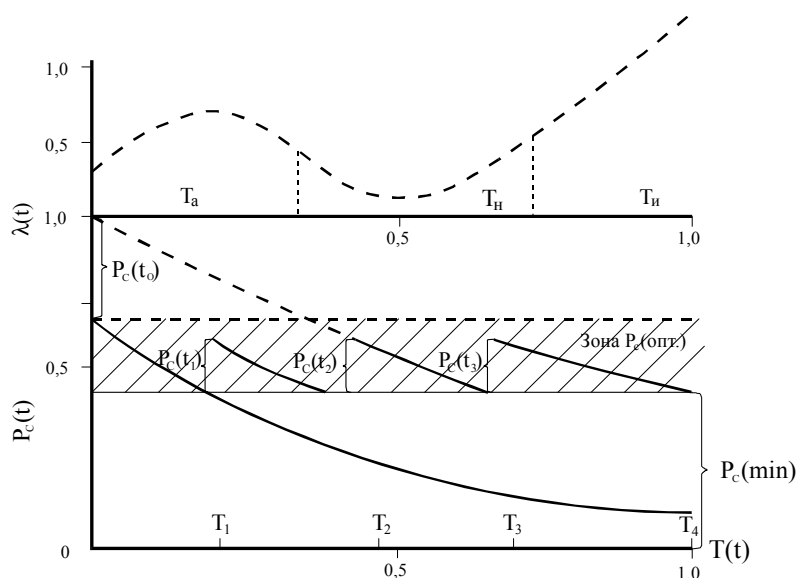


Рис. 1. Временные графики изменения геоэкологической безопасности $[P_c(t)]$ и интенсивности нарушений $[\lambda(t)]$:

T_n – начальный период воздействия (период эксплуатации системы освоения);
 $T_{\text{н}}$ – период оптимального функционирования; $T_{\text{к}}$ – период формирования критического уровня геоэкологической безопасности; $P_c(t)$ – геоэкологическая безопасность при начальном «резервировании»; $P_c(T_1)$ – повышение геоэкологической безопасности при поэтапной реализации восстановительных и охранных мероприятий; P_1^{min} – минимально допустимая экологическая безопасность.

Отсюда прогнозирование геоэкологической безопасности требует выделения и анализа четырех возможных и несовместимых состояний объекта: S_0 – нормального функционирования; S_1 – некоторой допустимой перегрузки; S_2 – потери способности к самовосстановлению; S_3 – критического состояния.

По принципу формирования возможных реальных состояний системы освоения ее поведение можно описать функцией $S_i = \sum_{j=1}^a \sum_{n=1}^m S_i^{r,t}$, где i – состояние группы элементов типа $r = 1, 2, \dots, m$, находящихся под воздействием $t=1, 2, \dots, n$ – факторов, для которых характерно 7 прямых ($S_0 \Leftrightarrow S_1$) и 3 контингентных ($S_0 \Leftrightarrow S_2 \cdot S_3$) рисков [3].

Тогда общий закон вероятности разрушения объекта или отдельных его элементов, исходя из предельных состояний и способности к самовосстановлению и нормальному воспроизводству, будет имеет вид

$$Q = F_o(T_{CP}) = \int_0^{1/\beta_2} \varphi_1(S) \cdot \left[\int_0^{\beta_1/\beta_2} \varphi_2(r) dr \right] dS, \quad (4)$$

где β_1/β_2 – суперпозиция функций; $\beta_1 = f(r, S)$ и $\beta_2 = \lambda(r, S)$; r – характеристика устойчивости объекта к преобразованию; S – резерв геоэкологической безопасности; T_{CP} – период функционирования; F_o – функция геоэкологической безопасности; $\varphi_1(S)$ – плотность вероятности действующих антропогенных воздействий; $\varphi_2(r)$ – плотность вероятности критических (разрушающих) воздействий; f и γ – соответственно, функции «резервной» геоэкологической безопасности и интенсивности нарушений.

Проведенный анализ показывает, что функция геоэкологической безопасности (B_0) определима номенклатурой следующих основных критериев (признаков-свойств): κ_1 – степень обратимости и взаимодействия природных и производственных процессов; κ_2 – степень пригодности и качество выполнения социально-экологических функций; κ_3 – направленность и интенсивность развития основных компонент; κ_4 – величина критического воздействия (нагрузки) на отдельные компоненты; κ_5 – реакция на систему мероприятий по предупреждению и (или) устранению негативных последствий; κ_6 – степень воспроизводства природных (биосферных) ресурсов; κ_7 – степень удовлетворения общественных потребностей в качестве природной среды; κ_8 – показатель репродукционной продуктивности; κ_9 – степень окультуренности ландшафтов; κ_{10} – степень изъятия биосферных ресурсов; κ_{11} – величина удельных капиталовложений; κ_{12} – степень совершенства технологических процессов.

В качестве дополнительных критериев в отношении функции эстетичности (P_3), определяющей психолого-эстетические качества объекта и системы освоения необходимо рассматривать k_p^1 – коэффициент натуральности облика, k_p^2 – степени антропогенности элементов среды, k_p^3 – степени компо-

зиционной значимости визуальных пространств и k_p^4 – степени разнообразия территории по структуре и компонентам.

Оптимальность диапазонов критериев геоэкологической безопасности (F_0) и психолого-эстетических качеств объекта и системы освоения (P_3) должна обеспечивать их биосферную совместимость.

Необходимо также отметить, что структурная сложность и неоднородность природных объектов районов освоения месторождений полезных ископаемых позволяют создать только формализованные методы прогноза и оценки их состояний, а соответственно, и геоэкологическую безопасность района освоения месторождений полезных ископаемых, что обусловлено широким и неопределенным спектром внешних и внутренних факторов и процессов.

Литература

1. Бурлибаев М.Ж., Волчек А.А., Шведовский П.В. Проблемы оптимизации природопользования и природообустройства в математических моделях и методах. – Алматы: Каганат, 2003. – 532 с.
2. Логинов В.Ф., Волчек А.А., Шведовский П.В. Практика применения статистических методов при анализе и прогнозе природных процессов. – Брест, 2004. – 301 с.
3. Левкевич В.Е. Экологический риск – закономерности развития, прогноз и мониторинг. – Минск: ИООО «Право и экономика», 2004. – 152 с.

ОЦЕНКА РИСКОВ В РАЙОНАХ РАЗРАБОТКИ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

В.А. Давиденко¹, Л.Е. Подлипенская¹, Т.В. Хребтова²

¹ ГОУВПО Луганской народной республики «Донбасский государственный технический университет», 94204, ЛНР, г. Алчевск, пр. Ленина, 4.
E-mail: ebgd@ukr.net, lida.podlipensky@gmail.com

² Керченский государственный морской технологический университет,
298309, Россия, Республика Крым, г. Керчь, ул. Орджоникидзе 82,
E-mail: tkhrebtova@mail.ru

В работе рассмотрены основные понятия риска для территорий с интенсивной добычей полезных ископаемых и исследованы подходы к его оценке.

Риск – это мера опасности. Риск всегда включает два элемента: частоту, с которой происходит опасное событие и последствия опасного события [6].

Экологический риск – возможность, вероятность (качественно или количественно определенная) резких изменений и нарушений в окружающей среде и возникновение в связи с этим негативных социально-экономических и иных последствий в обществе [2].

В настоящее время традиционный подход в оценке риска определенной опасности предполагает двухкомпонентную оценку $\{P, Y\}$, где первой компонентой выступает вероятность P возникновения опасного события, а второй – оценка последствий (вреда, ущерба) Y для реципиента, возникающих при реализации опасности [3,4]. Если удастся выполнить количественную оценку обеих компонент риска, то можно получить содержательные выводы по оценке риска рассматриваемой опасности как в двумерной плоскости (матрицы риска), так и одномерно (трактуя риск как математическое ожидание, или вероятностный ущерб): $R = P \cdot Y$.

Сложности оценки экологического риска, возникающего при разработке месторождений полезных ископаемых, связаны с рядом обстоятельств, главные из которых:

- нечеткость оценки ущерба природной среде;
- недостаточная статистика по исследуемым факторам опасностей;
- недостаточная изученность законов распределения критериев риска, на основании которых определяются вероятности (зачастую априори выбирается нормальный закон распределения комплексного критерия риска).

Выполнен анализ основных техногенных и техно-природных процессов и явлений, происходящих на территориях интенсивных разработок полезных ископаемых. С этой целью были отобраны наиболее типичные факторы опасности [5], связанные с осуществлением производственной деятельности по извлечению полезных ископаемых и представляющие собой угрозу для природной среды, человека и неприродных объектов (табл. 1).

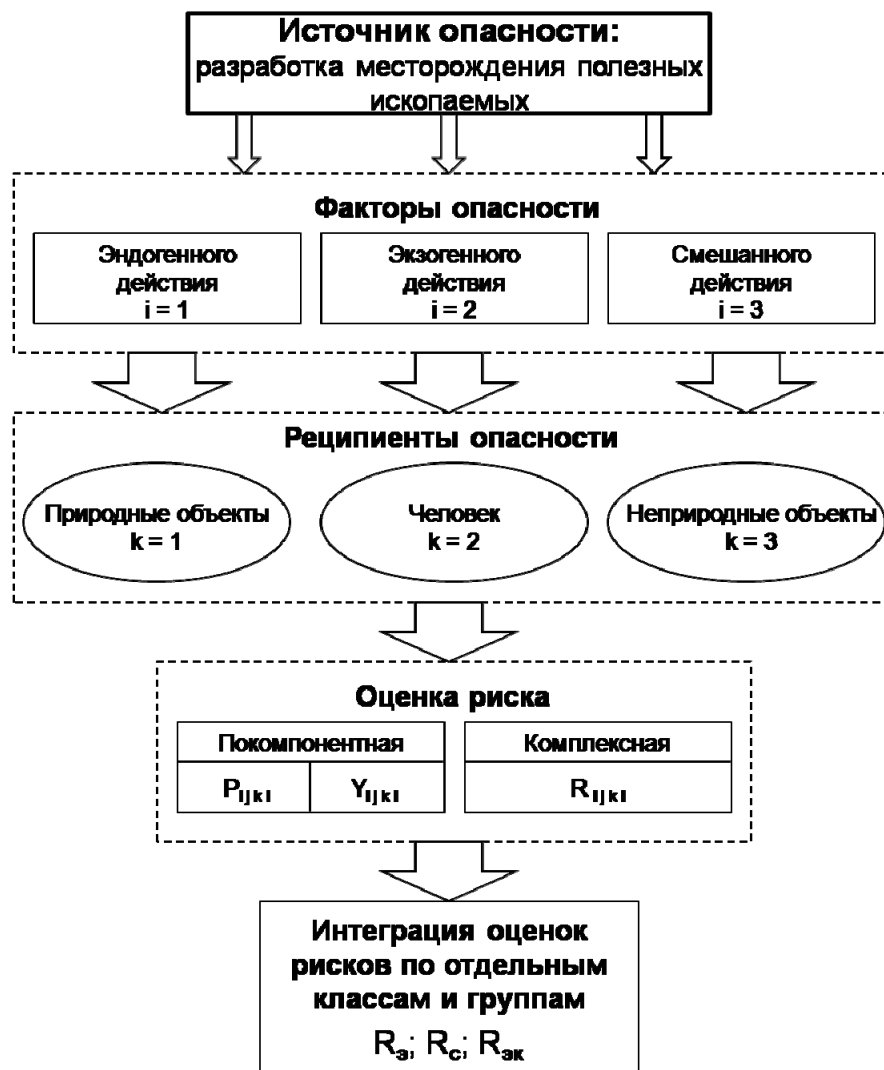
В таблице знаком «+» отмечаются наиболее значимые для определенных реципиентов опасности, вызванные производственной деятельностью горного (горнорудного) предприятия. В приведенной таблице в качестве примера экспертно и усредненно выполнена оценка для типичной шахты Восточного Донбасса.

Для количественной оценки экологического риска необходимо выполнить комплексное исследование по конкретному разрабатываемому месторождению с учетом природных, социальных характеристик и производственных показателей работы предприятия. В качестве первичного материала могут быть использованы статистические данные, результаты полевых наблюдений, данные дистанционного зондирования, результаты моделирования и пр. На основе этих данных производится оценка отдельных опасностей для определенных объектов воздействия в форме вероятности поражения данного реципиента, соответствующего ущерба и вероятностного ущерба в конечном виде. Схема оценивания рисков, соответствующая табл. 1, представлена на рис. 1.

Таблица 1

Значимость и направленность факторов опасности при разработке месторождений полезных ископаемых

Фактор опасности		Реципиенты опасности										
Класс	Код	Описание	Природные объекты						Человек		Неприродные объекты	
			Атмосфера	Поверхностные воды	Подземные воды	Литосфера	Почвы	Биота	Человек	Неприродные объекты	Технические объекты и сооружения	
	1.1		+	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6	2.1	3.1		
	1.1	Геодинамический процесс	+	+	+	+	+	+	+	+	+	
	1.2	Газодинамический процесс	+			+	+	+	+	+	+	
	1.3	Горнотектонический удар										
	1.4	Эндогенные пожары в шахтах и рудниках	+					+	+		+	
1. Эндогенные	1.5	Выделение газов из горных выработок, выработанных странств, массивов горных пород	+					+	+			
	1.6	Наведенное землетрясение										
2. Экзогенные	2.1	Горение терриконов и отвалов	+	+	+	+	+	+	+	+	+	
	2.2	Подтопление поверхности грунтовыми водами		+	+		+	+	+	+	+	
	2.3	Оползни				+	+	+	+	+	+	
	2.4	Проседание поверхности				+	+	+	+	+	+	
	2.5	Провалы				+	+	+	+	+	+	
3. Смешанного действия	3.1	Геокриологические опасности (протаивание грунтов)										



Условные обозначения:
i – класс фактора опасности (согласно табл. 1, первая цифра кода);
j – индекс фактора опасности (согласно табл. 1, вторая цифра кода);
k – класс реципиента опасности (согласно табл. 1, первая цифра индекса реципиента);
l – подкласс реципиента опасности (согласно табл. 1, вторая цифра индекса реципиента);
P, Y, R – вероятность, ущерб и комплексная оценка риска по соответствующим классам и подклассам.

Рис. 1. Схема оценки рисков для территорий с интенсивной добычей полезных ископаемых

Важным этапом в исследовании рисков на территории интенсивной добычи полезных ископаемых является интеграция показателей риска. Очередность выполнения укрупнения показателей дает возможность выполнить анализ как по отдельным компонентам риска (в вероятностном и стоимостном аспектах), так и по группам факторов и реципиентов риска. Схемы и модели оценивания риска зависят, прежде всего, от наличия исходных данных, характеризующих параметры объектов и факторов риска. Предлагаются к использованию следующие схемы:

1. Схема А. Применяется при наличии всех необходимых характеристик компонент риска $\{P_{ijkl}, Y_{ijkl}\}$. Последовательность вычисления рисков содержит следующие этапы:

- оценка единичных рисков $R_{ijkl} = P_{ijkl}, Y_{ijkl}$;
- оценка рисков, распределенных по *i*-тым факторам опасностей (экологические $R_{эi}$, социальные R_{ci} , экономические $R_{эki}$);
- оценка рисков, распределенных по компонентам природной среды;
- интегральные оценки экологического $R_{э}$, социального R_c и экономического рисков $R_{эж}$, выявленных в районах разработки месторождений полезных ископаемых.

2. Схема Б. Выполняется оценка рисков по вероятностным компонентам P_{ijkl} . Может быть использована этапность схемы А.

3. Схема В. Выполняется оценка риска по компонентам, характеризующим ущерб Y_{ijkl} . Оценка ущербов может выполняться в стоимостной или натуральной форме, а также в виде безразмерных унифицированных показателей [1,3,4]. Может быть использована этапность схемы А.

4. Схема Г. Смешанный вариант. Выполняется выборочная оценка риска для определенных объектов воздействия и некоторых факторов риска по тем компонентам риска, которые могут быть определены, и которые являются определяющими при анализе рисков и проектировании противорисковых мероприятий. Данная схема является наиболее трудной для интегрирования рисков по всем факторам и реципиентам.

Законодательство и нормативно-методические документы, действующие в области добычи полезных ископаемых и промышленной безопасности в целом, предписывают только необходимость проведения оценки и анализа риска, однако не требуют строгого следования конкретным методам. Предложенный метод, основанный на оценке отдельных опасностей для определенных объектов воздействия в форме вероятности поражения отдельного реципиента и вероятностного ущерба, внедрен и хорошо зарекомендовал себя в некоторых районах разработки полезных ископаемых.

Литература

1. 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.
2. Опасные технологии производства: учеб. пособие / под ред. В.Ю. Радоуцкого. – Белгород: Изд-во БГТУ, 2008. – 202 с.
3. Ошкадер А.В. Методологические основы оценки экологической ситуации при использовании подземных вод // Проблемы региональной экологии. – 2015. – № 6. – С. 97-102.
4. Ошкадер А.В., Подлипенская Л.Е. Разработка моделей количественной оценки риска при использовании подземных вод // Сергеевские чтения. Инженерная геология и геоэкология. Фундаментальные проблемы и прикладные задачи. Юбилейная конференция, посвященная 25-летию образования ИГЭ РАН / Отв. ред. В.И. Осипов. – 2016. – С. 183-188.
5. Сластунев С.В., Фейт Г.Н. Оценка риска опасных техноприродных процессов при защите окружающей среды в зоне ведения горных работ // Горный инф.-аналит. бюлл. – 2007. – № 1. – С. 11-14.
6. Швыряев А.А., Меньшиков В.В. Оценка риска воздействия загрязнения атмосферы в исследуемом регионе: учебное пособие для вузов. – М.: Изд-во МГУ, 2004. – 124 с.

НЕОТЕКТОНИКА ЮЖНОЙ ЧАСТИ ВЕРХНЕКАМСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ КАЛИЙНЫХ СОЛЕЙ В СВЯЗИ С ОБЕСПЕЧЕНИЕМ ГЕОДИНАМИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ РУДНИКОВ

**В.М. Макеев¹, А.Л. Дорожко¹, Ю.А. Мамаев¹, Н.В. Макарова²,
Т.В. Суханова², И.В. Коробова¹, И.В. Бондарь²**

¹ Институт геоэкологии им. Е.М. Сергеева РАН (ИГЭ РАН);

Москва, 101000, Уланский пер., д. 13, стр. 2. E-mail: vmakeev@mail.ru

² МГУ, геологический ф-т; Москва, 119991, Москва, ГСП-1, Ленинские горы, д. 1.
E-mail: tanikamgu@mail.ru

Неотектонические структуры редко учитываются при оценке горно-геологических условий месторождений полезных ископаемых по ряду причин, одной из которых является сложность выявления и оценки этих структур в связи с незначительными градиентами деформаций, особенно в платформенных условиях. Разработанный в ИГЭ РАН комплексный структурно-геодинамический подход позволяет выявлять неотектонические структуры и оценивать их влияние на условия отработки полезных ископаемых. Верхнекамское месторождение калийных солей (ВКМКС) характеризуется сложными природно-техногенными условиями, поэтому выявление и оценка новей-

ших структур, часть из которых является геодинамически и геоэкологически опасными зонами – это одна из актуальных задач.

ВКМКС занимает центральную, большую часть площади соляной залежи, имеющей форму линзы и выполняющей древнюю Соликамскую впадину раннепермского возраста. Границы месторождения проводятся по контуру многопластовой залежи калийно-магниевых солей протяженностью 140 км при ширине до 47 км [1]. Соликамская впадина – часть Предуральского краевого прогиба герцинского времени. Закрытие впадины с образованием деформаций выполняющих ее отложений и завершение ее развития произошло в позднегерцинское время (конец поздней перми – начало триаса). Она имеет западно-асимметричное строение и нарушена в центральной части Боровской и Дуринской разломными субширотными зонами сбросо-сдвигового типа и на западе субмеридиональной Красноуфимской разломной зоной. В течение мезозоя и раннего кайнозоя исследуемая территория испытывала платформенный этап развития и подвергалась эрозионно-денудационному выравниванию с образованием обширного пенеплена. В новейший этап, начавшийся здесь в раннем плиоцене, территория начала испытывать деформации, одной из главных причин которых, возможно, является поднятие Уральского эпиплатформенного орогена и его расширение, а также процессы перераспределения солей в рассматриваемой впадине. В результате произошло образование новейшего Соликамского поднятия [4], границы которого наследуют в общих чертах контуры одноименной герцинской впадины.

Морфология новейших структур ВКМКС, осложняющих Соликамское новейшее поднятие, крайне разнообразна. По морфологии, а, возможно, и по генезису новейших структур, разрабатываемая в настоящее время территория ВКМКС может быть условно разделена на северную и южную области, граница между которыми проходит по Дуринскому субширотному новейшему поднятию, развивающемуся в пределах одноименной древней разломной зоны. Для структурного плана северной Соликамско-Боровской области характерны преимущественно изометричные куполообразные поднятия, разделенные узкими прогибами и, в некоторых случаях, довольно широкими впадинами. Характеристика новейших структур этой области была дана ранее в публикациях [2, 3]. Данная работа посвящена структурно-неотектоническим и геодинамическим исследованиям южной Березниковской области.

Новейшие структуры, как пликативные (поднятия и прогибы), так и дизъюнктивные (линеamentные зоны и разрывы) выделяются на основании изучения форм рельефа, состава и мощности новейших отложений, дешифрирования топографических карт разных масштабов, космоснимков и цифровых моделей рельефа различного разрешения, привлечения большого объема геологических (преимущественно буровых скважин) и геофизических данных, а также полевых исследований. Важным индикатором характера неотектонических движений, морфологии и возраста структур являются эрозионно-денудационные поверхности выравнивания, речные и флювиогляциальные террасы, их возраст и деформации. В южной части ВКМКС наиболее древняя

эрозионно-денудационная поверхность, после формирования которой начался новейший этап, датируется поздним миоценом. Кроме позднемиоценовой (N_1^3), здесь развиты еще четыре эрозионно-денудационные поверхности – раннеплиоценовая (N_2^1), позднеплиоценовая (N_2^2), эоплейстоценовая (Q_E) и ранненеоплейстоценовая (Q_1), а также три аллювиальных и одна флювиогляциальная эрозионно-аккумулятивные террасы.

На исследуемой территории широкое развитие имеет эрозионно-денудационный рельеф с наложенными на него флювиогляциальными формами, тогда как аккумулятивный рельеф развит значительно меньше, в основном в долинах главных рек – Камы, Яйвы, Зырянки. Это свидетельствует о происходящем поднятии территории, продолжающемся на протяжении плиоцена и всего четвертичного времени.

К региональным новейшим структурам относятся Березниковско-Балахонцевскре поднятие (Б-Б), Камский прогиб (К) и Камско-Вишерский вал (К-В) (рис. 1). Наибольший интерес с точки зрения обеспечения геодинамической безопасности калийных рудников, и прогнозирования опасных геологических процессов, представляют структуры, осложняющие Б-Б поднятие, в пределах которого расположены эти рудники. Значительный интерес представляет Дуринское поднятие (Д), которое выражено новейшим валом, вернее, системой валов, кулисообразно причленяющихся друг к другу, пространственно и, возможно, генетически связанных с древней Дуринской разломной зоной.

Березниковско-Балахонцевское поднятие включает субрегиональные структуры: Зырянский (З) и Легчимский (Лг) прогибы, Нижнезырянское (Нжз), Балахонцевское (Бл) и Верхнеяйвинское (Вя) поднятия. Прогибы развиваются сопряженно с поднятиями, и, в свою очередь, осложняются рядом локальных структур. К субрегиональным структурам так же относятся Дуринское (Д) поднятие и Яйвинский (Я) прогиб. Нижнезырянское поднятие С-СВ простирания, «тесно» сочленяющееся с Дуринским валом, состоит из Березниковского (Бр) и Шарাপовского (Шр) локальных поднятий. В пределах первого поднятия расположены большая часть затопленного рудника БКПРУ-1 и природно-техногенные провалы, выраженные на дневной поверхности. В пределах второго поднятия расположен действующий рудник БКПРУ-4. Эти два локальных поднятия развиваются сопряжено с Быгельским локальным прогибом (Бг). Рассматриваемые поднятия асимметричны: их восточные крылья положе западных, а северные круче и короче южных, более пологих. Абсолютные высоты снижаются с севера на юг в направлении к Зырянскому прогибу (З). Южная, наиболее поднятая часть Березниковского поднятия, в пределах которой расположены г. Березники, рудник БКПРУ-1 и локализованы природно-техногенные провалы, в общих чертах наследует древний Березниковский асимметричный купол. У него, так же как и у новейшего поднятия, восточное крыло положе западного. По-видимому, Березниковское новейшее поднятие и древний купол не только пространственно, но и генетически связаны друг с другом. В этом случае рост и развитие этой структуры обусловлены не только тектоническими и геодинамическими фак-

торами, но и, возможно, перераспределением соляных масс в современных геодинамических условиях. Рисунок линеаментов здесь радиально-концентрический, что говорит о росте и расширении поднятия с образованием открытой трещиноватости.

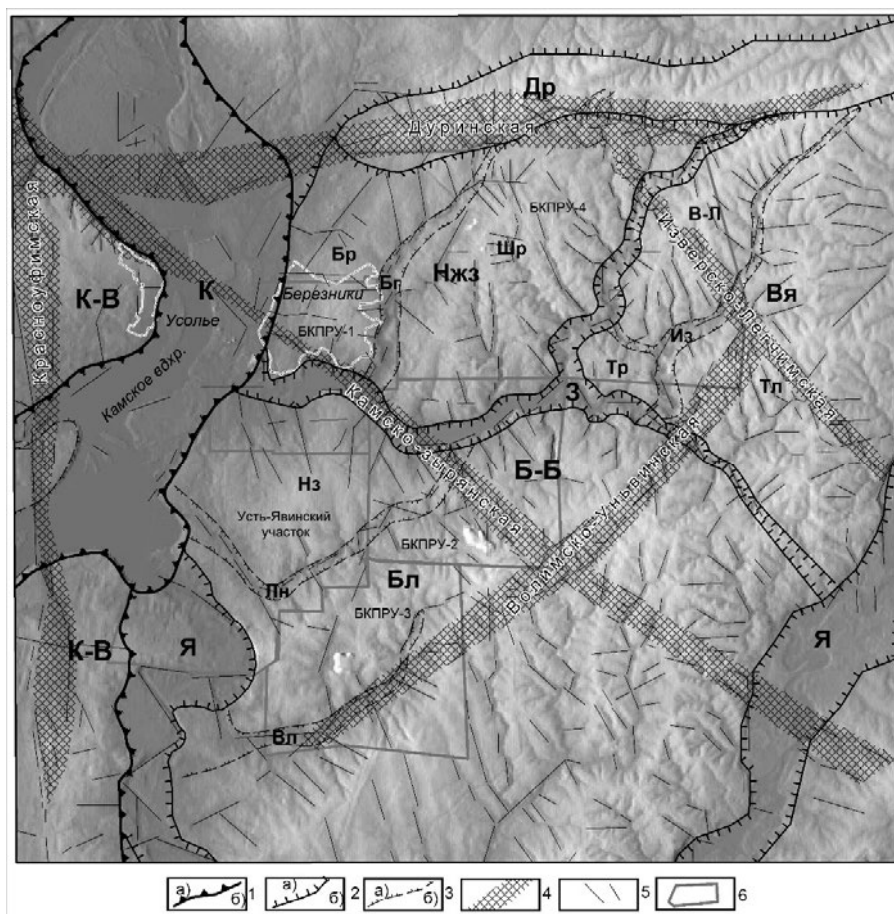


Рис. 1. Новейшие структуры южной (Березниковской) части ВКМС:
 1 – региональные прогибы (а): К – Камский; поднятия (б): К-В – Камско-Вишерское, Б-Б – Березниковско-Балахонцевское; 2 – субрегиональные прогибы (а): Я – Яйвинский, 3 – Зырянский; поднятия (б): Нжз – Нижнезырянское, Вя – Верхняяйвинское, Бл – Балахонцевское; 3 – локальные прогибы (а): Лн – Ленвинский, Из – Изверский, Бг – Быгельский, Вл – Волимский; поднятия (б): Бр – Березниковское, Шр – Шарাপовское, В-Л – Восточно-Легчимское, Тр – Троицкое, Тл – Талицкое, Нз – Нижнезырянское; 4 – линеаментные зоны; 5 – линеаменты; 6 – границы рудоуправлений

Зырянский прогиб (З) наследуется долиной р. Зырянка и имеет субширотное простирание. Балахонцевское поднятие (Бл), в пределах которого расположены рудники БКПРУ-2, БКПРУ-3 и проектируемый Усть-Яйвинский рудник, вытянуто в С-В направлении и представляет собой крупный массив, интенсивно расчленяемый узкими долинами. Поднятие резко асимметрично: северный его склон более короткий и крутой, чем южный. Сравнительно узкие речные долины, по всей вероятности, наследуют зарождающиеся прогибы: Ленвинский (Лн) и Волимский (Вл).

Дуринское поднятие (Др) несогласно сочленяется с Соликамско-Боровским поднятием, расположенным к северу от него, и Березниковско-Балахонцевским поднятием, расположенным к югу. В общих чертах оно наследует Дуринскую систему древних разломов сбросо-сдвигового типа. Зона разломов представляет собой сложно построенную грабен-синклиналь, состоящую из серии валов и прогибов [1], которые в новейшей структуре не выражены. Новейшее Дуринское поднятие состоит из нескольких причленяющихся друг к другу кулис, образующих левокулисный ряд. Широтная ориентировка поднятия является аномальной и несогласной с северо-восточной ориентировкой структур, прилежащих к нему с юга, и кольцевыми структурами, примыкающими к нему с севера. Это позволяет считать Дуринское поднятие геодинамически активной зоной и предположительно связывать с ней возможные дополнительные напряжения.

Линеаменты распределяются крайне неравномерно. Максимальное их сгущение наблюдается в центральной и восточной частях рассматриваемой территории, где развит эрозионно-денудационный рельеф и отмечены наиболее высокие абсолютные отметки. Одни линеаменты одиночные, другие объединяются в протяженные зоны, состоящие из параллельных линеаментов, или из кулисно расположенных. Исследованиями выявлено пять линеаментных зон: Дуринская, Красноуфимская, Изверско-Легчимская, Волимско-Уньвинская и Камско-Зырянская.

Дуринская линеаментная зона протягивается субширотно с правобережья Камы на ее левый берег, через северную часть исследуемого района и прослеживается в восточном направлении за его пределы. Линеаменты в западной и центральной частях Дуринской зоны по простиранию надстраивают и продолжают друг друга. На востоке они образуют эшелонированные ряды кулис, отвечающих обстановкам левосдвиговых деформаций. В целом, линеаментная зона и Дуринский вал развиваются в пределах одноименного древнего разлома, что, вероятно, указывает на современную его активизацию. Красноуфимская линеаментная зона выделена в пределах регионального одноименного разлома субмеридионального простирания, который является границей Восточно-Европейской платформы и краевого Предуральского прогиба [1]. Она имеет субмеридиональное простирание и хорошо проявлена в рельефе на право- и левобережье Камы. Изверско-Легчимская линеаментная зона с азимутом простирания 330° СЗ наследуется руслами рек Легчима, Извера и Талицы. Многие линеаменты этой зоны образуют кулисы, соответствующие условиям правосдвиговых деформаций. Волимско-Уньвинская ли-

неаментная зона С-В простирания (50°) расположена в юго-восточной части исследуемой территории. Отдельные линеаменты этой зоны наследуются руслами рек Волим, Царева Уньва, Талица и их притоками. При этом одни линеаменты образуют кулисы, другие причленяются друг к другу по простиранию.

Камско-Зырянская линеаментная зона С-З простирания наследуется протяженными (более 5 км) прямолинейными участками русла Камы от поселка Пыскор до Усолья, эрозионными формами в пределах Березняков, в том числе р. Зырянка. Камско-Зырянская зона формируется в пределах древнего Зырянского разлома (правого сдвига) [1 и др.], что говорит о его возможной современной активности. Смещение широтных участков долины Зырянки, а также небольшое смещение Дуринской линеаментной зоны при пересечении р. Камы, также являются возможными признаками современных правосдвиговых деформаций. Камско-Зырянская линеаментная зона, проявленная повышенной трещиноватостью пород надсолевой толщи, пересекает территорию рудника БКПРУ-1. Возможно, она является одной из причин аварии и образования природно-техногенных провалов на земной поверхности.

Таким образом, неотектонические структуры территорий месторождений полезных ископаемых могут оказывать влияние на строительство и эксплуатацию рудников. Как правило, исследуются только разрывные нарушения, преимущественно древнего возраста, часто не проявленные в новейших и современных деформациях, и, следовательно, не активные на современном этапе. Выполненные исследования показали, что при разработке месторождений следует выявлять и учитывать интенсивные новейшие изгибные деформации, разрывные и линеаментные зоны, поскольку они могут влиять на устойчивость подземных сооружений рудников и развитие опасных природно-техногенных процессов.

Литература

1. Кудряшов А.И. Верхнекамское месторождение солей. 2-е изд. – М.: Эпсилон Плюс, 2013. – 368 с.
2. Макеев В.М., Макарова Н.В., Дорожко А.Л., Суханова Т.В., Коробова И.В. Новейшая тектоника Пермского Предуралья // Мат. XLVIII Тектонического совещания «Тектоника, геодинамика и рудогенез складчатых поясов и платформ». Т. 1. – М.: ГЕОС, 2016. – С. 350-355.
3. 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 // Сергеевские чтения. Вып. 18. – 2016. – С. 638-643.
4. Трифонов В.П. Новейшая тектоника Урала. Геология СССР. Т. 12. Ч. 1. – М.: Недра, 1969. – С. 205-240.

О КРИТЕРИЯХ ОЦЕНКИ ВЛИЯНИЯ ОПАСНЫХ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ НА ЗАСТРОЕННЫЕ ТЕРРИТОРИИ ВОСТОЧНОГО ДОНБАССА

А.Ю. Прокопов, В.Н. Жур, К.Э. Ткачева

Донской государственный технический университет, Академия строительства и архитектуры,
344022. г. Ростов-на-Дону, ул. Социалистическая, 162. E-mail: prokopov72@rambler.ru

В настоящее время угледобывающие районы нашей страны подвержены влиянию опасных геологических процессов. Это не только прогнозируемые сдвигения и провалы земной поверхности над горными выработками, но и последствия массового закрытия шахт «мокрым» способом. Установлено, что затопление угольных шахт оказывает прямое влияние на режим подземных вод. Чаще всего это проявляется в виде подтопления селитебных территорий горняцких поселений, а в некоторых местах происходит самоизлив шахтных вод на дневную поверхность. Учитывая специфику местных условий строительства, а именно распространение лессовых просадочных грунтов на территории Восточного Донбасса, подобные процессы усложняют задачу по сохранению эксплуатационной способности существующих зданий и сооружений. В этой связи представляется актуальным проведение исследования параметров напряженно-деформированного состояния (НДС) системы «основание – фундаменты – здание» в процессе повышения уровня подземных вод в результате подтопления в условиях залегания просадочных грунтов и многократной подработки [8].

Предполагается, что для облегчения решения этой задачи целесообразно разделить застроенных подработанных территорий на отдельные категории по опасности возникновения и развития негативных геологических процессов на основе информационной модели инженерной инфраструктуры шахтерских поселений.

В СП 21.13330.2012 (приложение Ж) [13] приведены категории территорий по условиям (пригодности) строительства:

- 1 – пригодная для застройки – не подрабатываемая;
- 2 – пригодная для застройки – подрабатываемая;
- 3 – ограниченно пригодная для застройки – подрабатываемая;
- 4 – непригодная для застройки;
- 5 – временно непригодная для застройки.

Основными критериями для присвоения категорий являются данные о наличии горных выработок, планируемых горных работах в период эксплуатации объекта, деформациях земной поверхности и особых условиях строительства. Отдельными критериями стоит выделить наличие под территорией непромышленных полезных ископаемых, наличие участков возможного техногенного затопления и подтопления, выходов крутопадающих тектониче-

ских нарушений и выходов осевых поверхностей синклинальных складок, возможного образования оползней.

Подрабатываемые территории подразделяются на группы (с I по IV) в зависимости от значений деформаций земной поверхности вдоль главной оси мульды сдвижения. Основными показателями служат: оседание земной поверхности (η , мм), относительная горизонтальная деформация (ε , мм/м), наклон (i , мм/м), радиус кривизны (R , км). Дополнительным критерием служит высота уступа земной поверхности (h , см), образующегося при выемке пластов полезного ископаемого. Для определения вышеуказанных величин предлагается использовать методику прогнозирования вероятных сдвижений и деформаций согласно ПБ 07-269-98 [6]. Минимальным набором исходных данных для расчета служат:

- мощность пласта (m , м);
- угол падения пласта (α , град);
- глубина залегания выработки (H , м);
- длина рассматриваемого участка земной поверхности или сооружения L , м [14].

Основным показателем, определяющим степень просадочности грунта является относительная просадочность ε_{sl} . В ГОСТ 25100-2011 [2] приведена классификация глинистых грунтов по просадочности: от непросадочного ($\varepsilon_{sl} < 0,01$) м до чрезвычайно просадочного ($\varepsilon_{sl} > 0,12$).

Процесс просадки представляет собой сложный физико-химический процесс взаимодействия воды и грунта [1]. В сочетании со сдвигами земной поверхности общую деформацию грунтового основания под воздействием этих двух факторов предлагается представлять в виде алгебраической суммы величин вертикального перемещения массива грунта в рассматриваемой точке под сооружением.

Немаловажно учитывать другой негативный фактор – нарушение режима подземных вод. На некоторых участках наблюдений отмечены колебания уровня грунтовых вод до 2 м, а на отдельных территориях реальна угроза подтопления [5]. Ситуация усугубляется в тех зонах, где отсутствуют условия для естественной разгрузки подземных вод. Это ведет к образованию «верховодок» и наблюдается выход вод на дневную поверхность. Согласно действующим нормам, оценку возможных естественных сезонных и многолетних колебаний уровня подземных вод производят на основе данных многолетних режимных наблюдений по государственной стационарной сети с использованием результатов краткосрочных наблюдений, в том числе разовых замеров уровня подземных вод, выполняемых при инженерных изысканиях на площадке строительства. По характеру техногенного воздействия застраиваемые территории подразделяют на: неподтопляемые, потенциально подтопляемые и осушаемые. Оценка потенциальной подтопляемости территории выполняется на основе прогноза изменения гидрогеологических условий с учетом инженерно-геологических условий площадки строительства и прилегающих

территорий, конструктивных и технологических особенностей проектируемых (реконструируемых) сооружений и окружающей застройки [14].

СП 22.13330.2011 регламентирует предельные деформации основания фундаментов в виде относительной разности осадок ($\Delta s / L$), крена (i_u), максимальной осадки (S_u^{max}). Кроме того, предусмотрены значения относительного прогиба и выгиба, принимаемый в зависимости от относительной разности осадок [14].

В ПБ 07-269-98 условия подработки и применения мер охраны зданий, сооружений и коммуникаций устанавливаются сравнением расчетных показателей деформаций Δl в пятне застройки рассматриваемых объектов с допустимыми $[\Delta l_d]$ и предельными $[\Delta l_d]_{п}$ показателями деформаций для этих объектов [6]. Расчетный показатель деформаций для промышленных и гражданских зданий и сооружений определяется при разработке пласта отдельной выработкой и при многократной подработке. В свою очередь показатель Δl зависит от расчетных вероятных величин относительной горизонтальной деформации (ϵ , мм/м), радиуса кривизны (R , км), определяемых с использованием коэффициентов перегрузки. Также на допустимый показатель деформации будут влиять тип конструктивной схемы здания, размеры в плане, этажность, материалы стен, степень износа конструкций и т.п. [14].

Существующая методика расчета вероятных сдвижений и деформаций [6] предполагает закончившийся процесс сдвижения в тот момент, когда для разработки защитных мероприятий для зданий и сооружений необходимо учитывать промежуточные стадии. Многократная подработка массива горных пород и земной поверхности сопровождается изменением параметров процесса сдвижения в зависимости от изменения свойств самого массива, в том числе и под влиянием техногенного подтопления [17].

Методики расчета деформаций основания, сложенных лессовыми просадочными грунтами, основаны на моделях основания в виде линейно-упругой или нелинейно-неупругой системы. Подобные расчеты целесообразно сопровождать моделированием процессов в массиве горных пород посредством современных компьютерных программных средств [13, 14].

На основании собственных исследований и разработок [3, 7 – 9, 16], анализа нормативных документов [2, 6, 13 – 15] и публикаций других авторов [1, 4, 10 – 12, 17] определены следующие группы факторов, сочетание которых влияет на возникновение и характер неравномерных деформаций в несущих конструкциях зданий и сооружений в условиях застроенных территорий Восточного Донбасса:

- инженерно-геологические (прочностные и деформационные свойства грунтов оснований и всей породной толщи, попадающей в область сдвижения; наличие, глубина и мощность специфических, в том числе лессовых просадочных грунтов);

- гидрогеологические (уровень, химический состав и режим движения грунтовых вод, а также прогноз их изменения в результате «мокрой» ликвидации шахт);

– горные (глубина, мощность, угол падения разрабатываемых угольных пластов, система разработки, способ управления кровлей и др.);

– конструктивные (особенности фундаментов и других несущих конструкций зданий и сооружений, влияющих на их чувствительность к неравномерным осадкам).

В качестве основных критериев оценки сохранности зданий и сооружений при одновременном воздействии просадки и подработки рекомендуется принять относительную разность осадок фундаментов ($\Delta s / L$) и расчетный показатель деформаций (Δl). Величина этих критериев относительно допустимых и предельных значений будет определять категорию опасности застроенной территории от влияния процессов, обусловленных вышеперечисленными инженерно-геологическими, гидрогеологическим, горными и конструктивными факторами. Категория опасности застроенной территории должна определяться, исходя из сопоставления результатов расчета прогнозируемых деформаций и сдвижений от различных сочетаний неблагоприятных факторов, и приниматься по наихудшему результату.

Литература

1. Гильман Я.Д. Основания и фундаменты на лессовых просадочных грунтах: пособие для проектировщиков и студентов. – Ростов-на-Дону: СевкавНИПИагропром, 1991.
2. ГОСТ 25100-2011. Грунты. Классификация.
3. Должиков П.Н., Прокопов А.Ю. Геодинамические процессы в гидроактивизированных подработанных массивах: монография. – Ростов н/Д: РГСУ, 2015. – 149 с.
4. Курочка П.Н., Прокопова М.В., Рубцова Я.С. Прогноз влияния геодинамических процессов и изменения состава подземных вод на фундаменты зданий и сооружений в результате ликвидации шахт Восточного Донбасса // Перспективы развития и эффективность функционирования транспортного комплекса Юга России». Часть 2. Технические и естественные науки. – Ростов н/Д: Рост. гос. ун-т путей сообщения, 2015. – С. 105-107.
5. О состоянии окружающей среды и природных ресурсов Ростовской области в 2015 году. Экологический вестник Дона. – 2016. – С. 218.
6. ПБ 07-269-98. Правила охраны сооружений и природных объектов от вредного влияния подземных горных разработок на угольных месторождениях.
7. Прокопов А.Ю., Жур В.Н., Рубцова Я.С. О мерах защиты зданий и сооружений на многократно подработанных территориях Восточного Донбасса // Перспективы розвитку будівельних технологій: М-лы 10-ї Міжнародн. науково-практичн. конференції молодих учених, аспірантів та студентів. – Дніпропетровск: НГУ, 2016. – С. 61-64. URL: <http://ir.nmu.org.ua/handle/123456789/147037>.
8. Прокопов А.Ю., Жур В.Н., Рубцова Я.С. Проблемы обеспечения безопасности городской застройки на подработанных территориях Восточного Донбасса // 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.). – М.: РУДН, 2016. – С. 346-351.
9. Прокопов А.Ю., Тетерин А.В., Тетерин Е.А. Сдвигения и деформации оснований в районах интенсивной подработки горными выработками // Научное обозрение. – 2014. – № 12. – Ч. 2. – С. 519-523.
10. Прокопова М.В., Лукьянова Г.В. Снижение влияния последствий ликвидации шахт на деформации зданий и сооружений // «Строительство-2010»: Мат. междунар. науч.-прак. конф. – Ростов н/Д: Рост. гос. строит. ун-т, 2010. – С. 142-143.

11. Прокопова М.В., Мартыненко И.А., Евлахов А.П. К вопросу о деформациях сооружений на подрабатываемых территориях // Перспективы развития Восточного Донбасса. Ч. 1: Сб. науч. тр. / Шахтинский ин-т (филиал) ЮРГТУ(НПИ). – Новочеркасск: УПЦ «Набла» ЮРГТУ(НПИ), 2007. – С. 347-351.
12. Прокопова 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.
13. СП 21.13330.2012. Здания и сооружения на подрабатываемых территориях и просадочных грунтах.
14. СП 22.13330.2011. Основания зданий и сооружений.
15. СП 116.13330.2012. Инженерная защита территорий, зданий и сооружений от опасных геологических процессов. Основные положения.
16. Способ разработки пластов средней и малой мощности системой длинными столбами по простиранию с оставлением породы в шахте: Патент №2445460 Рос. Федерация: МПК E21C 41/18. / С.Г. Страданченко, А.Ю. Прокопов, Н.В. Титов и др. – Заявл. 13.09.2010; опубл. 20.03.2012. Бюл. № 8.
17. Тетерин А.В. Параметры сдвижения земной поверхности при многократной подработке: монография. – Новочеркасск: ЮРГТУ(НПИ), 2007. – 115 с.

ЗАТОПЛЕННЫЕ РУДНИКИ СРЕДНЕГО УРАЛА: ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ

И.А. Старицына¹, Н.А. Старицына²

¹ Уральский государственный аграрный университет, 620075, Россия, Свердловская область, Екатеринбург, ул. Карла Либкнехта, 42. E-mail: i-staritsina@yandex.ru

² Уральский колледж им. И.И. Ползунова, 620075, Россия, Свердловская область, Екатеринбург, ул. Ленина, 30. E-mail: i-staritsina@yandex.ru

Средний Урал – это территория интенсивной разработки полезных ископаемых [4]. Шахты и карьеры сопряжены почти с каждым населённым пунктом. Исторически сложилось так, что горное производство на Урале первично, а города вторичны. Населённые пункты развивались по окраинам горнопромышленных производств. Временные поселения перерастали в города и посёлки городского типа. Шахты активно разрабатывались промышленным способом на протяжении от 70 до 100 лет, бросать их никто не собиравался, запасы рассчитывались на десятки лет вперёд. Большинство месторождений, о которых речь пойдёт ниже, ещё до конца не выработаны и могли бы разрабатываться.

В тяжёлые для горной промышленности 1990-е и 2000-е годы многие рудники Урала оказались в трудных финансовых условиях. Некоторые из них были брошены [12], случались техногенные аварии, приведшие к затоплению шахт.

1. Шахта Лёвиха была брошена в 2004 г. Откачка воды не производилась. Произошла экологическая катастрофа. Сейчас проводится очистка шахтных вод известкованием.

2. Шахты г. Дегтярска. Закрытие шахт проведено по специальному экологическому проекту. Ведётся постоянный водоотлив. При закрытии этих шахт был учтён печальный опыт посёлка Лёвиха.

3. Угольные шахты посёлка Буланаш. Были затоплены после аварии насосного оборудования в 2003 г. [2]. Ведётся частичный водоотлив, до поддержания уровня 300 м, чтобы предотвратить провалы грунта. Глубина шахт около 700 м. Экологические проекты по закрытию шахт разрабатывались уже после затопления.

4. Берёзовское золоторудное месторождение – в настоящий момент действующее. В результате аварии насосного оборудования в 2010 г. были затоплены нижние горизонты. Воду из шахты полностью откачать удалось через 3 года. Шахта в настоящий момент эксплуатируется. Водоотлив отключать нельзя, так как шахты находятся непосредственно под жилой застройкой.

5. Верхняя Пышма (Пышминско-Ключевской медный рудник). Шахты по добыче меди закрыли в 1970-х гг., но ведётся постоянный водоотлив, так как существует риск проседания грунта под жилой застройкой.

Угольное месторождение Буланаш было стратегически важным объектом для Свердловской области, так как осталось к началу 2000-х гг. единственным источником непривозного угля [11]. То есть, это был резервный источник топлива, который в случае каких-либо аварий или экономической блокады должен был обеспечить область теплоносителями. К сожалению, после аварии насосного оборудования было принято решение о затоплении шахты и её консервации. Откачка воды из шахт требует постоянного вложения денежных средств, которых нет в убыточном на сегодняшний день посёлке Буланаш. Главное градостроительное предприятие посёлка уже почти 15 лет не работает. Социальный взрыв уже прошёл, люди приспособляются жить в новых условиях. Бывшие шахтёры ездят на заработки вахтовым методом на золоторудные шахты города Берёзовского (Свердловская область), чтобы выработать льготный стаж. В посёлке на сегодняшний день работает несколько производств, в том числе Птицефабрика.

Самый экономичный способ окончательно закрыть шахты Буланашского угольного месторождения – полностью прекратить водоотлив (рис. 1). Бывшее шахтное поле находится в понижении рельефа, рядом протекает река Бобровка. При прекращении откачки воды горные выработки быстро заполнятся шахтными водами. Территория всего шахтного поля будет подтоплена, а со временем произойдет заболачивание. Это можно предположить исходя из того, что раньше на этой территории было болото. При строительстве шахт проводились мелиоративные работы по осушению территории. Природный ландшафт со временем отвоюет свои позиции обратно. Однако, техногенные изменения в недрах земли при прекращении водоотлива неизбежно приведут к провалам грунта. Угольные месторождения сложены осадочными горными породами, а значит верхние горизонты слабые и трещиноватые. Глубина провалов может быть различной. При прекращении откачки воды

эта территория будет исключена из какого-либо хозяйственного оборота, ведь здания и сооружения этой площади могут обвалиться в любой момент.

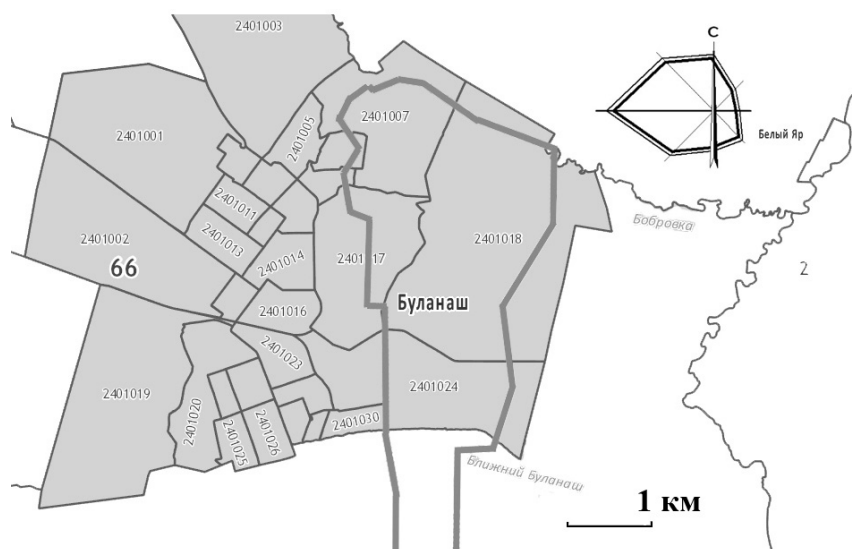


Рис. 1. Наложение территории бывшего горного отвода на карту посёлка Буланаш (Свердловская область) (использован картографический материал источников [3, 5])

В градостроительном плане посёлка Буланаш есть проект перенесения корпусов ГУП СО «Птицефабрика «Среднеуральская» на территорию бывшего горного отвода [3]. Это связано с тем, что отходы птицефабрики представляют собой II класс опасности, и близость жилой застройки нежелательна. Однако, проект по отключению водоотлива шахт тоже рассматривается. Оба эти проекта являются взаимоисключающими с точки зрения гидрогеологии местности.

Шахты Лёвихинского месторождения были затоплены из-за тяжёлой экономической ситуации и аварии насосного оборудования. Медные руды до конца не выработаны [7]. Проект по продолжению добычи руды постоянно обсуждается. Затопленное месторождение Лёвиха является зоной экологического бедствия, и в то же время перспективным местом для продолжения добычи медной руды. Сульфидные минералы неустойчивы при взаимодействии с водой, очень легко образуют растворимые формы [1]. Шахтные воды сульфидных месторождений приобретают ярко оранжевую окраску (из-за большой концентрации гидроокислов железа) и кислую реакцию [10]. Это происходит из-за того, что откачка воды не производится, а концентрация вредных веществ в воде увеличивается со временем. В угольных шахтах Буланаша,

в отличие от Лёвихи, загрязнение шахтных вод вредными веществами не происходит, так как уголь является природным фильтром.

Города и посёлки, лишившиеся поддержки своих градообразующих горных предприятий, постепенно приходят в упадок [8]. Сокращается количество жителей, так как нет достойной работы, люди переезжают в соседние города.

Вполне понятно и экономически оправдано стремление местных властей использовать территорию бывших горных отводов в хозяйственных целях [9]. Другое дело, что затопленные шахты накладывают определённые ограничения на виды хозяйственного использования территории. Горные отводы находятся на землях промышленности или землях населённых пунктов. Юридически достаточно легко эти категории перевести в другие, изменить целевое назначение, за счёт этих территорий расширить городскую черту. В том случае, если бывший горный отвод оказался в центре экономически развитого города, всегда существует риск застройки этой территории жилыми домами. Так и происходит в городах Берёзовский и Верхняя Пышма. Шахты оказались заложниками жилой застройки, или наоборот, но затопить эти шахты нельзя, будут массовые обрушения зданий. Земля в этих двух городах, двух спутниках мегаполиса Екатеринбурга стоит дорого, участки под многоквартирную жилую застройку пользуются стабильным спросом. Участки в центре города с хорошо развитой инфраструктурой и подведением всех коммуникаций ценятся вдвойне. Поэтому и возводятся в этих городах массивы 15-20 этажных зданий, не смотря на наличие подземных горных выработок. Стремление получить быструю выгоду затмевает здравый смысл. На этих территориях проседают фундаменты даже небольших частных домов, не то, что многоэтажек [6]. После возведения строений-гигантов не может быть и речи о том, чтобы экономить деньги на электричестве и отключать водоотлив. Золоторудные шахты Берёзовского месторождения работают до сих пор, не смотря на аварии насосного оборудования, прогнозы скептиков по поводу истощения запасов. Геологические прогнозы по содержанию золота рознятся, но большинство геологов говорят о том, что до глубины 1000 м золото ещё есть, а сейчас самый глубокий горизонт 712 м. Таким образом, Берёзовского золота хватит ещё на несколько поколений. Благодаря этому, водоотлив прекращаться не будет, а значит город будет жить.

Литература

1. Антонинова Н.Ю., Шубина Л.А., Собенин А.В. Геоэкологическая оценка техногенной трансформации земельных ресурсов при освоении месторождений полезных ископаемых // Экологическая и техносферная безопасность горнопромышленных регионов. Труды IV Международной научно-практической конференции. Министерство образования и науки РФ, ФГБОУ ВО УГГУ; Институт экономики УрО РАН. – 2016. – С. 35-40.

2. Билык Е.С. Дедич И.А. Севрюков А.О. О проблемах, возникающих при закрытии угольных шахт, и некоторые взгляды на пути их разрешения в современных условиях. – URL: <http://www.uran.donetsk.ua/~masters/2007/fgtu/beelyk/library/vorhlik/index.htm>. Режим доступа свободный (дата обращения 20.11.15).

3. Комитет по архитектуре и градостроительству Артёмовского городского округа. – URL: <http://kag-ago.ru/document/dokumentyi-territorialnogo-planirovaniya-i-gradostroitel'nogo-zonirovaniya/556/>
4. *Контарь Е.С.* Геолого-промышленные типы месторождений меди, цинка, свинца на Урале (геологические условия размещения, история формирования, перспективы): научная монография // Департамент по недропользованию по Уральскому федеральному округу (Урал-недра). – Екатеринбург: Изд-во УГГУ, 2013. – 199 с.
5. Публичная кадастровая карта. – URL: <http://www.maps.rosreestr.ru/PortalOnline>
6. *Рыбникова Л.С., Рыбников П.А., Тютков О.В.* Оценка влияния затопленных медно-колчеданных рудников на водные объекты Среднего Урала // Водное хозяйство России. – 2014. – № 6. – С. 77-91.
7. *Русских В.В.* Отбойка руды в условиях Лёвихинского рудника // Известия Вузов. Горный журнал. – 1999. – № 7-8.
8. *Старицына Н.А., Старицына И.А., Вацукевич Н.В.* Анализ современного состояния земельных ресурсов Свердловской области // Проблемы геологии и освоения недр, Труды XX Международного симпозиума имени академика М.А. Усова студентов и молодых ученых, посвященного 120-летию со дня основания Томского политехнического университета. – 2016, – С. 793-795.
9. *Старицына И.А., Старицына Н.А.* Экологические последствия освоения человеком русла реки Берёзовки (Свердловская область, Средний Урал) // Мат. межд. научно-практической конференции «Водный транспорт России: инновационный путь развития». – СПб.: СПГУВК, 2011. – С. 81-85.
10. *Удачин В.Н., Вильямсон Б., Руджи Китагава, Лонцакова Г.Ф., Аминов П.Г., Удачина Л.Г.* Химический состав и механизмы формирования кислых рудничных вод Южного Урала // Вода: химия и экология. – 2011. – № 10. – С. 3-8.
11. Шахта «Егоршинская». – URL: <http://miningwiki.ru/wiki/>. Режим доступа свободный (дата обращения 20.11.15).
12. *Ярембаи И.Ф., Циганек И., Ворхлик И.Г.* и др. О гидрогеологической ситуации в районе ликвидации угольных шахт и способах обеспечения экологической безопасности // Проблемы экологии. – 1999. – № 1. – С. 49-54.

ВЛИЯНИЕ ЗОН РАЗРАБОТКИ МЕСТОРОЖДЕНИЙ НА ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ ТЕРРИТОРИЙ ДЛЯ СТРОИТЕЛЬСТВА (НА ПРИМЕРЕ Г. УФЫ)

А.И. Травкин, А.Г. Болгаров

ООО «ПроектИзыскания», 450078, г. Уфа, ул. Зайнаб Бишевой, д. 17/2.
E-mail: 2921922@mail.ru
ООО НПП «ИГИС», 452614, г. Октябрьский, ул. Горького, д. 1, офис 205.
E-mail: igis2004@mail.ru

Многие города возникли на территориях, где производились подземные и поверхностные разработки месторождений полезных ископаемых. Строительство зданий и сооружений в таких местах сопряжено с известными трудностями и дополнительными затратами. Не избежал этой участи и г. Уфа. Работы по добыче полезных ископаемых в пределах г. Уфы и на сопредель-

ных территориях ведутся с середины XVI в. и до настоящего времени. Естественно, что во многих местах города присутствуют как заброшенные подземные и поверхностные горные выработки, так и разрабатываемые в настоящее время карьеры. Известны разработки месторождений гипса и алебастра, бутового камня (известняка, доломита, песчаника), глины, суглинка, песка, песчано-гравийных отложений, торфа.

Разработка гипса велась шахтным и открытым способами. В пределах коренных склонов долин рек Уфы и Белой известны заброшенные горные выработки: Дудкинская штольня-1 (протяженность 2620 м, объем не устанавливался), Дудкинская штольня-2 (450 м), Нижегородская выработка (1002 м), выработка на коренном склоне за Дворцом спорта (560 м, объем 4500 м³), Пугачевская выработка (260 м), Пугачевский грот (17 м). Карьеры добычи гипса и алебастра располагались в местах их выхода на дневную поверхность. Известны заброшенные гипсовые карьеры Сипайловский, Чесноковский и др. Алебастр добывался в пределах южной окраины Курочкиной горы.

Места добычи бутового камня в большом количестве разбросаны по территории города. Приурочены они к коренным выходам на дневной поверхности или на глубине залегания до 8-12 м скальных известняка, доломита и песчаника. Достаточно назвать места разработок на Собачкиной горе, Дачном переулке (на территории расположения здания института проблем сверхпластичности металлов РАН), у улицы Проломной, на территории бывшей радиостанции Коминтерна и др.

Добыча глины для кирпичных заводов ещё недавно осуществлялась карьерным способом в местах выхода глины необходимой жирности в пределах долины р. Сутолоки, то есть практически в центре города. В настоящее время глины (а иногда и суглинки) добываются открытым способом на месторождениях Дежневском, Уфимском и Западном Шакшинском. Известно также множество мест добычи глины жителями города для бытовых нужд.

Добыча песка ведется карьерным способом на месторождениях Красный Яр и Дежневском.

Добыча песчано-гравийных отложений наиболее значима по сравнению с упомянутыми полезными ископаемыми. Известно 16 отработываемых в настоящее время месторождений. Например, участки: Архимандритский-1, Затон-Восточный, Кишкинский, Конезаводской, Миловский Прибрежный, Резерв-1, Поименный, Верхне-Уршакский, Зубовский, Вотикеевский, Сосновый, Чесноковский (восточный фланг).

Добыча торфа. В настоящее время в открытой разработке единственное месторождение низинного торфа (сапропеля), расположенное в 30 км от Уфы.

Наибольшую опасность из упомянутых ранее горных выработок для строительства зданий и сооружений представляют заброшенные подземные горные выработки гипса и бутового камня и сопутствующие им проявления геологических и инженерно-геологических процессов. И в первом ряду по опасности для строительства находятся подземные горные выработки добычи

гипса, сильно осложняющие процесс изысканий, проектирования и строительства.

В предлагаемой статье на примере инженерно-геологических изысканий на участке проектируемых 9-14-ти этажных зданий в г. Уфе Республики Башкортостан, показана методика комплексной оценки опасности горных выработок для проектируемых зданий.

Выполнен необходимый объем инженерно-геологических изысканий, включающий: горно-геологическое обследование штолен с их инструментальной привязкой, сбор, систематизацию и анализ архивных материалов, геолого-геофизические исследования, обследование дневной поверхности над выработками, оценку опасности заброшенных горных выработок для проектируемых зданий и сооружений, расчет объема выработок с целью выдачи рекомендаций по их возможной ликвидации.

Горно-геологическое обследование штолен позволило установить их пространственное положение в плане и по глубине, протяженность, устойчивость стенок, сводов, вывалов пород, наличия воды и капежа, местоположение и привязку «органных труб», трещин (их ширина, длина, глубина и элементы залегания, их заполненность и сохранность), степень деформации целиков, оставленных при проходке штолен для поддержания сводов. Обследование сопровождалось геодезической привязкой устьев и характерных точек штолен.

Сбор, систематизация и анализ архивных и опубликованных материалов позволил получить данные об известных полостях и выработках.

Геолого-геофизические исследования. Изучались состав и состояние перекрывающих штольни пород, гидрогеологические особенности массива пород и поиск не выявленных при прямом обследовании возможных продолжений установленных выработок.

До исследованной глубины 70,0 м субгоризонтально залегают породы пермской системы: глины, песчаники, алевролиты, известняки, мергели, гипсы и глины загипсованные; подземные воды скважинами не вскрыты, однако, в штольнях наблюдаются: капез со сводов, приуроченный к трещинам и органным трубам в гипсах, увлажнение сводов и стен. Структурно-тектоническое строение и физическое состояние пород территории 3п характеризует сейсмогеологический разрез по линии профиля 1 (рис. 2).

В целом, по динамическим и кинематическим признакам волнового поля массив пород изучаемого объекта изысканий характеризуется весьма сложным структурно-тектоническим строением, неоднородным физическим состоянием пород, повышенной степенью закарстованности и трещиноватости как в карбонатных, так и в сульфатных породах. Сульфатный карст проявляется на глубинах относительных отметок 55 м и ниже, а карбонатный развит в интервале глубин 20–50 м. Практически везде ослабленные по динамическим признакам зоны в верхних слоях пород соединяются с ослабленными закарстованными зонами в гипсах (рис. 2). По этим зонам происходит фильтрация поверхностных вод вглубь массива. По динамическим признакам волнового поля отмечается отсутствие зон полного поглощения сейсмическо-

го сигнала, свидетельствующее об отсутствии открытых карстовых полостей, а, следовательно, и продолжения в массив пород склонов долины и водораздела, заброшенных открытых горных выработок.

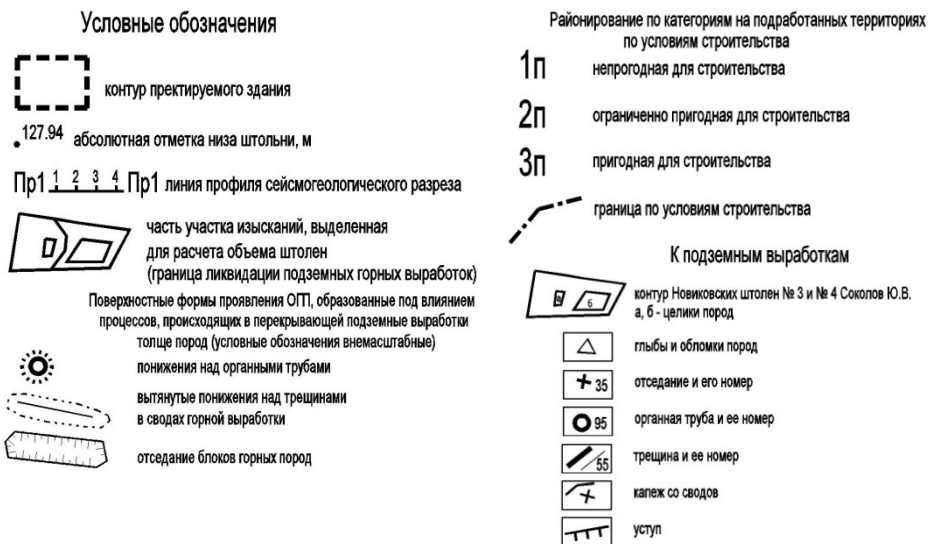
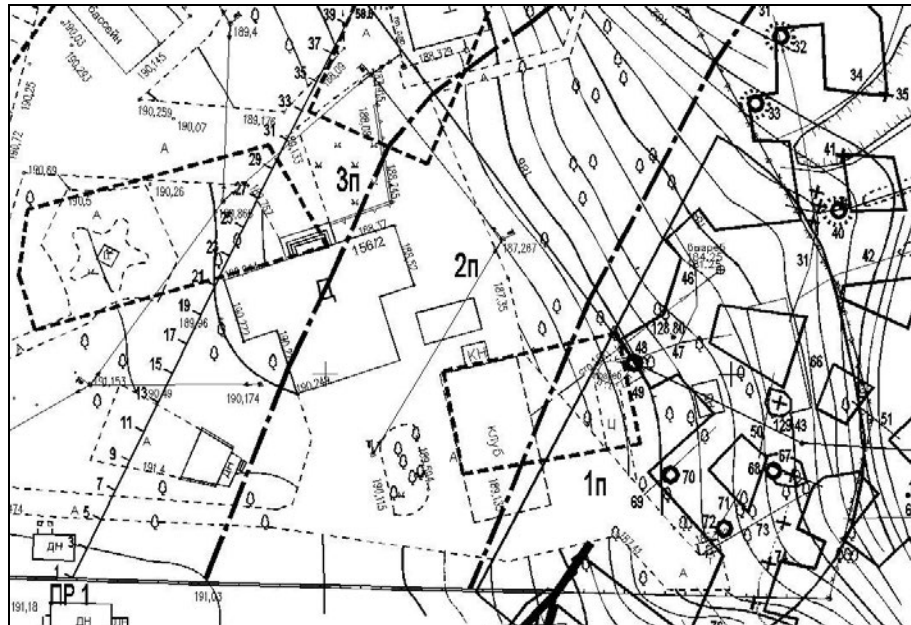


Рис. 1. Фрагмент карты районирования участка проектируемого строительства по опасности возможного сдвижения пород над штольнями

Участок изысканий охватывал пологий склон водораздела рек Уфы и Сутолоки и крутой (до 40-50°) склон долины р. Уфы. Поверхность осложнена понижениями, ложбинами и воронками. Абсолютные отметки изменяются в пределах 124,0-190,0 м (БС).

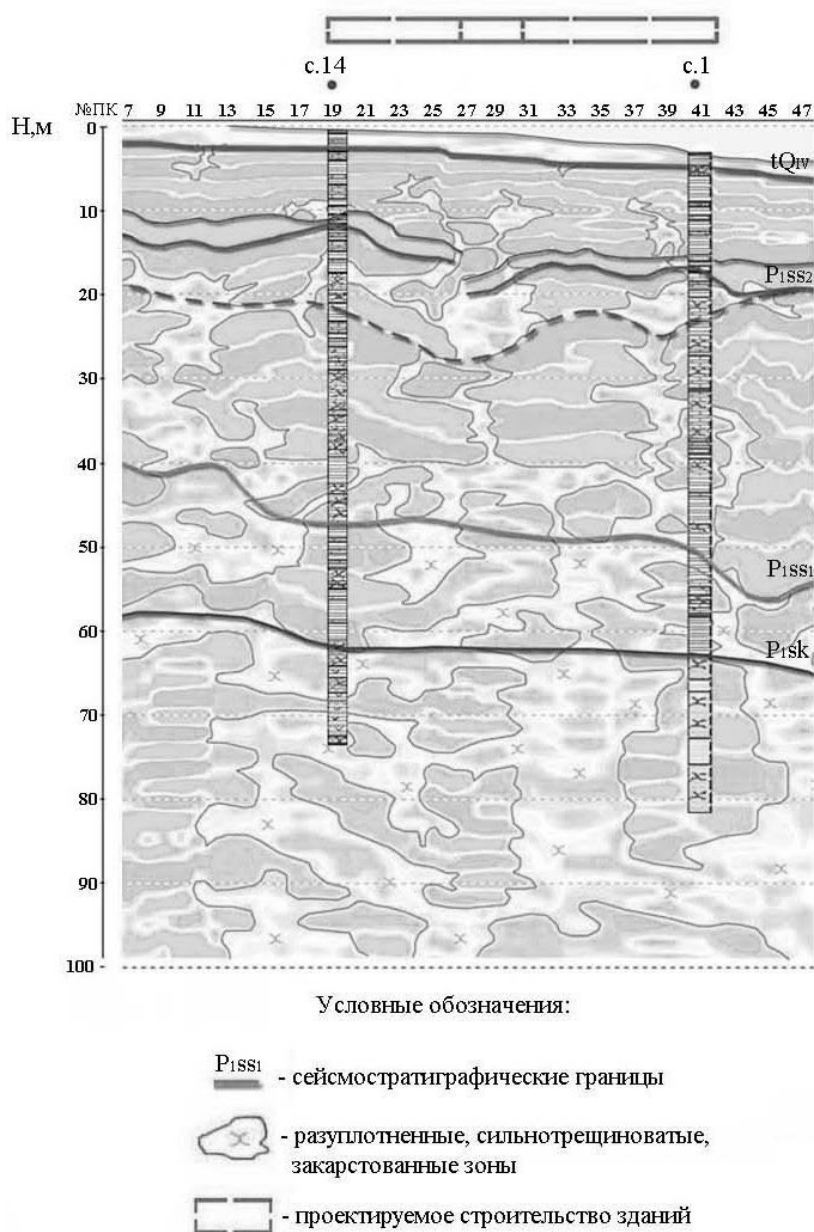


Рис. 2. Фрагмент сейсмогеологического разреза по линии профиля 1

В процессе инженерно-геологического обследования дневной поверхности над горными выработками фиксировались провалы, оседания, уступы, органические трубы, трещины бортового отпора; выяснялась их приуроченность к выработкам. Исследовалось состояние существующих зданий и сооружений, проводился опрос жителей и работников расположенных рядом предприятий о проявлениях физико-геологических процессов, времени и скорости их проявления и др.

Оценка опасности заброшенных горных выработок для проектируемых зданий и сооружений выполнена по результатам осуществленного комплекса исследований с применением метода аналогии путём горно-геологических расчетов и последующим районированием участка проектируемого строительства относительно опасности возможного сдвижения пород над штольнями (рис. 1).

Территория непригодная (1п) и ограниченно пригодная (2п) для строительства, располагаясь в контуре мульды сдвижения земной поверхности, в случае необходимости строительного освоения, требует инженерной подготовки, заключающейся в ликвидации пустот заброшенных горных выработок, объем которых составил $\sim 5000 \text{ м}^3$. Освоение пригодной (3п) для строительства территории возможно без учета отрицательного влияния от существующих горных выработок.

Аналогично оцениваются и подземные разработки бутового камня.

Карьеры добычи бутового камня, глины, песка, песчано-гравийных отложений и торфа занимают в некоторых случаях значительные по площади территории. Например, при организации намывной территории для строительства на пойме р. Уфы жилого района «Сипайлово» карьер для разработки песчано-гравийной смеси занимает площадь $\sim 2 \text{ км}^2$.

В карьерах развиваются эрозионные, аккумулятивные, гравитационные, гидрогеологические и инженерно-геологические (эрозия, оползни, трещины бортового отпора, обвалы, осыпи и др.) процессы и явления. При необходимости освоения таких территорий требуется тщательное изучение опасных инженерно-геологических процессов и их проявлений.

ОПАСНЫЕ И СПЕЦИФИЧЕСКИЕ ОБЪЕКТЫ ПОСТЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ НА ТЕРРИТОРИИ КЕРЧЕНСКОГО ЖЕЛЕЗОРУДНОГО БАССЕЙНА

Т.В. Хребтова, А.В. Ошкадер

Керченский государственный морской технологический университет,
298309, Россия, Республика Крым, г. Керчь, ул. Орджоникидзе 82,
E-mail: anna_oshkader@mail.ru, tkhrebtova@mail.ru

Территории Керченского полуострова присущи специфические социо-экологические и техноприродные опасности, ряд из них обусловлен добычей полезных ископаемых. Количество отработанных карьеров, накопителей отходов металлургического производства, хвостохранилищ, нефтяных скважин и др. за многовековую историю добычи полезных ископаемых в регионе довольно велико [6]. Все эти объекты, даже не входящие в состав населенных пунктов, в той или иной степени несут в себе опасности экономических, социальных и экологических рисков.

При прекращении добычи полезных ископаемых и/или ликвидации предприятия законодательством РФ предусмотрена рекультивация и закрытие производственных и бытовых объектов производства. Основная цель рекультивации – возвращение участка земли в состояние, максимально напоминающее исходное. Для ряда месторождений, оказывающих значительное воздействие на окружающую среду, отмечено, что основное негативное воздействие происходит на этапе закрытия, когда собственно работы по добыче уже завершены. Это воздействие может оказываться десятилетиями и даже столетиями [4]. Поэтому для каждого проекта изначально должны быть разработаны планы рекультивации и закрытия. В этих планах следует достаточно детально описать, как будет восстанавливаться участок до приемлемого экологического состояния, какие методы предотвращения выделения токсичных загрязняющих веществ должны применяться, определен источник финансирования работ по рекультивации и т.д. Это цивилизованный путь, который, однако, не всегда реализуется, и, в частности, не был осуществлен на территории Керченского полуострова Республики Крым.

Керченский железорудный бассейн объединяет несколько месторождений осадочных оолитовых железных руд Керченского полуострова. Железные руды Керченского бассейна начали разрабатываться с 1846 г. С 1939 по 1994 гг. добычу полезного ископаемого вел Камыш-Бурунский железорудный комбинат [3]. В настоящее время отходы железорудного производства АО «Камыш-Бурунский железорудный комбинат» находятся на территории Верхне- и Нижне-Чурбашского хвостохранилища отходов обогащения железных руд. Изначально хвостохранилище предназначалось для сбора отходов обогащения буро-железняковых руд (аглофабрика), дренаж-

ных вод (фабрика обжига) и отходов дробильного производства (дробильная фабрика). Для устройства Нижне-Чурбашского хвостохранилища была использована нижняя часть озера Чурбаш. Степень пригодности участка для его создания определялась в соответствии с рельефом местности. Хвостохранилище расположено выше уровня моря и фактически находится на расстоянии двухсот метров от береговой линии Керченского пролива. Эксплуатировался этот опасный объект с 1968 г., полностью сброс пульпы был прекращён более 20 лет назад, и в настоящее время его эксплуатация по прямому назначению не осуществляется. В состав хвостохранилища входит чаша хвостохранилища, предохранительная дамба, предохранительное плато, водоотводной канал, отстойный пруд и часть прилегающей территории. Ограждающие дамбы представлены в виде уступов, террас и откосов. Класс дамбы согласно Б.1 СП 58.133330-2012 определен как III (рис. 1).

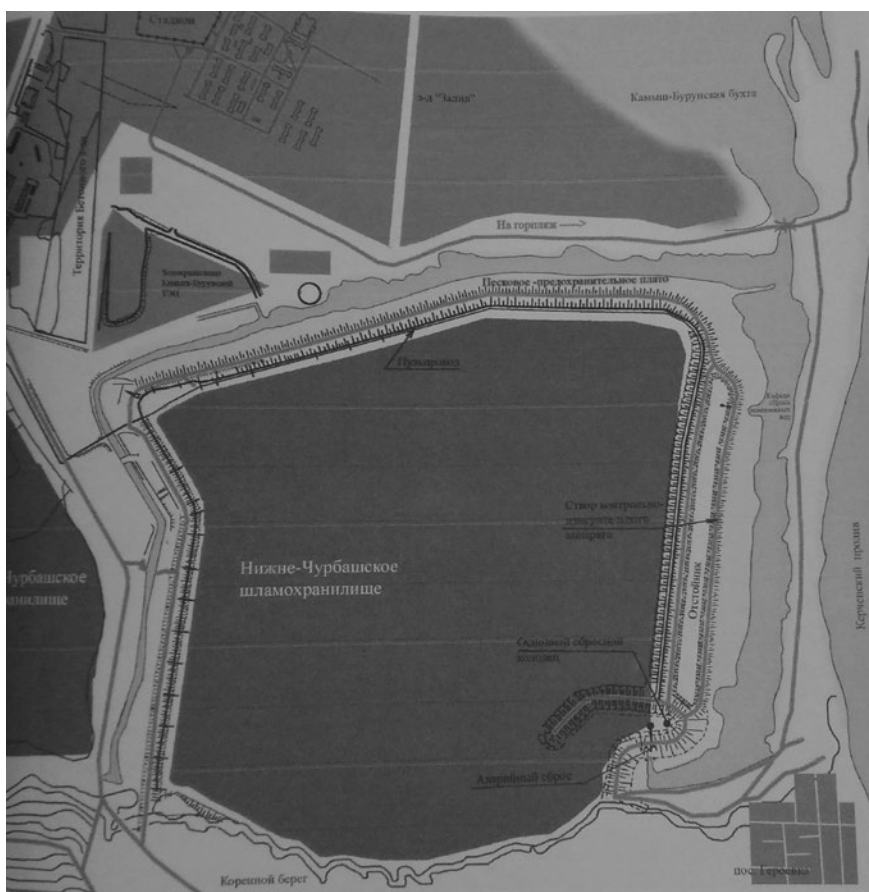


Рис. 1. Схема расположения Нижне-Чурбашского хвостохранилища

В настоящее время на площади 839 га в Верхнее- и Нижне-Чурбашском хвостохранилищах ориентировочно накоплено 62 млн. тонн отходов, являющихся результатом прошлой хозяйственной деятельности ОАО «Камыш-Бурунский ЖРК». Территория частично обводнена. Общеизвестно, что безопасность таких опасных объектов и сложных систем, как дамбы, хвостохранилища на протяжении всего их «жизненного цикла» должна планироваться и обеспечиваться на основе комплексного изучения исторических условий их формирования и развития, а также современного состояния.

Фактически задачей данного исследования являлось выявление опасностей постэксплуатационной стадии деятельности Камыш-Бурунского ЖРК. В ходе проведения работ выявлены:

- социо- и экосистемные факторы опасности, обусловленные привязкой к местности (географической, административной, водохозяйственной);
- горнотехнические факторы опасности, связанные с геометрическими параметрами и характером воздействия на окружающую среду;
- инженерно-геологические факторы опасности, обусловленные высокой степенью техногенной нарушенности геологической среды и деградацией компонентов природного ландшафта;
- гидрогеологические и гидрологические факторы опасности, обусловленные изменением гидрологического режима территории;
- экологические факторы опасности, обусловленные загрязнением окружающей природной среды. В отходах металлургического производства содержатся фосфор, железо, мышьяк, сурьма, ванадий, хром и др.

Вышеперечисленные факторы опасности практически идентичны тем, которые многократно описаны, выявлены и анализируются для отработанных горных выработок в других регионах РФ [1,2].

Однако иногда возникают непредвиденные факторы опасности и неожиданные риски. Они обусловлены изменением статуса объекта из опасного в специфический, а также провоцированием чрезвычайных экологических ситуаций. В нашем случае это произошло при изменении правового статуса Нижне-Чурбашского хвостохранилища: от накопителя отходов до склада песка (или склада сыпучих материалов) (рис. 2).



Рис. 2. Последовательность изменения статуса опасного объекта

Это связано с многократным изменением собственника данного объекта на протяжении последних 20 лет. В итоге, факторы опасности, характерные для объекта на постэксплуатационной стадии, многократно увеличились в связи с появлением новых, ранее непрогнозируемых. Основными причинами сложившейся ситуации являются:

- многократная смена собственника объекта (недропользователя);

- отсутствие полной документации на объект, в том числе местной (муниципальной);
- отсутствие экологических паспортов и материалов инвентаризации объекта;
- отсутствие утвержденного «Проекта ликвидации отработанного месторождения»;
- отсутствие инженерно-геологических карт крупномасштабного (муниципального) уровня на картографической основе от 1:10 000 до 1:25 000 масштаба;
- правовые коллизии, обусловленные переходным периодом для вхождения Республики Крым в правовое поле Российской Федерации, в том числе ограничением проведения проверок предприятий.

Вышеперечисленные причины привели к тому, что, начиная с 2014 года, стало возможным изъятие песка из основной дамбы Нижне-Чурбашского хвостохранилища для строительных нужд. Часть песчаной насыпи – свыше 100 метров в длину, шириной и высотой около 30 метров, разрушена. При этом края чаши обнажились и начали обваливаться в сторону моря. Искусственное изъятие песка в водоохранной зоне, нарушение и частичное отсутствие песчаной дамбы со временем потенциально может привести к попаданию токсических веществ в акваторию Керченского пролива.

В Министерство природных ресурсов и экологии Российской Федерации уже направлены предложения по включению в проект федеральной целевой программы «Ликвидация накопленного экологического ущерба на 2014-2025 годы» мероприятия «Утилизация с применением технологии переработки пылевидных отходов металлургии, накопившихся в Верхне- и Нижне-Чурбашском хвостохранилищах в результате прошлой хозяйственной деятельности ОАО «Камыш-Бурунский ЖРК» [5].

Выполнение данных предложений возможно при проведении масштабных работ, включающих:

- создание карт нового поколения, в т.ч. карт опасности, уязвимости, риска и др.;
- осуществление зонирования территории хвостохранилища по уровню геоэкологической опасности;
- разработку инженерно-геологических условий рекультивации;
- проведение комплексных исследований, включающих полевые, экспериментальные и аналитические;
- постоянный контроль и прогнозирование изменений, происходящих в чаше и дамбах хвостохранилища.

Однако, текущие и превентивные комплексные программы защитных мероприятий, с учетом технических, организационных, информационных и других мер, будут малоэффективны до тех пор, пока не решены правовые вопросы принадлежности и статуса объекта.

Литература

1. *Елохина С.Н.* Горнорудный техногенез постэксплуатационной стадии на территории Урала // Литосфера. – 2013. – № 5. – С. 170-183.
2. *Елохина С.Н., Киндлер А.А.* Паспортизация отработанных горных выработок на Урале как способ управления техноприродными геологическими опасностями // Сергеевские чтения. Инженерная геология и геоэкология. Фундаментальные проблемы и прикладные задачи. Вып. 18. – М.: РУДН, 2016. – С. 740-745.
3. Керченский железорудный бассейн: монография // Министерство геологии СССР; Институт минеральных ресурсов; ред. М.Н. Страхов. – М.: Недра, 1967. – 576 с.
4. Руководство по оценке отчетов ОВОС горнорудных проектов. – Юджин: Всемирный Альянс Экологического Права, 2011. – 181 с.
5. Федеральная целевая программа «Ликвидация накопленного экологического ущерба» на 2014–2025 годы. – URL: http://www.mnr.gov.ru/upload/files/docs/programma_fzp.doc
6. *Шнюков Е.Ф.* Минералы и мир. – Киев, 2008. – 521 с.

3. ВОПРОСЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ ОБЪЕКТОВ ВЕДЕНИЯ ГОРНЫХ РАБОТ

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ ДОБЫЧИ ТВЕРДЫХ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

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

В настоящее время объемы взрывных работ при разработке месторождений полезных ископаемых возрастают. Одновременно с этим повышаются и требования к качеству проведения промышленных взрывов. Сейсмические колебания являются одним из проявлений вредных эффектов взрыва. Необходимость повышения безопасности ведения взрывов возникает в связи с приближением, в ряде случаев, фронта взрывных работ к ранее построенным промышленным и гражданским объектам.

В связи с этим возникает дилемма:

– с одной стороны, необходимо увеличить массу взрывчатых веществ (ВВ), чтобы получить возможно максимальный вес полезного ископаемого нужной степени дробления;

– с другой стороны, должна быть обеспечена сохранность объектов социальной и промышленной инфраструктуры, максимально близко расположенных к эпицентру взрыва.

Поэтому при выборе безопасных режимов взрывания, основываясь на существующих нормативных данных, фактическом состоянии охраняемых объектов, сроках их эксплуатации, степени ответственности и т.д., исходят из того, чтобы уровень сейсмического действия взрыва не превысил допустимого значения. Так, неоправданное увеличение веса заряда при взрыве может причинить большой ущерб, связанный с нарушением устойчивости сооружений и конструкций, нарушить сохранность ценных кристаллов, устойчивость бортов карьеров, горных выработок, а также установившийся режим подземных вод. Уменьшение веса заряда приводит к снижению эффективности взрывных работ и отказу от добычи на некоторых участках.

Основным документом, регламентирующим сейсмобезопасные условия производства взрывных работ, являются «Правила безопасности при взрыв-

ных работах» (ПБВР) [5]. При расчете сейсмобезопасных расстояний (радиуса сейсмоопасной зоны) при мгновенном или короткозамедленном взрывании (КЗВ) в ПБВР учитываются свойства грунта в основании охраняемого здания (сооружения) и в месте производства взрывных работ (обводненность грунта), тип здания (сооружения), характер застройки, условия взрывания (камуфлетный взрыв, взрыв на выброс и др., а также число групп зарядов и интервал замедления при КЗВ) [5].

В России в качестве критерия сейсмической опасности взрывов принята величина векторной скорости смещения грунта у основания сооружения (V). Этот параметр является определяющим сейсмической опасности взрывов в основных нормативных и технических документах.

Таким образом, в ПБВР при выборе допустимой скорости колебаний комплексно учитываются условия взрывания, характеристики и назначение охраняемых объектов и их техническое состояние, свойства грунтов в их основании и, в некоторой степени, частотный состав колебаний.

В связи с этим наиболее актуальными исследованиями являются разработка различных способов управления энергией взрыва и уменьшения его вредного воздействия.

Глубокий анализ механизма разрушения горных пород взрывом и описание методов управления им выполнены Н.В. Мельниковым, М.А. Садовским, Е.И. Шемякиным, Д.М. Бронниковым, Э.О. Миндели, С.С. Григоряном, Ф.А. Баумом, О.Е. Власовым, Г.И. Покровским, В.Н. Родионовым, Г.П. Демидюком, А.Н. Ханукаевым, Н.Ф. Кусовым, Н.Г. Петровым, В.Н. Мосинцом и др. Их работы позволили наметить основные пути повышения эффективности взрывных работ в различных отраслях народного хозяйства, в том числе в добывающей промышленности.

В результате взрывов зарядов взрывчатых веществ и протекания сопутствующих процессов деформирования и разрушения происходит интенсивное динамическое нагружение горных пород. При этом в них возникают поверхности разрыва давлений, плотностей, скоростей и температур. Их исследованию на базе гидродинамической теории распространения ударных и взрывных волн посвящены многие работы К. Ренкина, Х. Гюгонио, Я.Б. Зельдовича, К.П. Станюковича, которые создали теоретические основы нестационарных плоских, цилиндрических и сферических волн.

Существенный вклад в развитие волновых процессов и методов их изучения внесли отечественные ученые Л.И. Седов, Г.М. Лехов, С.С. Григорян, М.А. Садовский, С.А. Христианович, Е.И. Шемякин и др.

В.В. Адушкин, Д.М. Бронников, А.С. Волох, А.А. Спивак, В.Г. Спунгин и др. считают, что одним из важных технологических приемов, позволяющих активно вмешиваться в процессы деформирования и разрушения среды при взрыве (ослабление сейсмического эффекта, управление процессами, связанными с разрушением горной породы), является создание во взрываваемой среде экранов из тонких слоев разрушенной породы и щелей (как искусственно созданных, так и естественного происхождения, например, круп-

ной трещины или тектонического разлома), нужным образом оконтуривающих взрывной источник.

С целью наиболее эффективного и экономичного применения экранированного взрывания и мероприятий по его совершенствованию А.С. Волох разработал их классификацию [3]. Основным признаком в ней является способ экранирования и связанные с ним разрушенный и охраняемый объект массива, назначение и область применения. Наиболее перспективным является комплексное экранирование действия взрыва, т.к. оно позволяет повысить эффективность взрывного разрушения (увеличение объема дробления породы) и снизить сейсмическое воздействие в охраняемой зоне в наибольшей степени.

Степень экранизации взрывных волн в горном массиве (В) и степень эффективности его разрушения (D) определяются через потенциалы массовых скоростей в отраженных, преломленных и дифрагированных от экрана волнах напряжений, затем они сравниваются с потенциалами массовых скоростей в среде без экрана.

Комплексное применение экранов и определение их оптимальных параметров основано на использовании теории потенциалов и дисконтинуума с учетом криволинейности профиля взрывной волны и дискретности среды в экране. Степень экранизации может быть рассчитана по уравнению:

$$B = \frac{C \left(1 + \frac{\rho}{\rho_3}\right)}{C + C_3} e^{\delta/\lambda (1+0,03^{H/l})} \left(1 + 0,21 \frac{\lambda}{R_3}\right), \quad [2]$$

где C , ρ , C_3 , ρ_3 – скорость распространения взрывной волны и плотность среды соответственно в породе и экране;

δ – ширина экрана;

λ – длина волны напряжений, определяемая разницей во времени появления трещин и фронта волны в точке R_3 ;

l – глубина основных зарядов ВВ;

H – глубина экрана;

R_3 – расстояние от комплексного экрана до экранируемого ряда зарядов.

По результатам установленной связи между процессами экранирования и разрушения горного массива при расположении экранирующих слоев на границе ожидаемых разрушений в зоне действия волн напряжений с криволинейным фронтом и конечным значением амплитуд установлены эмпирические зависимости вида $(1-D)^\alpha V^\beta = A$, где $D = 1 - \bar{h}$ (\bar{h} – средний выход негабарита). Для крепких пород $\alpha=1$, $\beta=1/3$, $A=0,2$; для пород средней крепости $\alpha=1$, $\beta=1/4$, $A=0,1$.

Взрывы, проведенные в крепких горных породах и породах средней крепости, показывают, что форма экрана должна быть близкой к форме экра-

нируемых взрывных волн. В этом случае разрушение через экран не проникает.

Местоположение комплексного экрана R_3 относительно одиночного заряда или ближайшего к нему ряда скважин является определяющим параметром при экранировании действия взрыва. Наиболее рациональное расстояние от экрана до ближайшего к нему ряда скважин с точки зрения степени дробления составляет 0,54-0,6 длины волны напряжений.

Длины волн напряжений, распространяющиеся в экране, составляют 10-100 м, ширина экрана на 1-2 порядка меньше. Уменьшение степени экранирования B при более близком расположении заряда относительно экрана обусловлено влиянием дифрагированных волн, образованием и распространением ударной волны в самом экране при переходе от неплотной к плотной упаковке, которая за счет особенностей процесса сжатия может распространяться и с дозвуковой скоростью. Эта волна и наносит «короткий» удар по внешней стенке экрана.

С увеличением расстояния от заряда до экрана (> 100 м,) независимо от отношения глубины заряда к глубине экрана, степень экранирования значительно уменьшается (с 8-8,5 до 1,7-2). При увеличении расстояния до 160 м от заряда экранирование практически отсутствует [3].

К определяющим характеристикам процесса управления действием взрыва при экранировании относятся ширина, глубина и протяженность экранов. С увеличением ширины экрана энергия проходящей волны монотонно уменьшается. В диапазоне, наиболее важном для практики, на основе анализа результатов отношения ширины экрана δ к длине волны λ (от 0,05 до 0,8) и отношения глубины зарядов к глубине экрана ($l/H=0,3; 0,4$ и $0,5$) можно управлять амплитудой суммарного смещения частиц горной породы и потоками массовых скоростей в массиве.

В разрушаемой зоне имеет место увеличение массовой скорости (также степени и объема дробления) в среднем на 80-90%, что объясняется отражением падающих и дифрагированных волн и их взаимодействием.

При увеличении ширины экрана меняется и доля энергии волн, отраженных от экрана. Для экранирования в горных породах значение $\delta = 0,7-0,8\lambda$ является наиболее рациональным, так как дальнейшее увеличение ширины экрана не приводит к заметному снижению доли сейсмической энергии в охраняемой зоне.

В работе [2] установлено, что при ширине экрана $0,7\lambda$ и перемещении внутренней (ближней к взрыву) стенки экрана массовые скорости в охраняемой зоне уменьшаются практически в 2 раза в сравнении с массовыми скоростями при больших значениях отношения δ/λ и взрывами без экрана. Суммарное смещение внутренней стенки экрана составит в этом случае $0,01\lambda$. При таком перемещении коэффициент трещинной пустотности $n_{тр}$ должен быть не менее 0,4.

На основании вышеизложенного можно считать рациональным применение экранов шириной до 20 м (при длинах волн напряжений до 30 м) для слоев раздробленной породы, а для щелей, заполненных раздробленным ма-

териалом, ширина экрана составляет около 0,6 м (при коэффициенте трещинной пустотности $n_{тр}=0,5$).

С учетом данных работы [2] протяженность экранов должна составлять $L+1,5R_э$, где L – длина экранируемого ряда зарядов.

Степень дробления породы между зарядом и экраном зависит от места расположения щели (ее удаленности от места взрыва).

Изучение В.В. Адушкиным и А.А. Спиваком [1] гранулометрического состава разрушенного материала показало, что зависимость среднего размера отдельности от расстояния до взрыва в промежутке между зарядом и щелью носит немонотонный характер. Это обусловлено тем, что по мере удаления от центра взрыва средний размер отдельности в разрушенной среде сначала возрастает, затем уменьшается, достигая в месте расположения щели локального минимума. Наличие более мелкой фракции в месте расположения щели объясняется дополнительным разрушением материала среды при разгрузке и ударе осколков о неподвижную преграду.

Кроме этого, необходимо отметить, что оконтуривание взрывного источника щелевым экраном с четырех сторон повышает эффективность взрыва в 1,35 раза. Если же щель ограничивает блок породы только с одной стороны, то ожидаемый эффект составляет около 10% от энергии взрыва.

Гранулометрический состав взорванной горной массы наиболее полно представлен размерами зон дробления и процентным содержанием различных фракций в массиве пород в работе Б.Р. Ракишева и др. [4]. В соответствии с принятой ими классификацией, порода в зоне интенсивного дробления ($V_{др}$) по крупности кусков состоит из трех классов. С учетом приведенных ими данных, к первому классу (0-0,2 м) следует отнести весь объем породы зоны раздавливания и одну треть объема породы зоны радиальных трещин (с учетом равной вероятности выходов фракций), а ко второму (0,2-0,4 м) и к третьему (0,41-0,6 м) классам – соответственно по одной трети упомянутого объема. Объем породы, пронизанный радиальными трещинами в тыльной части массива, представляет собой отрезок цилиндра. Эта масса обычно не входит в состав отбитой породы и вычисляется по формуле: $V_{о.у.}=2/3r^3 \cdot \operatorname{tg} \alpha$, где α – угол откоса уступа.

Представленный способ комплексного экранирования успешно использовался на многих месторождениях полезных ископаемых (Байкальских и Карельских гранитных карьерах, Джезказганском ГМК, Ново-Раздольском ГОКе, Ткибульском комбинате «Грузуголь», десятках шахт ПО «Донецк-уголь» и др.)

В заключение можно отметить, что возможность рассмотренного комплексного экранирования и степень эффективности разрушения в охраняемой и разрушаемой зонах в значительной степени определяются отношением волновых сопротивлений экрана и массива, а также местоположением экрана в зависимости от длины распространяющейся в нем волны.

Положение экрана на границе зоны трещинообразования позволяет увеличить степень дробления в разрушаемой зоне за счет перенапряжения отраженными и дифрагированными волнами напряжений.

Степень защиты зависит от ширины экранируемого слоя, а также длины распространяющейся в нем волны.

Эффективность экранированного взрывания во многом зависит от точности расчета и регулирования параметров управления при взрывах.

Решение вопросов управления этими процессами позволит повысить как полноту и экономичность извлечения полезных ископаемых, так и безопасность труда, эффективно использовать современную высокопроизводительную технику и прогрессивную технологию, а также существенно снизить влияние сейсмических волн на окружающую природную среду и инженерные сооружения.

Литература

1. Адушкин В.В., Спивак А.А. Подземные взрывы. – М.: Наука, 2007. – С. 399-413.
2. Волох А.С. Расчет параметров управления действием взрыва с помощью экранирования в разрушаемой и охраняемой зонах горного массива // Вопросы управления состоянием горного массива. Научные сообщения ИГД им. А.А. Скочинского. Вып. 224. – М., 1984. – С. 68-75.
3. Волох А.С. Основы управления действием взрыва с помощью экранирования. – М.: Наука, 1988. – 224 с.
4. Ракишев Б.Р., Ракишева З.Б., Ауэзова А.М., Куттыбаев А.Е. Аналитическое определение гранулометрического состава взорванной горной массы при скважинных зарядах дробления // Взрывное дело. Вып. 113/70. – М.: ИПКОН РАН, 2015. – С. 6-12.
5. Федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности. Правила безопасности при взрывных работах: сборник документов. Сер. 13. Вып. 14. – М.: ЗАО «Научно-техн. центр исследований проблем промышленной безопасности», 2014. – 332 с.

НЕКОТОРЫЕ ОСОБЕННОСТИ РАЗРУШЕНИЯ СЛАБОПРОНИЦАЕМЫХ ГРУНТОВ ПРИ СНИЖЕНИИ НАПОРА ПОДЗЕМНЫХ ВОД

А.В. Аникеев

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

Добыча полезных ископаемых как открытым, так и закрытым способом нередко производится под защитой водопонижения. В относительно сплошных массивах пород откачки подземных вод, особенно интенсивные и длительные, вызывают осадку большой площади территории. При наличии широких открытых трещин, карстовых полостей и других макроскопических дефектов строения массива над ними начинается формирование воронок провала и оседания [12, 14].

Большую роль в развитии процессов и площадного, и локального опускания земной поверхности, в том числе и провалообразования, играет вторая форма разрушения, или случайный гидроразрыв слабopоницаемых грунтов [2]. Она обнаружена в экспериментах на водонасыщенных эквивалентных материалах в середине 1980-х годов [1, 13] и в настоящее время учитывается [18] и исследуется методами не только физического, но и математического моделирования [8, 15–17, 19, 20].

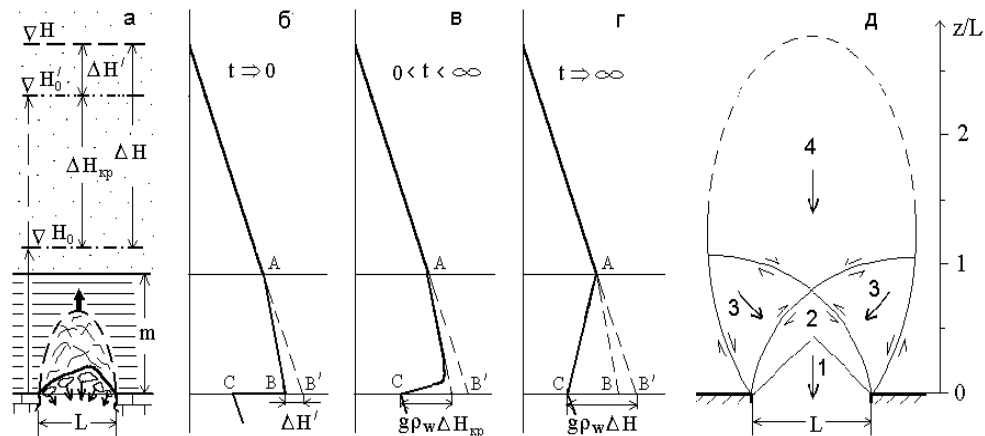


Рис. 1. Механизм случайного гидроразрыва экранирующего слоя при снижении напора на величину $\Delta H_{кр}$ (а), изменение давления воды в начальный (б), промежуточный (в) и конечный (г) моменты времени t и строение области влияния полости (д):

H – уровень грунтовых вод; H_0' , H_0 – пьезометрический уровень трещинно-карстовых вод до и после снижения напора; ρ_w – плотность воды; g – ускорение свободного падения;

1 – выпадающий свод (зона полных сдвижений, отрыва, блокового обрушения или максимальных деформаций); 2 – зона интенсивной разгрузки напряжений (разуплотнения, повышенной трещиноватости) и потенциального обрушения; 3 – зона опорного давления (пластические клинья) и возможного скольжения грунта; 4 – зона перехода от аномально низких и высоких напряжений к литостатическим (зона возможного прогиба и разуплотнения).

Большой жирной стрелкой на рис. (а) показано распространение фронта дробления, малыми – отстреливание кусков глин с подошвы слоя, в котором формируется промежуточная полость; тонкие стрелки на рис. (д) показывают направление максимальных касательных напряжений, толстые – общее направление движения раздробленного или сыпучего грунта

Суть этой формы разрушения заключается в следующем (рис. 1). Быстрое уменьшение давления воды в подстилающих водопроницаемых породах до критических отметок вызывает отстреливание, а затем и отслаивание водонасыщенных грунтов над полостью (рис. 1, а, б). Экранирующий пласт при этом растрескивается по системе поверхностей отрыва, и волна дробле-

ния практически мгновенно достигает поверхности предельного равновесия, на и ниже которой выполняется условие:

$$\sigma_i + \sigma_{pi} - \sigma_w \leq 0, \quad (1)$$

где σ_i , ($i = 1, 2, 3$) – главные нормальные напряжения в окрестности ослабленного участка; σ_{pi} – прочность грунтов на разрыв по главным направлениям; σ_w – избыточное гидростатическое давление, возникающее в порах грунта при снижении напора и проявляющееся в виде напряжений, нормальных к поверхности его скелета. Последнее обстоятельство стало понятным, благодаря статье [11], в которой С.А. Христианович наглядно показал, что при неустановившейся фильтрации силы, обусловленные разностью давлений в фильтрате, намного больше сил вязкого трения.

Важно, что развитие обсуждаемого процесса возможно лишь при наличии гидравлической связи напорных и грунтовых вод, то есть при выполнении условия [4]:

$$w \geq (0,85-0,90) \cdot w_{sat} > w_{mmw}, \quad (2)$$

где w , $w_{sat} = e\rho_w/\rho_s$, w_{mmw} – влажность, полная и максимальная молекулярная влагоемкости грунта; e , ρ_s – коэффициент пористости и плотность минеральной компоненты грунта, ρ_w – плотность воды.

Поверхность предельного равновесия может оказаться ниже или выше кровли разделяющего слоя. Это зависит не только от величины и скорости снижения напора, но и от напряженного состояния массива в окрестности ослабленного участка, а значит, и от размеров области влияния отверстия (рис. 1, δ), которые определяются также и свойствами грунтов [2, 3].

Из опытов следует, что при небольшой мощности m ($m/L < 0,5-1,0$, где L – пролет полости) сквозное отверстие в слое возникает, как правило, сразу по достижении $\Delta H_{кр}$. Разрушение мощных разделяющих пластов ($m/L \geq 1,5$) имеет свои особенности. При некотором первом критическом снижении напора $(\Delta H_1)_{кр}$ дробление толстого слоя начинается, но быстро затухает, и в его подошве образуется невысокая ($h/L \leq 1/2$) полость треугольного или коробчатого профиля (рис. 1, a, δ). Дополнительная сработка напора до величины $(\Delta H_2)_{кр} > (\Delta H_1)_{кр}$ возобновляет растрескивание грунтов, и промежуточная полость становится сводообразной, высотой $h/L \approx 1$. Выше зоны разгрузки напряжений (на отметках $z/L > 1$, рис. 1, δ) явное дробление слоя не наблюдалось. Но при новом критическом понижении напора $(\Delta H_3)_{кр}$ начиналось выдавливание грунтов в полость под действием нисходящего фильтрационного потока. Ширина эллиптической области выдавливания в 2–3 раза больше пролета полости L . И это, как и результаты послойной разборки моделей после опытов, заставляет думать, что при $\Delta H = (\Delta H_3)_{кр}$ структурные связи глин в области влияния отверстия (рис. 1, δ) нарушаются, их микротрещиноватость увеличивается, а связность уменьшается.

Позже [3], благодаря работе [12], пришло понимание того, что силовое воздействие P порового давления $\Delta p = g\rho_w\Delta H$ на скелет грунтов равно

$P = n\Delta p = ngr_w\Delta H$, где n – пористость, g – ускорение свободного падения. В итоге получено следующее уравнение:

$$K_\sigma\sigma_w + K_\tau\tau_w = n_e g r_w \Delta H, \quad (2a)$$

где τ_w – касательные к поверхности скелета грунтов напряжения, возникающие вследствие движения воды; K_σ , K_τ – коэффициенты (безразмерные комплексы), причем $K_\sigma + K_\tau = 1$; n_e – эффективная пористость, которая в глинистых грунтах заметно меньше общей пористости n (рис. 2).

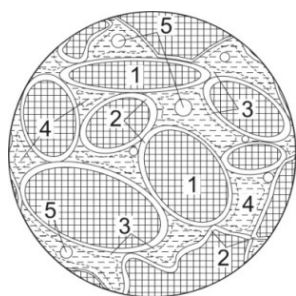


Рис. 2. Концептуальная модель строения водонасыщенного глинистого грунта:

1 – твердые частицы; 2, 3, 4 – связанная, переходного типа и свободная вода; 5 – воздух; (1 + 2) – скелет грунта; (3 + 4 + 5) – поровое пространство

Исходя из современных представлений о видах воды в грунте, условиях ее образования, структуре и свойствах [5], запишем n_e в виде:

$$n_e = (w - w_{mg})\rho_d/\rho_w S_r = n(w - w_{mg})/w, \quad (3)$$

где $\rho_d = \rho/(1 + w)$ – плотность скелета (ρ – плотность грунта), w_{mg} – максимальная гигроскопическая влажность. При $\rho_w \approx 1 \text{ г/см}^3$, $S_r \approx 1$ из выражения (3), а также из соотношения между объемной (w_n) и весовой влажностью ($w_{ne}\rho_w = w_e\rho_d$, где $w_{ne} = n_e$, $w_e = w - w_{mg}$) следует, что эффективная пористость численно равна

$$n_e = (w - w_{mg})\rho_d. \quad (3a)$$

Уравнение (2) свидетельствует, что в общем случае эффективные напряжения $\sigma_3 = n_e\Delta p = n_e g r_w \Delta H$ обусловлены совместным действием разных по своей природе сил давления и вязкого трения жидкости, которые мы учитываем в виде напряжений σ_w и τ_w . Их величина определяется значениями коэффициентов K_σ и K_τ , которые можно представить в виде безразмерных комплексов, или относительных переменных:

$$K_\sigma = (\underline{L} - tK_\phi)/\underline{L}, \quad (4)$$

$$K_\tau = tK_\phi/\underline{L}, \quad (5)$$

где K_ϕ – коэффициент фильтрации, \underline{L} – характерный линейный размер в направлении перетекания подземных вод.

В момент изменения давления воды ($t = 0$) $K_\tau = 0$, и $\sigma_3 = \sigma_w = n_e g r_w \Delta H$ (рис. 1, б). С началом фильтрации ($t > 0$) появляются и тангенциальные напряжения τ_w ($K_\sigma < 1$, $K_\tau > 0$, рис. 1, в). И лишь спустя длительное время

($t \gg 0$), когда распределение избыточного напора по мощности пласта становится равномерным (рис. 1, з) $\sigma_3 = \tau_w = n_e g \rho_w \Delta H$, $\sigma_w = 0$.

Время, по истечении которого распространение волны дробления в массиве пород исключается ($\sigma_w \ll \tau_w$), нетрудно оценить, приняв в качестве \underline{L} единичную мощность экранирующего слоя: $\underline{L} = \Delta m = 1$ м. Из уравнений (4) и (5) следует, что $\tau_w = n_e g \rho_w \Delta H$, если $K_\tau = t K_\phi / \underline{L} = t K_\phi / \Delta m = 1$, или $t = \Delta m / K_\phi$. Подставляя в выражение $t = \Delta m / K_\phi$ порядок величины коэффициента фильтрации глинистых грунтов ($10^{-3} \div 10^{-5}$ м/сут), получим значение $t = 10^3 \div 10^5$ сут $\approx 3 \div 300$ лет. Примерно такое время требуется, чтобы напряжения, обусловленные течением вязкой жидкости, стали полностью эффективными, а осадка массива в отсутствие ослабленных участков – максимальной.

Поскольку режим откачек воды для технических нужд меняется обычно два раза в год, то время изменения Δp существенно меньше времени $t = 3-300$ лет. Поэтому при оценке устойчивости массивов пород с дефектами строения в условиях техногенеза можно считать, что в уравнении (2) отношение первого безразмерного параметра ко второму всегда много больше единицы ($K_\sigma / K_\tau \gg 1$) и, следовательно:

$$\sigma_3 = \sigma_w = n_e \Delta p = n_e g \rho_w \Delta H. \quad (6)$$

Возвращаясь к уравнению (1) и принимая, что $\sigma_{pi} = c$, где c – сцепление грунтов, допускаем, что в зоне разгрузки 2 на Рис. 1 (д) $\sigma_i = 0$, а в переходной зоне 4 $\sigma_i \approx 0$. Тогда получим простейшую расчетную зависимость критической разности напоров от свойств грунтов:

$$(\Delta H_{кр})_{\min} = c / n_e g \rho_w. \quad (7)$$

С учетом мощности слоя m и начальной разности напоров $\Delta H'$ имеем [2, 3]:

$$(\Delta H_{кр})_{\max} = c / n_e g \rho_w + m(1 - I), \quad (8)$$

где $I = (H - H_0') / m = \Delta H' / m$ – градиент вертикальной фильтрации в условиях, предшествующих техногенному снижению напора (рис. 1, а). В частном, но широко распространенном случае, когда исходные положения уровней грунтовых и напорных вод можно считать примерно одинаковыми ($-0,1 \leq I \leq 0,1$), уравнение (8) принимает вид:

$$(\Delta H_{кр})_{\max} = c / n_e g \rho_w + m. \quad (9)$$

Наблюдавшиеся в опытах явления и, в частности, дробление грунтов до состояния «бешеной муки» – частиц с размером порядка 0,01 мм и менее – заставил снова обратиться к работам механиков и горных инженеров, но посвященным проблеме внезапных выбросов угля и газа [6, 7, 9, 10]. Несмотря на разные приемы математического описания процесса, авторы этих работ считают, что выбросы представляют собой послойный отрыв газом частиц породы с поверхности, обнажаемой при проходке выработок. По-видимому,

впервые условие развития этого процесса сформулировал С.А. Христианович [10], показавший, что импульс, создаваемый перепадом давлений газа в массиве и на свободной поверхности, должен превышать сумму расходов на придание газу скорости и отрыв элементарного слоя породы. С учетом некоторых допущений (задача рассматривается как одномерная, скорость распространения фронта волны выброса много меньше скорости истечения газа) это условие записывается в виде [6, 7]:

$$(p_1 - p_0)n_g \geq (\rho_g v^2)_0/n_g - (\rho_g v^2)_1/n_g + \sigma_p. \quad (10)$$

Новыми в уравнении (10) являются следующие обозначения: n_g – отношение части поперечного сечения, занятой газом, к общему сечению породы (при этом часть пор, занятая жидкостью, не учитывается); p , ρ_g , $v = n_g u$ – давление, плотность и скорость фильтрации газа (u – истинная скорость его движения). Индексы 0 и 1 указывают на значения переменных у обнаженной поверхности и на удалении l_d от нее (l_d – расстояние между дефектами строения породы – трещинами, порами и др.).

Решение неравенства (10) требует привлечения дополнительных выражений, устанавливающих связь входящих в него величин. При этом основным обычно служит уравнение сохранения массы газа. Используется формула сорбции типа – Ленгмюра, задаются характер процесса – изотермический или адиабатический и режим фильтрации – ламинарный или турбулентный. Полученные при этом дифференциальные уравнения интегрируются с учетом начальных и граничных условий, и находятся достаточно сложные зависимости между давлением, температурой и плотностью газа, скоростью его движения и коэффициентом фильтрации, пористостью и прочностью горных пород.

Если же в первом приближении пренебречь скоростью фильтрации ($v_0 = v_1 = 0$), то динамическое условие (10), в котором $p_1 - p_0 = \Delta p$, становится статическим:

$$\sigma_p - n_g \Delta p \leq 0. \quad (11)$$

Так как $n_g \equiv n_e$, $\sigma_w = n_e \Delta p \equiv n_g \Delta p$, то формула (11) аналогична – (1), если $\sigma_i = 0$.

Безусловно, напряженное состояние массива над полостью влияет на распространение волны дробления в слабопроницаемых водонасыщенных грунтах и сопутствующие процессы – изгиб мощного слоя и образование трещин в его верхней части [2]. Тем не менее, как показывает анализ экспериментальных данных, в зоне разгрузки напряжений это допущение ($\sigma_i = 0$) справедливо, а в области влияния полости достаточно корректно.

Из экспериментов следует также, что на каждой стадии деформирования в уравнении (2) имеет место переход: $K_\sigma \gg K_\tau \rightarrow K_\sigma \ll K_\tau$. И нетрудно понять, почему это происходит: растрескивание – процесс быстрый, время t любой его стадии в управляющих комплексах $K_\sigma = (\underline{L} - tK_\phi)/\underline{L}$, $K_\tau = tK_\phi/\underline{L}$ мало. Но коэффициент фильтрации K_ϕ при дроблении резко возрастает, так

как пористость заметно увеличивается, а изначально большая извилистость пор сильно уменьшается. Поэтому характерная длина \underline{L} , которую можно трактовать как путь движения воды, становится много меньше. Но в отличие от уже рассмотренного перехода $K_{\sigma}(t) \rightarrow K_{\tau}(t)$, имеющего место и при нагрузках ниже критических, тот же переход при разрушении ($K_{\sigma} \rightarrow K_{\tau}$) носит скачкообразный характер. Здесь мы еще раз убеждаемся в том, что массив пород, являясь самоорганизующейся системой, стремится ослабить опасное для него воздействие и, разрушаясь в некотором объеме при очередном снижении напора, как бы заменяет действие σ_w на $-\tau_w$.

Из вышесказанного следует важный для практики вывод: наибольшую опасность представляют колебания пьезометрического уровня, характерные для сезонной эксплуатации водозаборов и опытных фильтрационных работ. Так, в экспериментах замечено, что восстановление напора на стадии затухания гидроразрыва возобновляет процесс отслаивания (но не отстреливания!) частиц, выпадения обломочного материала с его подошвы и формирования промежуточной полости в глинах.

В заключение отметим, что предложенные расчетные зависимости количественно объясняют снижение прочности и увеличение деформируемости глин при длительной нисходящей фильтрации и образование провалов в мощной глинистой толще. Они вполне пригодны и для оценки устойчивости слабопроницаемых пластов, и для управления устойчивостью территорий. Однако на участках строительства особо ответственных сооружений недопустимо появление в водоупоре не только окна, но и вывалов пород и даже микротрещин. И в этой связи процесс нарушения сплошности экранирующих пластов при снижении напора подземных вод, несомненно, требует дальнейшего изучения.

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

Литература

1. Аникеев А.В. О двух формах разрушения связных грунтов над полостью // Геоэкология. – 1993. – № 2. – С. 115–123.
2. Аникеев А.В. О причинах провалов и локальных оседаний земной поверхности в Москве // Геоэкология. – 2002. – № 4. – С. 363–374.
3. Аникеев А.В. Провалы в районах покрытого карста как результат массовой суффозии песков и разрушения глин // Карстоведение – XXI век: теоретическое и практическое значение: Материалы Межд. симп. – Пермь: Изд-во Пермского ун-та, 2004. – С. 216–220.
4. Герсеванов Н.М., Польшин Д.Е. Теоретические основы механики грунтов и их практические применения. – М.: Госстройиздат, 1948. – 247 с.
5. Трофимов В.Т., Королев В.А., Вознесенский Е.А. и др. Грунтоведение / Под ред. В.Т. Трофимова. 6-е изд., перераб. и доп. – М.: Изд-во МГУ, 2005. – 1024 с.

6. *Линьков А.М., Петухов И.М.* К теории разрушения пласта угля послойным отрывом // Горное давление и горные удары: Труды ВНИМИ. Сб. 88. – 1973. – С. 205–221.
7. *Петухов И.М., Линьков А.М.* Механика горных ударов и выбросов. – М.: Недра, 1983. – 279 с.
8. *Хоменко В.П.* Карстово-обвальные провалы «сложного» типа: физическое моделирование // Инженерная геология. – 2009. – № 3. – С. 34–41.
9. *Христианович С.А.* О волне выброса // Известия АН СССР. ОТН. Механика и машиностроение. – 1953а. – № 12. – С. 1679–1688.
10. *Христианович С.А.* О волне дробления // Известия АН СССР. ОТН. Механика и машиностроение. – 1953б. – № 12. – С. 1689–1699.
11. *Христианович С.А.* Неустановившееся течение жидкости и газа в пористой среде при резких изменениях давления во времени или больших градиентах пористости // ФТПРПИ. – 1985. – № 1. – С. 3–18.
12. *Черных В.А.* Гидрогеомеханика нефтегазодобычи. – М.: ВНИИГАЗ, 2001. – 277 с.
13. *Anikeev A.V.* Clay collapse over caves and caverns // Geological Hazards: Proc. of Beijing International Symposium (Beijing, China, October 1991). 1991, p. 336–342.
14. Land Subsidence: Proc. of the 5th Int. Symp. (The Hague, Netherlands, 16–20 October 1995) / F.B.J. Barends, F.J.J. Brouwer, F.H. Schroder (eds). Rotterdam: Balkema, 1995, 492 p
15. *Lei M., Gao Y., Jiang X., Hu Y.* Experimental study of physical models for sinkhole collapse in Wuhan, China // Sinkholes and the Engineering and Environmental Impacts of Karst: Geotechnical Special Publ. No. 144 / ASCE, 2005, p. 91–100.
16. *Long J., Yan M, Zhen-de G., Li-peng L.* Numerical simulation for evolution of cover-collapse sinkholes // Carsologica Sinica. 2016. Vol. 35, p. 131–136.
17. *Salvati R., Tharp T.M., Capelli G.* Conceptual model for geotechnical evaluation of sinkhole risk in the Latium Region // Geotechnical and Environmental Applications of Karst Geology and Hydrology / B.F. Beck, J.G. Herring (eds). Lisse: Swets & Zeitlinger, 2001, p. 163–167.
18. *Sheng Z., Helm D.C.* Conceptual models for earth fissuring in Las Vegas Valley, Nevada, USA // Land Subsidence. Proc. of the 5-th Int. Symp. (The Hague, Netherlands, 16–20 October 1995) / F.B.J. Barends, F.J.J. Brouwer, F.H. Schroder (eds). Rotterdam: Balkema, 1995, p. 27–34.
19. *Tharp .M.* Mechanics of upward propagation of cover-collapse sinkholes // Engineering Geology. 1999. No. 52, p. 23–33.
20. *Tharp T.M.* Cover-collapse sinkhole formation and soil plasticity // Sinkholes and the Engineering and Environmental Impacts of Karst: Geotechnical Special Publ. No. 122 / ASCE, 2003, p. 110–123.

ОЦЕНКА УСТОЙЧИВОСТИ ОТВАЛЬНЫХ НАСЫПЕЙ НЕСЦЕМЕНТИРОВАННЫХ ПОРОД С ПОМОЩЬЮ КОМПЛЕКСНОГО ЗОНДИРОВАНИЯ

Буй Куок Зунг¹, С.А. Пуневский¹, В.В. Деревянкин²

¹ Горный институт НИТУ «МИСиС», 119049, г. Москва, Ленинский пр., 6,
E-mail: punevsky@mail.ru

² ОАО «Стойленский ГОК» 309500, Белгородская обл., г. Старый Оскол,
юго-западный промрайон, площадка Фабричная, проезд-4

При инженерно-геологических исследованиях техногенных массивов КМА и Кузбасса разработаны и внедрены новые способы и средства зондирования техногенных массивов и дистанционного контроля их состояния. Большое распространение на отвалах рыхлых пород и гидроотвалах получил метод вращательного среза, который для части ядерных зон применяются с непосредственным задавливанием крыльчатого зонда.

Основной гидрогеомеханический процесс, с которым связано изменение состояния свойств отвальных пород во времени, – их уплотнение (под действием внешней нагрузки – для оснований, собственного веса – для тела отвалов) или разуплотнения (в зоне влияния отвала перед сформированным откосом). В зависимости от фазового состава (водонасыщенности) породных масс отвалов для прогнозных расчетов их уплотнения используется аппарат теории фильтрационной консолидации или ползучести [2, 6].

Для отвальных насыпей первостепенный интерес представляет оценка их начальной устойчивости, так как в связи с перемещением фронта отвала откосы возобновляются по истечении весьма непродолжительных периодов (порядка нескольких месяцев). Если основание или тело отвала сложены глинистыми породами, привлечение аппарата теорий консолидации и ползучести позволяет определить геометрические параметры насыпей с учетом ряда технологических факторов, оказывающих совокупное влияние на сопротивление пород сдвигу. При этом степень уплотнения породных слоев следует устанавливать с помощью зависимостей, в которые вводится скорость продвижения фронта отвала, и затем использовать выбранный по величине степени уплотнения график сопротивления пород сдвигу для оценки устойчивости откосов. Таким образом, производится проверка режима отвалообразования с позиций устойчивости откосов, и оценивается эффективность мероприятий по инженерной подготовке слабых оснований.

Первичная информация о показателях изменения во времени напряженно-деформированного состояния пород, используемых при прогнозе геомеханических процессов, может быть получена в ходе разведочных работ. При этом с целью оперативного и надежного определения этих характеристик следует отдавать предпочтение натурным исследованиям: зондирование пьезоконусом и пенетрометром с крыльчаткой; замеры порового давления в

глинистых породах специальными датчиками и осадок породных толщ маркшейдерско-геодезическими методами, опытно-промышленными отсыпками отвальных насыпей с замером порового давления в нагружаемых массивах и осадок и т.д. [3, 4]. Для получения объективных исходных данных на стадии проектирования целесообразно привлечение метода инженерно-геологических аналогий с целью определения характеристик длительной прочности (из обратных оползневых расчетов откосов отвалов на объектах-аналогах) и уплотняемости породных масс отвалов (по результатам наблюдений за деформациями насыпей и намывных сооружений).

Перспективным методом развития гидрогеомеханического контроля на отвальных объектах является внедрение автоматизированной системы комплексного зондирования с использованием зондов МГГУ, для оценки состояния отвальных насыпей и слабых естественных и намывных оснований. Система должна обеспечивать определения сопротивления пород сдвигу, вращательному срезу и пенетрации, а также порового давления в водонасыщенных тонкодисперсных отложениях. С помощью дистанционного контроля, передачи и обработки информации определяются степень уплотнения тела насыпи и основания, и через неё производится расчёт устойчивости откосов и несущей способности оснований.

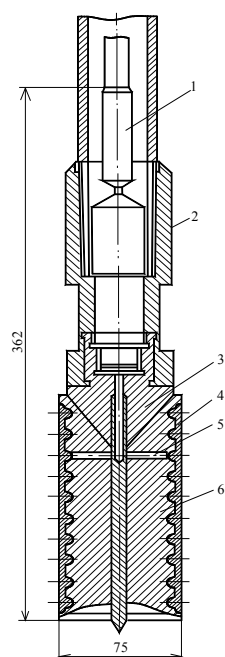


Рис. 1. Конструкция устройства для комплексного зондирования намывных грунтов:

- 1 – датчик порового давления;
- 2 – переходник; 3 – конус;
- 4 – пористый камень;
- 5 – гидравлический канал; 6 – лопатка

В МГИ-МГГУ совместно с ДИГЭС разработан ряд внедренных на объектах КМА и Кузбасса модификаций комбинированных зондов для определения параметров прочностных свойств и величины порового давления (рис. 1), защищенных авторским свидетельством и патентами РФ [№ 1649035 (1993), № 2025559 (1994)].

Сравнительно простым методом изучения состояния намывных массивов гидротвалов и хвостохранилищ является статическое зондирование, по результатам которого судят об однородности техногенных отложений, их физико-механических свойствах и ориентировочно устанавливают границы внутренних зон этих сооружений.

В последние годы в практике инженерных изысканий на намывных объектах широко используют скважинное зондирование, позволяющее получать информацию о состоянии грунтов (по величине P_w), их прочностных (по величинам τ , C , ϕ) и деформационных (по величине модуля деформации E) свойствах.

Устройство комплексного зондирования включает в себя корпус, продольные лопасти и измеритель порового давления с приемными фильтрами и измерителем давления жидкости с датчиком. В полном корпусе, снабженном коническим наконечником, размещен измеритель давления жидкости и на наружной поверхности закреплены продольные лопасти. Приемные фильтры выполнены в виде пористого камня, заполняющего расположенные между продольными лопастями радиальные отверстия в корпусе устройства.

Для комплексного зондирования предназначена модификация зонда, представляющая собой стальной полый корпус с наконечником, на котором закреплены четыре взаимно перпендикулярные продольные лопасти. Датчик порового давления размещается внутри корпуса и посредством приемных фильтров и каналов в лопастях гидравлически связан с внешней средой, воспринимая давление поровой жидкости. Система каналов и фильтр заполнены невытекающей дегазированной жидкостью, что обеспечивает минимальное время передачи давления в порах грунта на датчик.

На отвале СГОКа реализован способ контроля устойчивости насыпи из меловых пород на слабом основании. Коэффициент запаса устойчивости отвальной насыпи на глинистом основании определяется из выражения

$$\eta = \frac{S_{\tau}^H + tg\varphi_{к.о.} \sum_{i=1}^k \frac{(\sigma_{n_i - P_w}) + (\sigma_{n_{i-1} - P_{w-1}})}{2} l_i + C_{к.о.} \sum_{i=1}^k l_i}{\sum_{i=1}^n \frac{\tau_{сд_{i-1}} + \tau_{сд_i}}{2} l_i},$$

где S_{τ}^H – площадь эпюры удерживающих касательных напряжений (сопротивление вращательному срезу) в теле насыпи; $\varphi_{к.о.}$, $C_{к.о.}$ – характеристики сопротивления сдвигу консолидированных грунтов основания; P_w – значения порового давления, определенные зондированием; $\tau_{сд}$ – сдвигающие касательные напряжения по поверхности скольжения, полученные расчетным путем ($\tau_{сд} = \frac{1}{2} \gamma h_i \cdot \sin 2\alpha_i$); l_i – длина наклонного основания блока [1, 5].

Для удаленного контроля порового давления и дистанционной оценки устойчивости откосных сооружений ОАО «ВСЕГИНГЕО» разработана система «Орфей-1» и внедрена на объектах КМА кафедрой геологии МГГУ. Проводятся работы по адаптации этой системы для сбора информации по данным комплексного зондирования устройством МГГУ-ДИГЭС, передачи этих данных на удаленный компьютер, оперативной обработки полученных результатов и расчетов коэффициента запаса устойчивости откосных сооружений, а также несущей способности слабых оснований.

Литература

1. Гальперин А.М., Крючков А.В., Семенов В.В. Оценка устойчивости откосных сооружений отвально-хвостового хозяйства ОАО «Стойленский ГОК». – М.: МГГУ, ГИАБ. – 2007. – № 9. – С. 135-142.
2. Гальперин А.М., Семенова Е.А. Прогноз геомеханических процессов на горных предприятиях на основе теории консолидации породных массивов // Геоэкология. – 2016. – № 2. – С. 111-120.
3. Указания по методам гидрогеомеханического обоснования оптимальных параметров гидроотвалов и отвалов на слабых основаниях. Ч. I. – Л.: ВНИМИ, 1989. – 56 с.
4. Указания по методам гидрогеомеханического обоснования оптимальных параметров гидроотвалов и отвалов на слабых основаниях. Ч. II. – Л.: ВНИМИ, 1990. – 52 с.
5. Galperin A.M., Egorova I.V., Kryuchkov A.V. Nature preserving formation technologies and further use of man-made massives at КМА-region. Proc. 21. world mining congress. Session 5, Poland, Crakow, 2008, pp. 353-361.
6. Galperin A.M. Using of Man-Made Massive in Russian Mining (Engineerins-Geological Aspects). Proc. of Int. Congr. For Eng. Geol. Italy, Torino. 2014. Vol. 6. p. 1057-1062.

ВОПРОСЫ ОЦЕНКИ И ОБЕСПЕЧЕНИЯ УСТОЙЧИВОСТИ БОРТОВ КАРЬЕРОВ, СЛОЖЕННЫХ НАБУХАЮЩИМИ ГЛИНИСТЫМИ ПОРОДАМИ

Ф.Г. Габиров

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

Процесс набухания глинистых пород резко снижает сопротивляемость бортовых массивов сдвигу. Существенное значение имеет изучение набухания глин как временного фактора (особенно с учетом совместного протекания процессов разупрочнения и ползучести).

Уменьшение природной нагрузки в результате формирования бортов карьеров приводит к набуханию глинистых пород при наличии подтока к ним воды.

Способность к набуханию обуславливается гидрофильностью глинистых минералов и большой удельной поверхностью глинистых пород. В процессе набухания увеличивается толщина гидратно-ионных слоев на поверхности глинистых частиц, вследствие расклинивающего действия воды увеличивается объем породы и снижается ее сопротивление сдвигу. Процесс набухания глинистых пород носит осмотический характер.

У всех набухающих глинистых пород после замачивания наблюдается уменьшение плотности, переход из твердой и полутвердой консистенции в пластичную, снижение в несколько раз прочностных характеристик.

В настоящее время, основываясь на пионерных работах Б.В. Дерягина и других авторов [1] о расклинивающем давлении тонких слоев воды и водных растворов, работу набухания и сжатия глинистых пород объясняют на основе учета энергоэнтروпийных и механических свойств тонких слоев воды, содержащихся в породах. Набухание глин обусловлено капиллярными, осмотическими и адсорбционными процессами поглощения породой влаги, среди которых основную роль играют осмотические процессы [2]. Механизм набухания глинистых пород рассмотрен в работах [3, 4, 5, 6 и др.].

Разупрочнение водонасыщенных глинистых пород наблюдается при постоянном увлажнении и снижении статической нагрузки до величины, меньшей величине давления набухания. Показатель возможности набухания K_n при наличие постоянного источника увлажнения определяется с помощью формулы, предложенной И.П. Ивановым [7]:

$$K_n = \frac{\sigma_n - \sigma_{\min.}}{\sigma_n}, \quad (1)$$

где σ_n – давление набухания; σ_{\min} – минимальное давление в массиве на рассматриваемый слой глинистой породы.

Уменьшение прочности, отмечающееся при $0 \leq K_n \leq 1$, характеризуется коэффициентом разупрочнения:

$$J_p = \tau_{\sigma_n} / \tau_{\sigma}, \quad (2)$$

где τ_{σ} – сопротивление глинистой породы сдвигу при постоянном нормальном напряжении до набухания; τ_{σ_n} – сопротивление глинистой породы сдвигу при постоянном нормальном напряжении после набухания.

По мнению Гальперина А.М. и Шафаренко Е.М. [7] прогноз изменений прочности глинистых пород при отстройке контуров бортов карьеров должен базироваться на результатах изучения влажностного режима глин, с помощью которых устанавливается также мощность зон набухания. Величину этих зон необходимо учитывать при оценке устойчивости вскрышных уступов.

Для оценки реального влияния набухания на устойчивость глинистых бортов карьеров, необходимо более подробно разобраться в энергоэнтропии процесса набухания глинистых пород. Если мы обратим внимание на графики зависимости деформации набухания глинистых пород от внешнего давления (рис. 1), то заметим, что вне зависимости от максимальной величины давления набухания P_{sw} , активная деформация набухания глинистой породы, наблюдается до нагрузки 0,15 МПа. При внешних нагрузках $\geq 0,15$ МПа деформации набухания глинистых пород минимальны, и они не оказывают существенного влияния на прочностные характеристики глинистых пород с инженерной точки зрения. Из указанных наблюдений можно сделать существенный вывод о том, что устойчивость массивов глинистых набухающих по-

род, пригруженных нагрузкой $P \geq 0,15$ МПа, надо оценивать как и для обычных глинистых увлажненных пород.

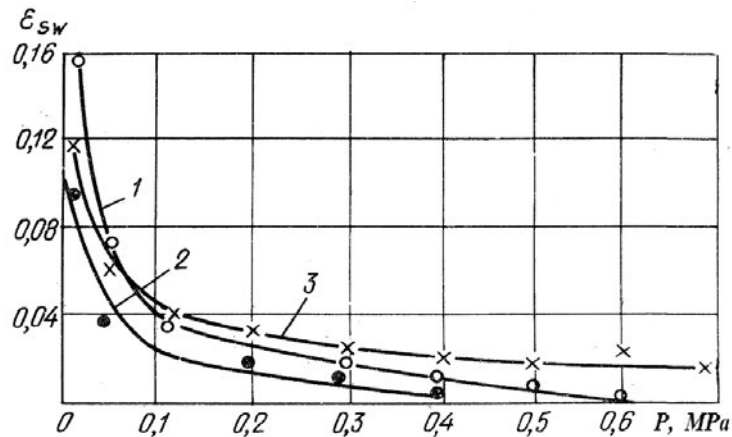


Рис. 1. Графики зависимости деформации набухания различных глинистых пород от внешнего давления (по Е.А. Сорочану, 1989)

Такой подход значительно облегчает для геотехников проблему обеспечения устойчивости бортов карьеров, сложенных набухающими глинистыми породами. То есть, необходим нестандартный подход для определения остаточного прочностного потенциала массива глинистых набухающих пород, нагруженных внешней нагрузкой $P < 0,15$ МПа.

Автором предлагается метод определения прочностных параметров для набухающих глинистых пород, который также основан на законе Кулона для связных грунтов.

Здесь максимальная нагрузка σ_{max} на образец набухающей глинистой породы должна быть равна величине давления набухания P_{sw} (т.е. давлению, при котором деформация набухания образца глинистой породы равна нулю).

$$\sigma_{max} = P_{sw} \quad (3)$$

При σ_{max} определяется максимальное сопротивление сдвигу τ_{max} образца набухающей глинистой породы. Далее определяются, как минимум, два значения сопротивления сдвигу идентичных образцов глинистых набухающих пород при их частичном набухании, и естественно уменьшающемся значении давлении набухания (P_{sw1} и P_{sw2}), т.е. определяются τ_{sw1} и τ_{sw2} . Последнее минимальное определение сопротивления сдвигу τ_0 образца набухающей глинистой породы производится при полном набухании образца, т.е. при нулевом внешнем давлении ($\sigma = 0$).

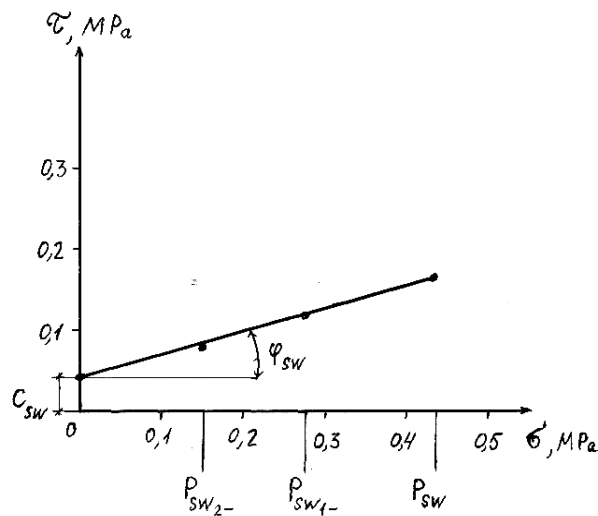


Рис. 2. График сопротивления сдвигу образцов набухающих глинистых пород, построенный по методу Ф.Г. Габиева

На рис. 2 изображен график сопротивления сдвигу образцов набухающей глинистой породы. Из графика на рис. 2 определяются наиболее достоверные прочностные параметры для набухающих глинистых пород, т.е. c_{sw} и φ_{sw} . Закон сопротивления сдвигу набухающих глинистых пород описывается следующей формулой

$$\tau_{sw} = \sigma_{sw} \cdot \varphi_{sw} + c_{sw}, \quad (4)$$

и формулируется следующим образом: сопротивление сдвигу набухающих глинистых пород прямо пропорционально давлению набухания, максимальным из которых является стандартно определяемое давление набухания, а остальные давления набухания определяются при частичном набухании глинистой породы. Именно при использовании указанных прочностных параметров можно достоверно рассчитать и прогнозировать устойчивость бортов карьеров, сложенных набухающими глинистыми породами.

Для оценки изменений во времени сопротивления сдвигу глинистых пород при их набухании Могилко А.Н. [8] предложено соотношение:

$$c_0 = c [1 - At^{\beta'(t)}], \quad (5)$$

где c_0 – максимальное значение сцепления; c – сцепление для данного промежутка времени t ; A , β' – эмпирические коэффициенты.

Наши исследования показывают, что значительная часть уменьшения сцепления набухающих глинистых пород связана с растворением солей структурной цементации, которая косвенно характеризуется определением «чувствительности» набухающих глин.

При проектировании устойчивых бортов карьеров, сложенных набухающими глинистыми породами, необходимо применять эффективные инженерные методы «управления» набуханием глин, добавляя в состав воды замачивания различные поверхностно-активные вещества, резко уменьшающие набухание глин, а также обеспечивающие условия для проявления осмотической усадки глин и т.д.

Литература

1. Дерягин Б.В., Чураев Н.В., Муллер В.М. Поверхностные силы. – М.: Наука, 1985. – 398 с.
2. Грунтоведение / под ред. В.Т. Трофимова. – М.: Изд-во Московского университета, Наука, 2005. – 1024 с.
3. Осипов В.И., Соколов В.Н. Глины и их свойства. – М.: ГЕОС, 2013. – 576 с.
4. Горькова И.М. Физико-химические исследования дисперсных осадочных пород в строительных целях. – М.: Стройиздат, 1975. – 151 с.
5. Кульчицкий Л.И. Роль воды в формировании свойств глинистых пород. – М.: Недра, 1975. – 210 с.
6. Габиров Ф.Г. Теория и практика улучшения свойств структурно-неустойчивых глинистых грунтов при решении геотехнических и инженерно-геоэкологических проблем. – Баку: Изд-во «ЕЛМ», 2011. – 422 с.
7. Гальперин А.М., Шафаренко Е.М. Реологические расчеты горнотехнических сооружений. – М.: Недра, 1977. – 246 с.
8. Могилко А.Н. Исследование длительной прочности глин при оценке устойчивости бортов карьеров Украины: автореф. дис. ... к.г.-м.н. – Ленинград: ЛГИ, 1971.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ОСНОВНЫХ ПРОЧНОСТНЫХ СВОЙСТВ ГЛИНИСТЫХ ГРУНТОВ НА УСТОЙЧИВОСТЬ ОТКОСОВ И СКЛОНОВ

Ф.Г. Габиров¹, А.Н. Богомолов², А.З. Зейналов¹

¹ Азербайджанский научно-исследовательский институт строительства и архитектуры,
Азербайджан, AZ 1014, Баку, ул. Физули, 65. E-mail: farchad@yandex.ru

² ФГБОУ ВПО Волгоградский государственный архитектурно-строительный университет,
400074, Волгоград, ул. Академическая 1. E-mail: banzaritcyn@mail.ru

Увеличение глубины разработки месторождений полезных ископаемых открытым и подземным способами делает все более актуальными вопросы, связанные с определением рациональных параметров открытых и подземных горных выработок. Глубина многих карьеров превышает 500 м, поэтому завышение угла наклона борта карьера может стать причиной катастрофического оползня, а занижение его даже на несколько градусов увеличит объем вскрышных пород на миллионы кубических метров. Наличие оползней и обрушений уступов и бортов карьеров снижает основные преимущества откры-

тых работ, наносит значительный материальный ущерб добывающему предприятию, нарушает правильное и безопасное ведение горных работ, вызывает значительные потери полезного ископаемого. Поэтому обеспечение устойчивости откосов на карьерах при максимально крутых углах их наклона и изыскание мер по предупреждению и борьбе с оползневыми процессами являются важными вопросами геомеханики и геотехники.

При использовании методики определения сопротивления пород (грунтов) сдвигу через тотальные напряжения на различных стадиях уплотнения учитывают, что сопротивление грунтового скелета определяется однозначно данным состоянием грунта, т.е. его плотностью, влажностью, структурой. В этом случае используется условие прочности Кулона в тотальных напряжениях, но при параметрах прочности, являющихся функциями состояния грунта.

Известно, что устойчивость откосов различных инженерных сооружений и естественных склонов зависит от их геометрии, геологического строения и свойств глинистых пород (грунтов). Надежность оценки устойчивости обуславливается правильностью определения физико-механических характеристик грунтов и выбором расчетной механико-математической модели, учитывающей все основные факторы, влияющие на устойчивость откосов и склонов.

В работе Цветкова В.К. [1] на основании точного решения задачи теории упругости для весомой полуплоскости с криволинейной границей и использования методики построения наиболее вероятной поверхности разрушения, форма и расположение которой в приоткосной зоне зависят от напряженного состояния и физико-механических характеристик грунтов, получены формулы для определения коэффициентов устойчивости K однородных откосов и склонов:

при $\lambda \geq 0,1$

$$K = \frac{4}{7}(1 + \mu)(a\mu + b) \operatorname{tg} \varphi; \quad (1)$$

при $0 < \lambda < 0,1$

$$K = \frac{4}{7}(1 + \mu)\sqrt{10\lambda(d^2 - \operatorname{ctg}^2 \beta) + \operatorname{ctg}^2 \beta} \operatorname{tg} \varphi, \quad (2)$$

здесь параметр устойчивости

$$\lambda = \frac{2c}{\gamma h \operatorname{tg} \varphi}; \quad (3)$$

c – сцепление; γ – плотность; φ – угол внутреннего трения; μ – коэффициент бокового давления грунта; h – высота; β – угол откоса; a, b, d – безразмерные коэффициенты, определяемые специальными графиками, приведен-

ными в монографии В.К. Цветкова [1] (для шести значений угла β приводятся в табл. 1).

Используя эти данные, исследуем влияние c и φ на устойчивость однородных откосов и склонов, сложенных глинистыми грунтами при $\gamma = 1,9 \text{ г/см}^3$, $h = 80 \text{ м}$ и $15^\circ \leq \beta \leq 40^\circ$.

На основании [1, 2] при изменении относительной влажности от 0,6 до 0,9 имеем для глин и суглинков: $0,008 \leq c \leq 0,03$, $11,5^\circ \leq \varphi \leq 24^\circ$, $\mu = 0,75$; для супесей $0,008 \leq c \leq 0,014 \text{ МПа}$, $33^\circ \leq \varphi \leq 36^\circ$, $\mu = 0,65$.

Таблица 1

Зависимость коэффициентов a , b , d от β

β°	15°	20°	25°	30°	35°	40°
a	11	7,4	5,8	4,8	4,17	3,6
b	4,25	3,55	3	2,55	2,2	1,98
d	5,25	4,45	3,75	3,2	2,75	2,45

Глины и суглинки

1. Влияние сцепления

Принимая $\varphi_{cp} = 18^\circ$, для четырех значений $c = 0,008 \text{ МПа}$; $c = 0,015 \text{ МПа}$; $c = 0,022 \text{ МПа}$ и $c = 0,03 \text{ МПа}$ по формуле (3) определяем параметры устойчивости $\lambda = 0,0324$; $\lambda = 0,06075$; $\lambda = 0,0831$; $\lambda = 0,1215$. По формулам (1) и (2) определяем значения коэффициентов устойчивости откосов и склонов при различных углах откосов $\beta = 15^\circ$; $\beta = 20^\circ$; $\beta = 25^\circ$; $\beta = 30^\circ$; $\beta = 35^\circ$ и $\beta = 40^\circ$. Коэффициенты a , b и d выбираются из табл. 1.

Таблица 2

Коэффициенты устойчивости откосов (склонов), сложенных глинами и суглинками

β_0	15°	20°	25°	30°	35°	40°
$\varphi_{cp} = 18^\circ$						
K_1	1,27	1,10	0,90	0,75	0,64	0,55
K_2	1,46	1,26	1,045	0,88	0,78	0,67
K_3	1,65	1,40	1,17	0,996	0,85	0,76
K_4	1,81	1,44	1,20	1,02	0,88	0,79
$c_{cp} = 0,019 \text{ МПа}$						
K_1	1,02	0,80	0,67	0,56	0,49	0,43
K_2	1,38	1,17	0,98	0,83	0,70	0,64
K_3	1,76	1,45	1,21	1,03	0,88	0,78
K_4	2,07	1,69	1,41	1,18	1,01	0,89

2. Влияние угла внутреннего трения

Принимая $c_{cp} = 0,019$ МПа, для четырех значений $\varphi = 10^0$; $\varphi = 15^0$; $\varphi = 20^0$ и $\varphi = 24^0$ по формуле (3) определяем $\lambda = 0,1418$; $\lambda = 0,9332$; $\lambda = 0,06868$; $\lambda = 0,05615$. По формулам (1) и (2) определяем значение коэффициентов устойчивости откосов и склонов при различных углах откосов β (от 15^0 до 40^0). Результаты расчетов приведены в таблице 2. Как видно из таблицы 2 при изменении φ от 10^0 до 24^0 для различных углов откосов β коэффициент устойчивости K увеличивается более чем в 2 раза (средний результат 208%).

Супеси

1. Влияние сцепления

Принимая $\varphi_{cp} = 34,5^0$, для трех значений $c = 0,008$ МПа; $c = 0,011$ МПа; $c = 0,014$ МПа по формуле (3) определяем $\lambda = 0,01531$; $\lambda = 0,02105$; $\lambda = 0,0268$. По формуле (2) определяем значения коэффициентов устойчивости K при различных углах откосов (от 15^0 до 40^0). Результаты расчетов приведены в табл. 3.

Таблица 3

Коэффициенты устойчивости откосов (склонов), сложенных супесями

β_0	15^0	20^0	25^0	30^0	35^0	40^0
$\varphi_{cp} = 34,5^0$						
K_1	2,59	1,99	1,59	1,31	1,1	0,94
K_2	2,66	2,06	1,66	1,38	1,16	1,0
K_3	2,72	2,13	1,73	1,44	1,22	1,06
$c_{cp} = 0,011$ МПа						
K_1	2,52	1,96	1,59	1,32	1,11	0,96
K_2	2,66	2,06	1,66	1,38	1,16	1,0
K_3	2,8	2,16	1,74	1,44	1,21	1,05

Как видно из табл. 3, при изменении c от 0,008 МПа до 0,014 МПа для различных углов откосов β коэффициент устойчивости K увеличивается от 5% до 12,8% (средний результат 9%).

2. Влияние угла внутреннего трения

Принимая $c_{cp} = 0,011$ МПа, для трех значений $\varphi = 33^0$; $\varphi = 34,5^0$ и $\varphi = 36^0$ по формулам (3) определяем $\lambda = 0,02228$; $\lambda = 0,02105$ и $\lambda = 0,01992$. По формуле (2) определяем значения коэффициентов устойчивости откосов и склонов при различных углах откосов β (от 15^0 до 40^0). Результаты расчетов приведены в таблице 3. Как видно из таблицы 3 при изменении φ от 33^0

до 36^0 для различных углов откосов β коэффициент устойчивости K увеличивается от 9 % до 11% (средний результат 9,6%).

Выводы

Исследования показали, что для вышеуказанных условий влияние сцепления и угла внутреннего трения на устойчивости откосов и склонов, сложенных глинистыми грунтами различно. Для глин и суглинков при фиксированном значении угла откоса (склона) β с изменением сцепления величина K увеличивается в среднем на 37,5%, а при соответствующем изменении φ , в вышеуказанных условиях, в два раза.

Для супесей с изменением сцепления в указанных пределах (при фиксированном β) величина K изменяется в среднем на 9%, и при соответствующем изменении φ , K изменяется в среднем на 9,6%.

Литература

1. *Цветков В.К.* Расчет рациональных параметров горных выработок. – М.: Недра, 1993. – 251 с.
2. Проектирование нежестких дорожных одежд. ОДН 218.046-01. – М., 2001.

ПРОГНОЗ И МОНИТОРИНГ СОСТОЯНИЯ ОТВАЛЬНЫХ СООРУЖЕНИЙ ГОРНЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

А.М. Гальперин¹, В.В. Мосейкин¹, Ю.И. Кутепов², В.В. Деревянкин³

¹ Горный институт НИТУ «МИСиС», 119049 г. Москва, Ленинский пр., 6.
E-mail: galperin_a@mail.ru

² Санкт-Петербургский горный университет, 199106 г. Санкт-Петербург, ВО, 21-я линия, 2.

³ ОАО «Стойленский ГОК», 309500, Белгородская обл., г. Старый Оскол,
юго-западный промрайон, площадка Фабричная, проезд-4

К настоящему времени нормативная документация по определению углов наклона бортов карьеров и откосов отвалов, подготовленная во ВНИМИ с участием ВИОГЕМ, нуждается в существенном обновлении [1-6].

Последнее пособие ВНИМИ [7] опубликовано в 1998 г. при ведущей роли в его подготовке заслуженного работника ВНИМИ Т.К. Пустовойтовой, скончавшейся в 2016 г. Проблема соответствия действующей нормативной документации задачам геомеханического обеспечения открытых горных работ рассмотрена в работах О.В. Зотева, А.Б. Макарова, Б.В. Несмеянова [7,8,9], где освещаются направления возможного совершенствования методов

оценки устойчивости бортов карьеров, отвальных насыпей и хвостохранилищ.

Анализ аварийных ситуаций на хвостохранилищах в различных горнодобывающих странах дан в бюллетене комитета по хвостохранилищам и отстойникам [10] при Международной комиссии по высоким плотинам (ICOLD). В инициативном порядке была предпринята попытка объединить и координировать работы по прогнозу и мониторингу состояния отвальных сооружений в важнейших горнопромышленных регионах России (Кузбасса, Кольского полуострова, КМА) силами сотрудников НМСУ «Горный» (Санкт-Петербург), горного института НИТУ «МИСиС» (Москва), ОАО «ВСЕГИНГЕО» (Московская область), ОАО ВИОГЕМ (г. Белгород). Результаты совместных работ отражены в коллективной монографии [12].

Основной процесс, с которым связано изменение состояния отвальных пород во времени, – их уплотнение (под действием внешней нагрузки – для оснований, или собственного веса – для тела отвалов). В зависимости от фазового состава (водонасыщенности) породных масс отвалов для прогнозных расчетов их уплотнения используется аппарат теории фильтрационной консолидации или ползучести [14].

Первичная информация о показателях изменения во времени напряженно-деформированного состояния пород, используемых при прогнозе геомеханических процессов, может быть получена в ходе разведочных работ. При этом с целью оперативного и надежного определения этих характеристик следует отдавать предпочтение натурным исследованиям: испытаниям прессиометрическим, штамповым и с помощью пенетрометров-крыльчаток; замерам порового давления в глинистых породах и осадок породных толщ, сжимаемых в результате опытного водопонижения и т.д. Для получения объективных исходных данных на стадии проектирования целесообразно привлечение метода инженерно-геологических аналогий с целью определения характеристик длительной прочности (из обратных оползневых расчетов откосов действующих карьеров на объектах-аналогах) и уплотняемости породных масс отвалов (по результатам наблюдений за деформациями насыпей и намывных сооружений) [13].

Для определения исходных параметров к расчетным зависимостям, характеризующим напряженно-деформированное состояние обводненных массивов песчано-глинистых и полускальных пород, наиболее пригодны универсальные стабилметры ВИОГЕМ (автор Н.П. Верещагин). Также представляют интерес разработки НПП «Геотек» (г. Пенза) и зарубежные стабилметры BISHOPWESLEY [15, 16].

Для лабораторных определений параметров ползучести, длительной прочности и фильтрационных характеристик горных пород целесообразно использовать универсальные стабилметры, пригодные для испытания пород различных инженерно-геологических классов в широком диапазоне нагрузок (например, стабилметр ВИОГЕМ СВД – стабилметр высокого давления).

Для практических расчетов уплотнения преимущественно применяют решения одномерных и плоских задач фильтрационной консолидации породных массивов.

Опыт эксплуатации гидроотвалов и хвостохранилищ, а также других гидротехнических и отвальных сооружений свидетельствует о возникновении крупных аварий при отсутствии надежной информации о состоянии техногенных массивов.

В течение многих лет кафедра геологии МГИ-МГГУ (ныне Горный институт НИТУ «МИСиС») проводит работу по гидрогеомеханическому мониторингу намывных сооружений горно-обогатительных комбинатов Курской Магнитной Аномалии (Лебединского, Михайловского, Стойленского) с целью оперативной оценки устойчивости гидротехнических сооружений (ограждающих дамб) и состояния внутренних зон хвостохранилищ и гидроотвалов. ВНИМИ (ныне НМСУ «Горный») ведет масштабные работы аналогичного плана на отвальных сооружениях Кузбасса).

Созданный МГГУ совместно с институтами ВНИМИ, ВСЕГИНГЕО и ВИОГЕМ комплекс технических средств и способов гидрогеомеханического мониторинга техногенных массивов вошел в состав работы, удостоенной премии Правительства Российской Федерации в 2010 г.

Контроль состояния техногенных массивов осуществляется с помощью датчиков порового давления и комбинированных зондов МГГУ (Патенты Российской Федерации № 1624093, 1993 г. и № 2025559, 1994 г.).

В 2013 году была произведена совместная разработка ВСЕГИНГЕО и кафедры геологии МГГУ беспроводной системы дистанционного контроля «Орфей-1». Система (даталоггер) представляет собой устройство цилиндрической формы, в котором находится батарейка, микросхема, антенна, пластиковая крышка, с уплотнительной резинкой внутри.

Данная система устанавливается в каждую скважину, где установлен датчик. Даталоггер «Орфей-1» предназначен для считывания, обработки, хранения и передачи показаний датчиков с аналоговыми выходами. В зависимости от выбранного режима работы даталоггер позволяет организовать автоматизированную систему как непрерывного, так и периодического мониторинга.

При непрерывном мониторинге даталоггер в режиме реального времени передаёт показания датчиков в базу данных системы мониторинга.

Обмен с удаленным сервером происходит по одному интерфейсу – беспроводному GSMGPRS. Для резервного питания даталоггера используется внутренний источник питания.

Периодический мониторинг организован с помощью даталоггера «Орфей-1» по принципу «чёрного ящика»: установленный на объекте мониторинга даталоггер, работая от внутреннего источника питания, автономно опрашивает датчик с заданным периодом и сохраняет всю информацию в энергонезависимую память. Энергонезависимая память служит для хранения показаний датчиков (содержит дату и время измерения, результат измерения окружающей температуры и другую служебную информацию), настройку

режима работы даталоггера. Данные из памяти передаются по каналам связи автоматически или принудительно по запросу оператора системы мониторинга.

Следует заметить, что подход к систематическим замерам порового давления в Российской и зарубежной практике эксплуатации отвальных сооружений (в первую очередь, сооружений промышленной гидротехники – гидроотвалов и хвостохранилищ) существенно различается.

Международной комиссией по высоким плотинам (ICOLD) подготовлен специальный бюллетень № 104 [11], посвященный мониторингу хвостохранилищ, где в разделе 3.4 излагается методика натуральных замеров порового давления и интерпретации получаемых результатов. В советской практике гидротехнического строительства использовался аналогичный подход и отечественная аппаратура «Гидропроекта». Однако закладка датчиков порового давления в сооружениях промышленной гидротехники на горных предприятиях РФ находится «вне закона», несмотря на значительную высоту (превышающую 100 м) и обводненное состояние головных дамб хвостохранилищ на КМА и в других регионах РФ. Существующее абсурдное положение должно быть прекращено. Замеры порового давления в дамбах хвостохранилищ и гидроотвалов, а также в теле и основании отвалов глинистых водонасыщенных пород должны предусматриваться (включаться) системой их безопасности, особенно с учетом разработок по удаленному автоматизированному контролю этих ответственных горнотехнических сооружений.

Закладка датчиков порового давления в теле и основании отвальных сооружений позволяет (в отличие от пьезометров) измерять как гидростатическое, так и избыточное сверх него давление воды в порах породы.

Для мониторинга состояния откосных сооружений ограждающих дамб и отвальных насыпей разработаны способы удаленного контроля устойчивости. В настоящее время, совместно с институтом ВСЕГИНГЕО, кафедрой геологии МГИ применяется беспроводной контроль порового давления в приоткосных зонах и через получаемые величины – оперативное определение коэффициента запаса устойчивости откосных сооружений. Для оценки состояния отвальных оснований, тела насыпей и намывных массивов разработан автоматизированный трехпараметрический зонд, позволяющий определять давление воды в исследуемых грунтах, сопротивление их пенетрации (задавливанию конуса) и сопротивление вращательному срезу. При этом осуществляется дистанционная обработка данных натуральных испытаний и определение несущей способности оснований.

Зондирование оснований дамб и многоярусного отвала меловых пород периодически осуществляется комбинированным зондом МГГУ-ДИГЭС. Для оперативной оценки устойчивости дамб хвостохранилища ОАО «Стойленский ГОК» оборудованы два автоматизированных профиля удаленного контроля устойчивости откосов.

При расчетах устойчивости откосных сооружений используются методы предельного равновесия (алгебраического суммирования сил по поверх-

ности скольжения и многоугольника сил) и численного моделирования напряженно-деформированного состояния отвальных массивов.

В настоящее время сформированы горнотехнические сооружения высотой до 180 м и проектируются объекты высотой более 250 м. Нагрузки от таких сооружений достигают 5 МПа и более. Инженерно-геологические определения параметров прочности горных пород, необходимые для выполнения расчетов устойчивости при проектировании отвалов, выполнены при нормальных нагрузках до 0,3-0,5 МПа, как это обычно делается изыскательскими организациями в строительной практике. Для определения параметров прочности при адекватных напряжениях следует использовать приборы трехосного сжатия – стабилометры (например, стабилометры ВИОГЕМ).

В Кузбассе ликвидация гидромеханизации, как основной технологии по удалению вскрышных пород песчано-глинистого состава, слагающего верхние горизонты вскрышной толщи, привела к необходимости отсыпки несцементированных пород в сухие отвалы. В теле отвалов эти отложения увлажняются и снижают свою прочность. При формировании высоких отвалов из таких пород появляется угроза возникновения оползней на откосах сооружений. Примерами тому являются оползни на отвалах разреза «Зареченский» в Кузбассе и Михайловского ГОКа на КМА. В первом случае ущерб от данного процесса составил 9 млрд.руб.

При углублении карьеров (разрезов) до 300 и более метров и отсыпке рядом с ними отвальных сооружений значительной мощности происходит перераспределение напряжений в массивах горных пород, что, в некоторых случаях, приводит к возникновению землетрясений. Так, в 2014 году на поле Бачатского угольного месторождения в Кузбассе произошло землетрясение магнитудой около 6 баллов.

Из вышеизложенного следует, что существует противоречие между действующими требованиями СП и ГОСТ, регламентирующими выполнение изысканий и необходимого расчетного обоснования, а также потребностью горного производства в разработке методологии обеспечения безопасного формирования высоких отвальных сооружений и приборной базы для производства инженерно-геологических работ.

На базе научного центра геомеханики и проблем горного производства НМСУ «Горный» и кафедры геологии и маркшейдерского дела НИТУ «МИСиС» предлагается создать совместный научный центр для координации и разработки документа, регламентирующего безопасные условия формирования горнотехнических сооружений МПИ, а также инженерно-геологического изучения пород техногенных насыпных и намывных массивов.

Литература

1. Руководство по определению оптимальных углов наклона бортов карьеров и откосов отвалов. – Ленинград: ВНИМИ, 1962. – 136 с.
2. Методическое пособие по проектированию бортов карьеров и противооползневых мероприятий в условиях месторождений КМА. – Ленинград: ВНИМИ, 1967. – 149 с.

3. Инструкция по наблюдениям за деформациями бортов, откосов уступов и отвалов на карьерах и разработке мероприятий по обеспечению их устойчивости. – Ленинград: ВНИМИ-ВИОГЕМ, 1971. – 186 с.
4. Указания по методам гидрогеомеханического обоснования оптимальных параметров гидроотвалов и отвалов на слабых основаниях. Ч. I. – Ленинград: ВНИМИ, 1989. – 56 с.
5. Указания по методам гидрогеомеханического обоснования оптимальных параметров гидроотвалов и отвалов на слабых основаниях. Ч. II. – Ленинград: ВНИМИ, 1990. – 52 с.
6. Правила обеспечения устойчивости откосов на угольных разрезах. – СПб, 1998. – 208 с.
7. *Зотеев О.В.* О соответствии действующей нормативной документации задачам геомеханического обеспечения открытых горных работ // Маркшейдерия и недропользование. – 2015. – № 6. – С. 48-50.
8. *Макаров А.Б.* Оценка устойчивости бортов карьеров численным моделированием // Маркшейдерия и недропользование. – 2015. – № 6. – С. 23-31.
9. *Несмеянов Б.В.* Вопросы устойчивости карьерных откосов в новых правилах безопасности // Маркшейдерия и недропользование. – 2015. – № 6. – С. 46-47.
10. Tailings dams risk of dangerous occurrences. ICOLD, Bul. 121, Paris, 2001, p. 144.
11. Monitoring of tailings dams. ICOLD, Bul. 104, Paris, 1996, p. 84
12. Освоение техногенных массивов на горных предприятиях / А.М. Гальперин, Ю.И. Кутепов, В.В. Мосейкин и др. – М.: изд. «Горная книга», 2012. – 336 с.
13. *Гальперин А.М., Семенова Е.А.* Прогноз геомеханических процессов на горных предприятиях на основе теории консолидации породных массивов // Геоэкология. – 2016. – № 2. – С. 111-120.
14. *Galperin A.M.* Using of Man-Made Massive in Russian Mining (Engineerins-Geological Aspects). Proc. of Int. Congr. For Eng. Geol. Italy, Torino. 2014. Vol. 6. p. 1057-1062.

ОЦЕНКА УСТОЙЧИВОСТИ ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК ПО СТЕПЕНИ СЛОЖНОСТИ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ (НА ПРИМЕРЕ КАУЛЬДИНСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ)

Н.Р. Дадаходжаева

ГП «Институт ГИДРОИНГЕО» 100041, Ташкент, Узбекистан
Олимлар-64. E-mail: hydrouz@inbox.uz

При разработке месторождений полезных ископаемых, увеличение извлекаемых объемов горных пород, глубин открытых карьеров и подземных горных выработок приводит к усилению роли техногенных факторов в образовании геологических процессов. В связи с повышением объемов добычи и углублением горных выработок, применением буровзрывных работ и изменением схем ведения горных работ, тенденции проявления техногенных процессов, осложняющих разработку месторождений, не только усиливаются, но и провоцируют развитие различных инженерно-геологических процессов.

Золоторудное месторождение Каульды расположено на северном склоне Кураминского хребта. В административном отношении район работ относится к Ахангаранскому району Ташкентской области Республики Узбекистан.

Рельеф местности горный, резко расчлененный, абс. отм. 840-1250 м, относительные превышения 350-410 м. Гидросеть Каульдынского рудного поля представлена реками Каульды, Кызата и их притоками. Питаются, в основном, за счет снеговых и дождевых осадков, а в период межени – дренирования подземных вод.

Геологическое строение месторождения Каульды определяется развитием осадочных, вулканогенных и интрузивных комплексов герцинского структурного этажа, в составе которого по региональному перерыву ранне-башкирского времени выделены нижний и средний структурные ярусы.

Месторождение сложено вулканогенными породами андезито-дацитовый формации (C_2-C_3), расчлененными на акчинскую и надакскую свиты, подстилаемыми на глубине 200-500 м от поверхности карбонатной толщей (D_2-C_j). Они падают на северо-запад под углом 10-30°. Карбонатные отложения представлены мергелями, глинистыми, мраморизованными известняками и доломитами. Мощность толщи более 400 м. На ее размытой поверхности залегают вулканогенные образования акчинской свиты, сложенные известняками, конгломератами, гравелитами, песчаниками, алевролитами, лавами, лавобрекчиями, андезитовыми и андезито-базальтовыми туфами. В юго-западной части месторождения встречаются туфы, туфобрекчии и лавобрекчии биотитовых, андезито-дацитовых порфиров, отнесенные к верхней подсвете. Породы свиты прорваны субвулканическими роговообманково-биотитовыми и биотитовыми андезитовыми порфирами. Более 60% площади месторождения покрыто четвертичными отложениями. По генезису и литологии они представлены делювиальными, элювиально-делювиальными лесовидными суглинками.

Разрывные структуры сколового типа широко развиты в горных породах месторождения. Выделение и прослеживание сколовых разломов на общем фоне тектонической нарушенности вызывает определенные затруднения при их увязке как на горизонтах по простиранию, так и между горизонтами по падению. Кроме того, установлены перегибы структур по простиранию и по падению. Этим обусловлен в ряде случаев несколько условный характер выделения некоторых сколовых разломов на нижних горизонтах.

Каульдинский разлом имеет юго-восточное простирание с выкручиванием на восток до юго-восточного направления. Верхняя грань разлома (до горизонта +875 м) имеет юго-западное падение под углами 75-85°, нижняя грань имеет обратное падение под теми же углами. Сколы II порядка развиты в юго-восточном блоке разлома с преобладающим падением на северо-восток (65-85°). Каульдинский разлом совместно со сколами II порядка образует структурно-проработанную зону северо-западного простирания, играющую важную роль в размещении рудных тел участка.

Тектонические структуры представляют основные нарушения. Все они являются проходящими и образовались под действием внешних по отношению к рудному полю тангенциальных тектонических условий. По масштабу среди них различаются крупные, средние и мелкие, по генетическому типу

преобладают сбросы и сдвиги. Основными структурными элементами месторождения являются линейные вулканотектонические структуры типа пологих сбросов. Разломы разбивают массив на отдельные блоки различных форм и размера. Мощность зоны дробления изменяется от первых до нескольких десятков метров. В целом структурная позиция месторождения характеризуется интенсивным проявлением разрывной тектоники. Вследствие этого отмечается пестрота инженерно-геологических характеристик горных пород.

Инженерно-геологические условия отработки относятся к сложному типу (тектоника, разнообразные литологические типы пород, неравномерная увлажненность массива). В связи с этим, их инженерно-геологические свойства сильно изменчивы. Из экзогенно-геологических процессов в пределах месторождения и прилегающих территорий выявлены оползни, эрозионные и селевые процессы. Сели могут угрожать шахтам, штольням и коммуникациям, расположенным в зонах прохождения потоков. Крупные оползни на площади месторождения не развиты. Возможно формирование небольших оползней типа сплывов и оплывин, не представляющих угрозу. В подземных горных выработках распространены обрушения, вывалы, осыпания, которые обычно связаны с зонами тектонических нарушений и сильнотрещиноватыми породами. Из разведочных и эксплуатационных горных выработок более 70% закреплены [1].

Физико-механические свойства горных пород месторождения Каульды указывают, что закономерного изменения физико-механических свойств по глубине и по площади у всех литологических разновидностей пород не наблюдается. Между литологическими типами пород наблюдается различные значения, их изменения связаны с происхождением пород. В прочностных показателях эти изменения также связаны с происхождением пород, а большие разбросы в значениях связаны с трещиноватостью.

Проанализировав материалы по обследованию развития деформаций в подземных горных выработках месторождения Каульды, можно отметить следующее: в подземных горных выработках месторождения получили развитие деформации типа обрушений, вывалов и отслоений с кровли и стенок выработок. Объемы деформаций изменяются от 3 м^3 до 15 м^3 , в основном составляя $4-5\text{ м}^3$. Обрушениям и вывалам подвержены андезитовые и андезитобазальтовые порфириты, а также субвулканические пластолавы с обломками андезитовых порфиритов, слагающие, в основном, горизонт штольни. Они приурочены, в основном, непосредственно к зонам тектонических нарушений и сильнотрещиноватым участкам. Эти процессы в определенной степени осложняют условия эксплуатации месторождения, а с углублением горнопроходческих работ оказывают отрицательное влияние на отработку этих участков [2].

В процессе эксплуатации глубоких горизонтов изменяется напряженное состояние массива горных пород вокруг горных выработок. При разгрузке (выемке пород) и в результате проведения буровзрывных работ, в большинстве случаев образуются новые трещины, вследствие чего происходят обрушения, вывалы, отслоения пород, приуроченные к ослабленным зонам.

По данным вышеизложенной инженерно-геологической обстановки, составлена карта изменений инженерно-геологической условий месторождения Каульды (рис. 1).

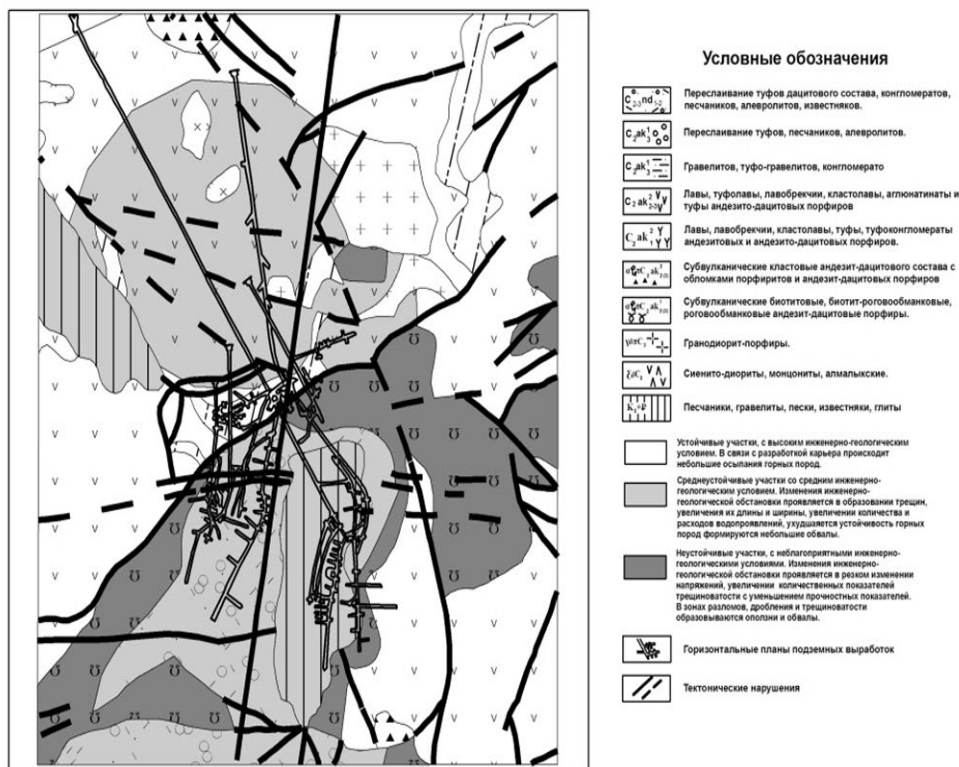


Рис. 1. Схематическая карта изменения инженерно-геологических условий месторождения Каульды

На карте выделены категории участков с различной степенью устойчивости (высокой, средней и низкой). При выделении этих участков учитывались особенности литологического строения, трещиноватости пород тектонической нарушенности, инженерно-геологические и гидрогеологические условия.

1. Стабильно устойчивые участки, с высокими, т.е. благоприятными, инженерно-геологическими условиями. Формирование небольших осыпей.

2. Среднеустойчивые участки со средними условиями инженерно-геологической обстановки проявляются в образовании трещин, увеличения их длины и ширины, ухудшение устойчивости.

3. Неустойчивые участки с низкими, т.е., неблагоприятными инженерно-геологическими условиями. Изменения инженерно-геологической обста-

новки проявляются в резком изменении напряжений, увеличении количественных показателей трещиноватости, уменьшении прочностных показателей. Образуются в зонах разломов дробления и трещиноватости обрушения и вывалы [3].

Таким образом, при оценке устойчивости горных выработок необходимо учитывать наряду с геологическими изменениями, гидрогеологические и инженерно-геологические факторы, вызывающие осложнения при разработке шахт, выражающиеся в виде деформаций и обрушении кровли подземных выработок, выдавливании пород и прорывах подземных вод в выработанное пространство.

Учитывая вышеизложенные характеристики инженерно-геологических условий отработки, данные месторождения относятся к сложному типу. Здесь выявляется сложная тектоника, разнообразные литологические типы горных пород, неравномерная увлажненность горного массива. В связи с этим, инженерно-геологические свойства пород сильно изменчивы. В подземных горных выработках распространены обрушения, вывалы, осыпания, которые обычно связаны с зонами тектонических нарушений и сильнотрещиноватыми породами. При проходке шахтных горизонтов разведочные и эксплуатационные подземные горные выработки закреплены более чем на 70%. В ослабленных местах зон пересечения разрывных нарушений и по участкам зон дроблений и сильнотрещиноватых массивах ведутся конструктивно-крепительные работы горных пород [4].

Литература

1. *Арипова Ф.М., Мирасланов М.М.* и др. Физико-механические свойства горных пород рудных месторождений Узбекистана: справочник. – Т.: Типография центра по науке и технологиям, 2006.
2. *Мирасланов М.М., Закиров М.М.* Требования к гидрогеологическим и инженерно-геологическим исследованиям месторождений твердых полезных ископаемых при разведке. – Т.: Типография центра по науке и технологиям, 2009.
3. *Мирасланов М.М., Закиров М.М.*, Инженерно-геологические процессы, развитые на месторождениях твердых полезных ископаемых Узбекистана: оценка и прогноз. – Ташкент: ГП «Институт ГИДРОИНГЕО», 2015.
4. *Мирасланов М.М.*, Основные требования, цель и задачи инженерно-геологических исследований на разных стадиях разведки МТПИ // Гидрогеологические и инженерно-геологические исследования в Узбекистане. Тр. Ин-та ГИДРОИНГЕО. – Ташкент, 1992.

ПРОГНОЗНАЯ ОЦЕНКА ВОЗМОЖНЫХ ПРОЦЕССОВ ПРИ РАЗРАБОТКЕ ЖИЛЬНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

Э.В. Калинин, Л.Л. Панасьян, Э.М. Спиридонов

Московский государственный университет им. М.В.Ломоносова, геологический факультет.
Москва 119899, Ленинские горы, МГУ. E-mail: Kalinin@sumail.ru

Рудное жильное месторождение расположено на Южном Урале и сопряжено с дайкообразным Пластовским интрузивом амагматитов (богатые плагиоклазом роговообманковые граниты) нижнекаменноугольного возраста протяженностью около 30 км. Интрузив пересечен многочисленными дайками гранитоид-порфиров, микродиоритов и спессартитов; кварцевыми и карбонат-кварцевыми жилами и штокверками прожилков того же состава, сопровождающихся ореолами березитизированных и лиственитизированных пород. На месторождении известно более 1000 рудосодержащих кварцевых и карбонат-кварцевых жил. В последние годы установлено, что процессы послерудного метаморфизма захватили весь объем месторождения и заметно изменили его минеральный состав [5].

Особенностью месторождения является обилие неравномерно распространенных в массиве даек жильных пород, занимающих около 15% площади и пронизывающих весь гранитный массив в субширотном направлении. Выделяются Северная, Центральная и Южная зоны длиной по 3-4 км и мощностью от 100-150 до 300-400 м, имеющие восточно-северо-восточное простирание (70-80°) и падение на С и Ю под углом 70-85°. Большинство даек после глубокого метаморфизма превратились в специфические для Пластовского массива образования – «табашки». Это преимущественно меланократовые породы, состоящие в основном из биотита, амфибола, полевых шпатов, эпидота, кварца и карбонатов, которые большинством исследователей рассматриваются как метаморфизованные породы даек лампрофиров (рис. 1).

Рудные тела месторождения локализируются в зонах сгущения даек и представлены многочисленными маломощными кварцевыми жилами, которые близки между собой по вещественному составу и морфологии. Простирание их близко к широтному, падение крутое. Мощность колеблется от нескольких сантиметров до 1 м. Размеры жил по простиранию до 250-300 м. В плоскости жил участки, обогащенные рудой, чаще всего имеют неправильные округлые формы и распределяются без видимой закономерности. В то же время встречаются богатые столбообразные участки, которые при ширине в поперечнике 10-40 м (принято в модели) прослеживаются на глубину 100 м и более.

Рудосодержащие дайки-«табашки» сопровождаются большим числом кварцевых жил, а гранитоидный массив разбит крутопадающими тектоническими нарушениями северо-западного простирания мощностью от 10 до 50 м. Это служит причиной резкой дифференциации деформационных свойств

массива пород, что вызывает перераспределение в породах естественных напряжений и формирование зон их концентрации. Если при этом принять во внимание, что проходка горных выработок осуществляется вдоль даек, т.е. в самых неоднородных частях массива, то их внедрение так же окажет влияние на изменение напряжений в породах.



Рис. 1. Геологический разрез, моделируемая часть массива

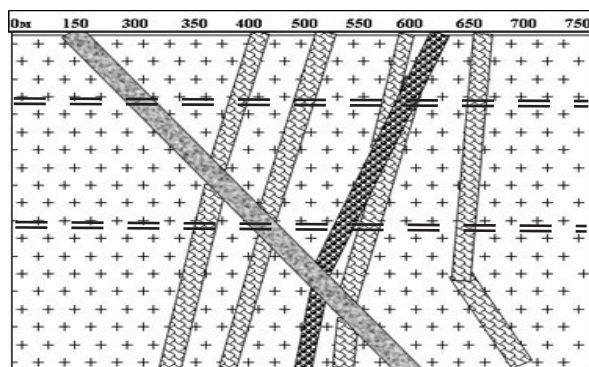


Рис. 2. Схематический геолого-структурный разрез моделируемого участка расположения Сретенской и Суторминской жил
 == = уровни расположения выработок в модели

Преобразование напряженно-деформированного состояния массива пород при разработке месторождения и появление в нем очагов концентрации напряжений может послужить причиной возникновения в горных выработках неблагоприятных процессов, вызванных разрушением стен и кровли выра-

ботки. Исследование природного напряженно-деформированного состояния массива горных пород и его изменения в результате присутствия горных выработок было выполнено на схематическом участке расположения Сретенской и Суторминской жил (рис. 2).

Изучение распределения напряжений производилось по построенной в крест основной структуры месторождения геомеханической модели размером 750 на 600 м (рис. 2). Общее число точек в модели составило 4500. Размеры ячеек предусматривались соизмеримыми с размерами элементов неоднородности изучаемого массива горных пород или соответствовали минимальному размеру сечения выработки. Часть жил смоделирована при расчете как дополнительное ответвление Суторминской жилы на глубине около 350 м, т.к. для этого месторождения подобные конструкции строения в виде ответвлений описаны в литературе.

Для расчета были использованы показатели свойств (плотностных, деформационных), установленные сотрудниками кафедры для аналогичного расположенного севернее месторождения Элькон и представленные в таблице.

Таблица

Свойства пород, принятые в расчетах

Тип породы	Плотность, г/см ³	Модуль деформации, МПа*10 ³	Коэф. Пуассона
Гранитоиды	2,60-2,68	30-32	0,18-0,20
Табашки	2,69-3,0	28-29	0,25
Кварцевая жила	2,65	42	0,17
Породы зоны разлома	2,2-2,6	10-15	0,33-0,35

Расчет напряжений производился в плоской постановке с помощью численного метода по программе, разработанной на кафедре [2,3] Были выполнены две серии расчетов: 1) для изучения распределения напряжений в естественном массиве в условиях действия гравитации и в зависимости от деформационных свойств, слагающих его пород; 2) с целью определения влияния на распределение напряжений условных горных выработок, пройденных на двух горизонтах.

Распределение вертикальных напряжений в естественном массиве горных пород, осложненном тектоническим нарушением и пересеченным «табашками» и кварцевыми жилами, показано на рис. 3, а, откуда следует, что значительная концентрация этих напряжений наблюдается в гранитном массиве на контурах с тектоническим нарушением и в кварцевой жиле, что вызвано существенной разницей деформационных свойств пород.

Возрастание концентрации максимальных касательных напряжений происходит в гранитном массиве на границе с участками пород, обладающих пониженными деформационными свойствами и дополнительно вокруг горных выработок (рис. 3, б). Обращает внимание наличие вблизи поверхности на участке между крупным тектоническим нарушением и «табашками» зоны растягивающих напряжений.

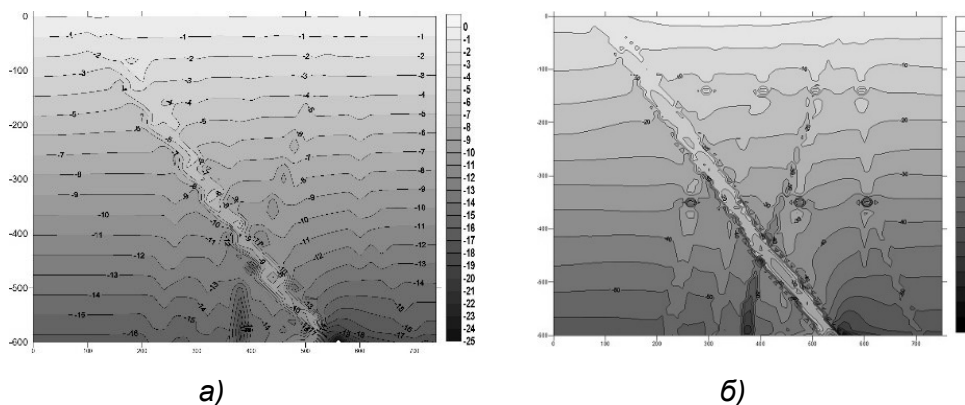
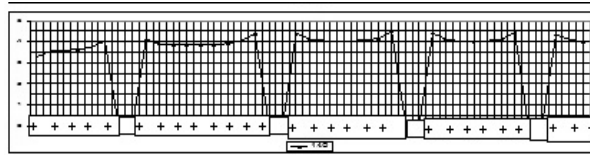


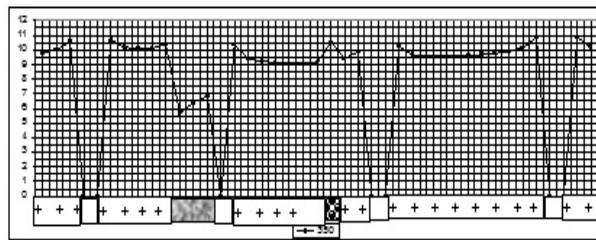
Рис. 3. Распределение напряжений, МПа:
a – вертикальных; *б* – максимальных касательных при наличии выработок

О распределении максимальных нормальных напряжений можно судить по графикам их изменения (рис. 4) по горизонталям, проведенным на уровнях расположения выработок, и по вертикалям. Наиболее интенсивно в исследованном массиве максимальные нормальные напряжения изменяются в пределах разломной зоны и вблизи кварцевой жилы, где наблюдаются существенные различия в деформационных свойствах пород, а также вокруг горных выработок. Например, на горизонтальном уровне в 350 м перед разломной зоной максимальные нормальные напряжения в гранитах увеличиваются на 5% по сравнению со средним уровнем напряжений на данном горизонте, а в разломе снижаются почти на 50%. Максимум напряжений формируется в высокомодульных кварцевых жилах в пределах всего массива. В выработках напряжения падают до 0, а на контурах возрастают на 10-30% по сравнению с уровнем напряжений на данном горизонте [4].

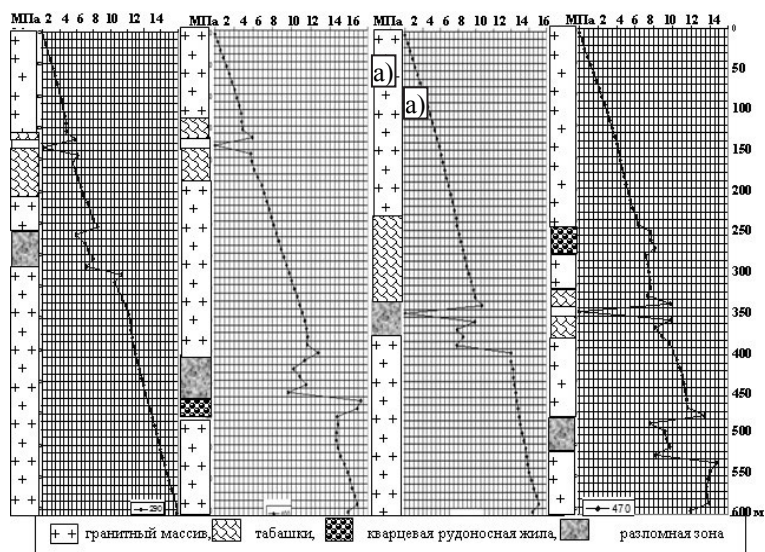
Формирование зон концентрации напряжений в породах, окружающих горные выработки, может нарушить их устойчивость, которая оценивается путем сравнения величин напряжений с прочностными характеристиками пород [1]. Поэтому для учета возможных процессов необходимо знать полное строение пород вокруг выработок, их размеры и конфигурацию, толщину и свойства облицовочного материала. Нарушение устойчивости горных пород вызывает развитие неблагоприятных процессов: обрушений, стреляния, горных ударов, риск развития которых не может быть оценен без детального изучения напряженно-деформированного состояния массивов горных пород и дополнительных силовых воздействий природного и техногенного характера. Учет указанных факторов при моделировании прогнозной характеристики напряжений может быть осуществлен дополнительными более детальными расчетами.



а)



б)



в)

г)

д)

е)

Рис. 4. Изменение максимальных нормальных напряжений по сечениям:
 горизонтальным на глубине: а – 140 м; б – 350 м;
 вертикальным, расположенным на разных расстояниях от начала модели:
 в – 290 м; г – 360 м; д – 400 м; е – 470 м

Литература

1. Калинин Э.В., Панасьян Л.Л., Широков В.Н., Артамонова Н.Б., Фоменко И.К. Моделирование полей напряжений в инженерно-геологических массивах. – М.: Изд-во Московского университета, 2003. – 15 п.л.
2. Калинин Э.В., Панасьян Л.Л. Методические аспекты создания геомodelей при разработке месторождений полезных ископаемых / Methodical part of creating geomodel for mining of mineral resources // Международный журнал «Геотехника». – 2015. – № 2. – С. 51-57.
3. Панасьян Л.Л. Распределение напряжений в неоднородных массивах горных пород // Сб. «Вопросы инженерной геологии и грунтоведения». – М.: Изд. МГУ, 1983. – Вып. VI. – С. 277-286.
4. Савин Г.Н. Распределение напряжений около отверстий. – Киев: Наукова думка, 1968. – 887 с.
9. Спиридонов Э.М., Ершова Н.А., Тананаева О.И. Кочкарит. $PbBi_4Te_7$ – новый минерал контактово-метаморфизованных руд // Геология рудных месторождений. – 1989. – Т. 31. – № 4. – С. 98-102.

ОСОБЕННОСТИ ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИХ И ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ ПРИ ОСВОЕНИИ ТЮБЕГАТАНСКОЙ ПЛОЩАДИ КАЛИЙНЫХ СОЛЕЙ (НА ПРИМЕРЕ УЧАСТКА КУРГАНТАШ)

Э.Ш. Курбонов

ГП «Институт ГИДРОИНГЕО», 100041, Ташкент, Узбекистан, ул. Олимлар-64.
E-mail: hydrouz@inbox.uz

В последние годы большое внимание уделяется интенсивному освоению новых перспективных месторождений калийных солей, которые могут стать надежной сырьевой базой для отрасли сельского хозяйства. Разработан комплекс мероприятий по усовершенствованию мелиорации, механизации и увеличению плодородности почвы грунтов. Применение естественных удобрений ведёт к повышению урожайности и качеству сельскохозяйственных культур, позволяет устойчиво развивать сельское хозяйство.

Участок Курганташ Тюбегатанского месторождения калийных солей расположен в Дехканабадском районе Кашкадарьинской области Республики Узбекистан. В геологическом строении площади месторождения принимают участие породы юрских (J), меловых (K) и четвертичных отложений (Q). Калийные и каменные соли приурочены к отложениям гаурдакской свиты юрской системы. По литологическому составу на участке развиты песчаники, известняки, глины, алевролиты, каменная и калийная соли.

Условия формирования подземных вод находятся в прямой зависимости от климата, рельефа, геолого-тектонического строения, а также от наличия гидрографической сети [1]. Климатические факторы (атмосферные осадки, влажность, испарение и направление ветра) определяют основные про-

цессы формирования природных вод в районе Тюбегатанского месторождения. Климат резко континентальный с жарким летом и холодной зимой. Среднегодовая температура воздуха равна $+14,8\text{ }^{\circ}\text{C}$. По данным Дехканабадской метеостанции средняя многолетняя сумма осадков составляет 408 мм. Около 90% осадков приходится на зиму и весну, в этот период величина испарения минимальная и выпадающие атмосферные осадки активно участвуют в питании подземных вод. В летнее время осадки почти не выпадают, а подземные воды расходуются на сток, родниковое выклинивание, испарение.

Рельеф площади месторождения – один из важнейших факторов, определяющих условия питания, транзита и разгрузки подземных вод. Рельеф района работ резко расчлененный, низкогорный с высотными отметками от +1150 до +1325 м. Резкое расчленение рельефа и, как следствие этого, глубокий естественный дренаж, не способствуют формированию значительных запасов подземных вод. Значительная часть формирующихся здесь трещинных вод дренируется в прилегающие артезианские бассейны. Часть их системой трещин и, особенно, зонами разломов, уходит на глубину и там скапливается. Поэтому естественные водопроявления по площади редки, а расходы родников обычно невысокие, от сотых до десятых долей л/с. По характеру условий циркуляции и распределения естественных запасов подземных вод, согласно вертикальной зональности, предложенной Н.К. Игнатовичем, площадь месторождения относится к I зоне инфильтрации и транзита подземных вод, залегающей выше местного базиса эрозии и современной гидрографической сети. В пределах I зоны естественные запасы подземных вод аккумулируются обычно редко, к этой зоне приурочиваются выходы мелких, временно действующих родников. Мощность зоны для горных районов может достигать 300-500 и более метров. Месторождения калийных солей, расположенные выше местного базиса эрозии, обычно являются слабо обводненными или даже безводными. Обнаружено несколько разломов, скрытых толщей обрушенных пород нижнего мела и четвертичных образований. Исследования по скважинам показали значительную обводненность солей вблизи разломов.

Водоустойчивость исследуемых пород сильно изменяется и оценивается коэффициентом размягчения (Кр): глина алевролитовая – 0,82-0,90, алевролиты – 0,75-0,97, гравелиты – 0,84.

Прочностные показатели этих пород в естественном состоянии изменяются в пределах 15,5-47,0 МПа, в водонасыщенном состоянии предел прочности снижается от 5,2 до 38,7%.

По значениям временного сопротивления пород на сжатие выделяются три категории прочности (слабая, низко прочная и прочная). Слабые породы разреза – каменная и калийная соли, растворяющиеся в водонасыщенном состоянии (пробы) в течение 5-6 ч, объемные веса изменяются от 2,08 до 2,17 г/см³, удельный вес 2,14-2,21 г/см³, временное сопротивление сжатию ($\sigma_{сж}$) в естественном состоянии составляет до 20,0 МПа. Прочные породы

в разрезе – песчаник гравелистый и алевролит, предел их прочности на сжатие изменяется от 40,4 до 47,0 МПа [3].

Анализ изучения физико-механических свойств горных пород месторождения показывает, что статистическая закономерность изменения физико-механических свойств по глубине и по площади у всех литологических разновидностей пород не наблюдается. Между литологическими типами пород наблюдаются различные значения, их изменения связаны с подземными водами и трещиноватостью массива. В прочностных показателях эти изменения также связаны с происхождением пород, а большие разбросы в значениях связаны с трещиноватостью, вторичными изменениями и инфильтрацией подземных вод.

Анализ и обобщение инженерно-геологических материалов позволил составить карты изменения инженерно-геологических условий при освоение по балльной системе с интерпретацией инженерно-геологических потенциалов (по М.М. Мирасланову), разработанной Г.А. Голодковской [3] (рис. 1).

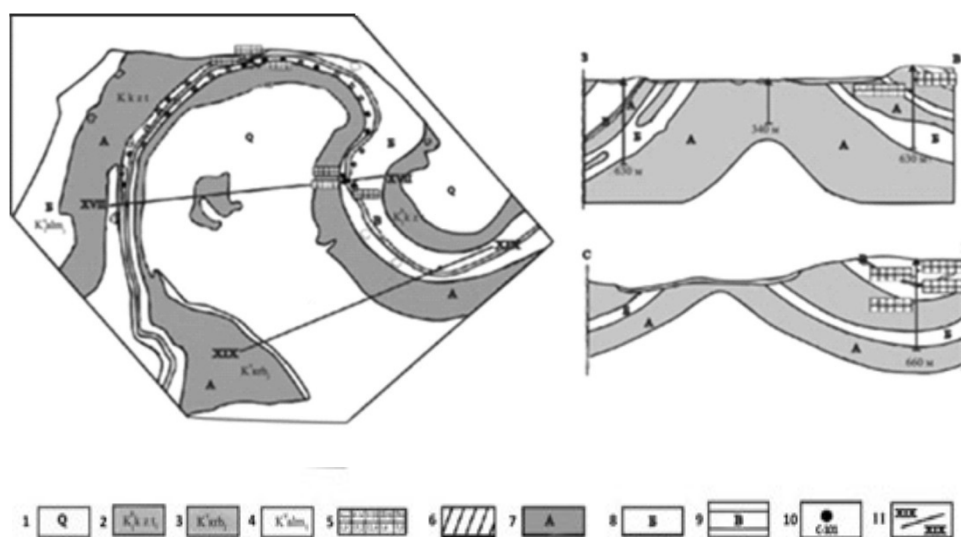


Рис. 1. Карта изменения инженерно-геологических условий при освоение Тюбегатанской площади калийных солей северо-восточный фланг Курганташ:

- 1 – четвертичные отложения;
- 2 – (кзылташская свита) глины с прослоями алевролитов;
- 3 – песчаники (карабийской свиты) с прослоями гравелита;
- 4 – (альмуродской свиты) глины с прослоями алевролитов, гипсов;
- 5 – инженерно-геологических характеристики горных пород;
- 6 – место изучения трещиноватости;
- 7 – устойчивые с высоким инженерно-геологическим потенциалом;
- 8 – переходные участки со средним инженерно-геологическим потенциалом;
- 9 – неустойчивые участки с низкими инженерно-геологическим потенциалом;
- 10 – скважина;
- 11 – линия профиля

На карте выделены категории участков с различной степенью инженерно-геологической устойчивости (Кат-А высокой, Кат-Б средней и Кат-В низкой). При выделении участков учитывались особенности литологического строения, тектонической нарушенности, трещиноватости горных пород, прочностных свойств и гидрогеологические особенности территории исследования.

Выделенные участки с различной степенью инженерно-геологической устойчивости характеризуют различную степень изменения природных условий, в пределах которых при разработке (горных работ) возможно возникновение тех или иных инженерно-геологических осложнений (рис. 1).

Категория А – устойчивые участки карабийской свиты ($K_1K\beta_2$) с высоким инженерно-геологическим потенциалом (ИГП) а также песчаники с прослоями гравелита; Кызылташская свита ($K_1^h kzt$) представленная глиной с прослоями алевролитов. Породы массивные слабо трещиноватые (коэффициент трещинной пустотности (КТП) менее 1-2,5%), породы прочные ($\sigma_{сж}$ -50-100 МПа). Здесь изменения инженерно-геологических условий не происходит.

Категория Б – участки со средним ИГП, представлены породами алмурадской свиты (K_1alm_3). Глины с прослоями гипсов алмурадской свиты ($K^v alm_2$) доломитизированных известняков; глины с прослоями алевролитов, гипсов ($k^v alm_2$); коэффициент трещинной пустотности (2-5%) прочные, $\sigma_{сж}$ =30-50 МПа.

Категория В – неустойчивые участки с низким ИГП, сложены теми же литологическими разностями пород, что и предыдущие. Отличаются тем, что массив местами разбит тектоническими нарушениями и в зонах их влияния породы характеризуются повышенной трещиноватостью. Возможно обрушение и вывалы пород, выпор и выдавливание, а также выщелачивание породных масс.

При проходке горных выработок необходимо обратить особое внимание на подземные воды, находящиеся в скрытых подземных карстовых пустотах, залегающих в виде линз. В процессе разработки калийных солей при приближении горных выработок к линзам подземных вод на расстоянии 1-2 метра возможен внезапный прорыв подземных вод (рассолов). В результате чего происходит затопление шахтного горизонта.

Таким образом, при освоении соленосных месторождений горнопроходческие работы необходимо проводить с учетом гидрогеологических и инженерно-геологических особенностей, геолого-тектонического строения, выявленных зон дробления и трещиноватости пород, а также увлажненных зон, залегание подземных вод в виде скрытых линз одновременно в этих условиях выработок, находящиеся в напряженно-деформированном состоянии массива, которые вызывают осложнения на шахтных горизонтах, выражающиеся в виде деформации, обрушения кровли подземных выработок, выдавливания пород и прорыва подземных вод выработанного пространства.

Литература

1. Бабушкин В.Д., Пересунко Д.И., Прохоров С.П., Скворцов Г.Г. Изучение гидрогеологических и инженерно-геологических условий при разведке и освоении месторождений твердых полезных ископаемых. – М.: Недра, 1969. – С. 27-49.
2. Абдурахманов Б.М., Агзамова И.А., Ахунжанов А.М. Гидрогеологические и инженерно-геологические исследования при освоении месторождений калийных солей. Международная научно-техническая конференция. – Ташкент, 15.12.2015. – 131 с.
3. Мирасланов М.М. Инженерная геология, гидрогеология месторождений твердых полезных ископаемых Узбекистана. – Ташкент, 2011. – С. 146-164.

ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ ОТКРЫТОЙ И ПОДЗЕМНОЙ ДОБЫЧИ АПАТИТ-НЕФЕЛИНОВЫХ РУД В ЮЖНЫХ ХИБИНАХ

А.А. Лукашов

Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова.
119991, Москва, Ленинские горы, д. 1. ГСП-1. E-mail: smoluk@yandex.ru

Добыча минерального сырья в течение десятилетий выводит из равновесия естественные комплексы. Техногенный, экологически проблемный морфолитогенез проявляется не только в создании «искусственных» комплексов рельефа и соответствующих пород, в активизации опасных геоморфологических процессов, но и в изменении геологической структуры. Это ярко проявляется при сочетании открытой и подземной добычи залежей минерального сырья, когда структура шахтных полей претерпевает порою геодинамические преобразования [2]. Определённый опыт анализа нежелательных последствий извлечения минерального сырья из недр накоплен в пределах обрамления Восточно-Европейской равнины с их орографическими и ландшафтными контрастами. Остановимся на результатах исследования техногенного морфолитогенеза и анализа геоэкологической проблематики для месторождений апатит-нефелиновых руд Хибинского массива, добыча минерального сырья на которых сопровождается опасными геоэкологическими явлениями.

Хибинский массив представляет собой многофазный щелочной плутон позднедевонского возраста. Сложен он нефелиновыми сиенитами, рисчорритами и мельтейгит-уртитамии. До глубины 12,5 км плутон имеет коническое кольцевое строение. Согласно модели А.А. Арзамасцева [4], формирование плутона происходило 380-360 млн. лет назад в семь стадий. К 4-й стадии развития массива относится внедрение в центре проседающей кальдеры ийолит-мельтейгитовой интрузии, а к следующей стадии – внедрение фосфатонесных интрузивных тел. Совместно интрузии 4-й и 5-й стадий, имеющие в плане изогнутую к юго-западу форму, называют «рудной интрузией». Она раз-

деляет Хибинский массив на внутреннюю (преимущественно фойяитовую) и внешнюю (существенно хибинитовую) части. Именно к этой интрузии приурочена добыча апатит-нефелиновых руд.

В современную эпоху Хибинские горы – небольшой (площадью 1300 км²), изометричный в плане массив глыбовых цокольных гор, разбитых на разновысотные блоки. Средние высоты вершин лежат в диапазоне 800-1000 м. Скорость воздымания для различных блоков составляет 0,3-1,2 мм/год. Поднятые в результате дифференциации неотектонических движений реликты дочетвертичного пенеппена – т.н. «чорры» – сохранились в верхнем ярусе рельефа. По ослабленным тектоническим зонам заложилась современная долинная сеть. Предположительно, сформировавшееся блоковое строение Хибин и его неотектоническая дифференциация являются следствием горизонтального сжатия с последующим поднятием литосферы Кольского геоблока (Пожиленко и др., 2002). После таяния последнего ледникового покрова на продолжающееся с протерозоя общее воздымание территории щита наложились гляциоизостатическое поднятие.

На месторождениях южной части Хибин в ходе комплексной добычи сложилась напряжённая геоэкологическая ситуация. По мере разработки наклонно залегающих тел апатитизированных ийолит-уртитов горняки положили на склоны и в днища долин мощные тела ступенчатых внешних отвалов обломочной массы вмещающих пород, прежде всего – ричорритов. Материал отвалов аномально податлив по отношению к химическому выветриванию. Соответственно, в истоках веера долин, в том числе – над посёлком Кукисвумчорр – искусственно создана не только фестончатая в плане инородная терригенно-питающая микропровинция потоков наносов, но и геохимическая аномалия, способная насыщать водотоки токсичными гелями кремния и алюминия.

Масштабным примером техногенного морфолитогенеза в южных Хибинах является развитие заколов и ещё более крупных форм сходного генезиса – рвов обрушения. Столь нежелательные явления свойственны шахтным полям, на которых за добычей не следует закладка очистных выработок. Формирующаяся под крайне неустойчивым днищем рва взрывно-гравитационная брекчия – экологически опасная техногенная формация рыхлых отложений [1]. Яркими примерами развития такой формации являются месторождения южных Хибин (рис. 1).

Усложнявшиеся с течением лет на Кукисвумчоррском месторождении геомеханические условия отработки наклонно залегающих пластово-линзовидных тел мощностью до 80 м после частичного перехода в 1938 году к подземной добыче определили применение запланированного взрывного обрушения сводов выработок. За 78 лет добычи руды подземным способом (в интервале абсолютных отметок +460 м – +80 м) «рудничный котлован» на склонах горы Апатитовой приобрёл линейно-вытянутую форму, достигнув в длину 1500 м, в ширину 400 м, при относительной глубине 120 м (рис. 2).



Рис. 1. Ареал комплексной отработки хибинских месторождений. Прерывистый ров обрушения над очистными пространствами трассируется на 7,5 км с СЗ на ЮВ от Рудника им. Кирова (Кукисвумчоррское месторождение) до Расвумчоррского рудника (месторождение Апатитовый цирк) (Мозаика ГУГЛ)



Рис. 2. Ров обрушения на юго-западных склонах горы Апатитовой над отработанным до глубины 520 м от поверхности участком Кукисвумчоррского месторождения. Слева – внешние отвалы в троговой долине ручья Ворткеуай. Вид с юго-востока, с хребта Юкспорр (Фото С. Яровой)

В дальнейшем – вплоть до достижения шахтой уровня -280 м – не предусмотрено изменения характера эксплуатации месторождения. V-образный поперечный профиль рва резко асимметричен. Крутизна северо-восточного борта составляет 45-80°, противоположного – 25-50°, что является следствием подрезания выработками именно северо-восточного фланга – ви-сячего бока породного массива. На бортах повсеместно проявлены обвально-осыпные процессы. В толще сейсмоколлювия по дну рва сформировались просадочные суффозионные воронки, поддерживающие процессы сноса. В результате «оттока» части материала вглубь рва соотношение высот арены срыва и шлейфов сдвинуто в сторону первой. Высота оголённых стенок обвального и оползневого сноса близка к 100 м.

В днище рва обрушения переход между материалом подсклонового шлейфа и взрывно-гравитационной брекчией постепенен. Гранулометрия техногенной формации не изучена; встречаются обломки от глыб до пыли. Брекция, видимо, представляет собою массу, сходную с породой в «запредельном» состоянии. Хаотическое нагромождение обломков, отсутствие сортировки, дефицит связующего мелкозёма создают предпосылки для поглощения днищем рва полужидких сред. Техногенные изменения геологической среды месторождения выводят неоднородно напряжённый массив шахтного поля из состояния относительного равновесия. Тело новообразованной брекчии, проникая на сотни метров в глубину и кардинально меняя структуру породного массива, существенно влияет на векторные характеристики горного давления.

Юкспорское месторождение, вскрывавшееся изначально нагорным карьером на абсолютной высоте около 800 м, разрабатывается ныне только подземным способом. Верхняя часть склонов и уплощённый гребень хребта Юкспорр по мере продвижения на глубине фронта очистных работ в северо-восточном направлении последовательно отсекаются зонами разрыва сплошности пород. Над очистным пространством шахты здесь также сформирован ров обрушения глубиной – под северо-восточной стенкой – более 300 м.

Нависающие скальные обрывы прорезаются многочисленными отвесными трещинами. Новообразованное тело взрывно-гравитационной брекчии протянулось на 1 км от верхних склонов трога р. Юкспоррйок до Саамского донного карьера. Обрушение заколов происходит как собственно в ров обрушения, так и на прилегающие откосы. Так 17.05. 2002 падение закола весом до 4 млн. тонн и объёмом 1,3 млн. м³ перекрыло сейсмоколлювием транспортные и рабочие бермы Саамского карьера, сделав недоступными подступы с ЮЗ к Лопарскому перевалу. Однако, чаще, чем при катастрофических обрушениях, кромка рва отступает в ходе отседания ступенчатых комплексов деляпсивных оползней (рис. 3).

Резко асимметричный ров обрушения над обрабатываемым исключительно подземным способом месторождением Апатитовый цирк достигает в длину почти 1,5 км при ширине до 400 м. Глубина отработок здесь меньше, чем на соседних с северо-запада месторождениях. Однако продвижение северо-восточной кромки рва в пределы массива западного отрога плато Север-

ный Расвумчорр происходит достаточно энергично. В отличие от ситуации на горе Апатитовой и на хребте Юкспорр, зияющие трещины между заколами на Расвумчоррском руднике ещё «не вышли» на поверхность плато (рис. 4). Продвигающаяся на северо-восток стенка рва обрушения пересекает крутой естественный склон троговой ледниковой долины, что сказывается на неустойчивости нависающих блоков породы.



Рис. 3. Кромка рва обрушения в ЮЗ части хребта Юкспорр. Делясивные оползни по СВ стенке рва отседают от массива скальных рихчорритов (Фото С. Яровой)



Рис. 4. Плато Расвумчорр – вид с СЗ. Справа – ров обрушения над очистным пространством одноимённого рудника. Вдали – карьер рудника Центрального (Фото С. Яровой)

Таким образом, в геологической структуре Хибин по мере углубления шахтной добычи руд поступательно развивается новообразованное прерывистое разрывное нарушение общей протяжённостью около 7 км. Глубина его проникновения в недра приближается к 0,5 км, что выводит из равновесия горное давление и не может не сказываться на геодинамике прилегающих частей массива.

Литература

1. Лукашов А.А. Эколого-геоморфологические проблемы в регионах добычи полезных ископаемых. «Экологическая геоморфология: новые направления». – МГУ, 2015. – С. 101-127.
2. Лукашов А.А., Зайцев Г.А., Рубина Е.А. Хибинны как арена чрезмерно интенсивного горнопромышленного освоения. Межвузовский сб. Вопросы региональной географии и геоэкологии». Вып. 2. – Рязань, 2002. – С. 12-21.
3. Пожиленко В.И. и др. Геология рудных районов Мурманской области. – Апатиты: Изд-во КНЦ РАН, 2002. – 359 с.
4. Arzamastsev A.A. et al. The Khibina and Lovozero alkaline massifs: Geology and unique mineralization. – Apatity, 2008 – 58 pp.

СКВАЖИННАЯ ГИДРОДОБЫЧА КАК ОДНА ИЗ АДАПТАЦИОННЫХ ПРИРОДОСБЕРЕГАЮЩИХ ТЕХНОЛОГИЙ ПРИ РАЗРАБОТКЕ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

Д.А. Маслова

Центр лабораторного анализа и технических измерений по Сибирскому федеральному округу
630099, Россия, г. Новосибирск, ул. Романова, д. 28. E-mail: maslova_da@mail.ru

Способ скважинной гидродобычи (СГД) предложен в СССР инженером В.Г. Вишняковым в 1935 г., использовался при разработке месторождений фосфоритов и песков для стекольной промышленности в 1960-х гг. в Польше и россыпного золота в 1970-х гг. в Канаде. Разработка промышленных образцов технических средств и технологических схем относится к 1970-м гг. С 1970 г. в США серийно выпускают установки скважинной гидродобычи, используемые для добычи мягких бокситовых руд, нефтеносных песчаников, урана. Промышленная разработка месторождений ураноносных песчаников способом скважинной гидродобычи начата в США с конца 1979 г.

В СССР скважинную гидродобычу осуществляли при добыче фосфоритов, а также обводнённых крупнозернистых песков, залегающих под слоем многолетней мерзлоты в районе нефтяных месторождений Тюменской области для создания промышленных площадок буровых установок [4].

Скважинная гидродобыча является одной из самых перспективных способов добычи полезных ископаемых. При СГД технологические процессы

разрушения горной массы, пульпоприготовления, всасывания и гидроподъема осуществляются с помощью напорного потока воды через скважины небольшого диаметра. Технология реализуется следующим образом: в пробуренную и обсаженную скважину опускают специальный гидромонитор и гидроподъемное устройство. При этом массив породы разрушается гидромониторной струей жидкости, а выдача образовавшейся после размыва гидросмеси в очистной камере осуществляется эрлифтом или эжектором (гидроэлеватором) на поверхность.

Скважинная гидротехнология включает следующие процессы:

- вскрытие и подготовка руды при СГ;
- гидравлическое разрушение руды и ее доставка (гидроразрыв продуктивного массива напорными струями воды);
- подъем на поверхность горных пород (самотечное или принудительное транспортирование разрушенной руды).

Эти технологические процессы тесно взаимосвязаны между собой и в своей совокупности представляют решение сложной задачи – совмещение разноструктурных процессов в единый технологический цикл добычи полезных ископаемых через скважины с учетом различных горно-геологических требований к процессу гидродобычи.

Одним из важных звеньев технологической цепи является процесс гидроразмыва (гидроразрушения) руды. Максимально возможную производительность добычи через скважины определяет именно этот процесс.

Технология скважинной гидродобычи работает уже не одно десятилетие. Её привлекательность состоит в том, что для добычи полезных ископаемых не требуется создания карьеров или проведения дорогостоящих и опасных для людей подземных горных работ.

Основные преимущества СГД: низкие капитальные вложения при отработке глубокозалегающих пластов, возможность применения мобильного и автономного скважинного гидродобычного комплекса, использование серийного технологического оборудования (буровые станки, насосы, компрессоры с электрическим и дизельным приводом), более высокий уровень безопасности при производстве горных работ.

Сырьевой базой для СГД являются месторождения, представленные легко разрушаемыми породами, к которым относятся осадочные месторождения строительных и стекольных песков, золота, алмазов, олова, титана, фосфоритов, урана, мягкие бокситовые и марганцевые руды, зоны выветривания железистых кварцитов, месторождения угля и битуминозных песчаников и т.п.

В отличие от открытого и подземного способов, мобильные комплексы СГД обеспечат рентабельную добычу даже на небольших погребенных россыпях.

Все это говорит об актуальности создания эффективной технологии скважинной гидродобычи полезных ископаемых из россыпных месторождений.

Развитие технологии СГД неразрывно связано с созданием скважинного добычного оборудования, обеспечивающего эффективность технологии выемки в конкретных горно-геологических условиях – эти два направления требуют дальнейшей совместной разработки.

Использование данной технологии возможно на одном из перспективных участков Ордынского месторождения Новосибирской области – Филипповском участке. Территория рассматриваемого месторождения представляет собой участок Приобской возвышенной равнины. Ордынский район многократно подвергался различным исследованиям. С открытием цирконий-ильменитовой россыпи минерально-сырьевая база Ордынского района расширилась.

С помощью поискового бурения было обнаружено, что протяженность россыпи составляет около 60 километров, общая площадь более 600 квадратных километров. Глубина залегания до 200 метров. Стоит обратить внимание, что представленным в работе способом, добыча на территории Новосибирской области не ведётся.

Данные исследования Филипповского участка подтвердили возможность получения ильменитового, рутилового, цирконового и кварц-полевошпатового концентратов методом СГД. В настоящий момент опытно-промышленные работы, а также работы по добыче рудных песков на участке не ведутся.

Наиболее близким к описанному участку, является способ скважинной гидродобычи полезных ископаемых, включающий бурение скважины, монтаж в ней скважинного снаряда, содержащего внешнюю и внутреннюю колонны труб, подачу воды из наземного водоема через скважинный снаряд в подземную камеру, подъем гидросмеси полезного ископаемого и гидротранспорт ее на карту намыва с возвратом в наземный водоем воды, отделяющейся от полезного ископаемого.

Анализируя опыт применения СГД полезных ископаемых, следует учитывать множество факторов: эффективность применения способа на россыпи, опираясь на содержание концентрата и его запасы, агрегатное состояние песков, мощность залегания слоя. Одно из наиболее важных – сопоставление технико-экономическое затрат. Технология скважинной гидродобычи максимально адаптирована к геологическим условиям и наносит минимальный вред окружающей среде.

Рассмотрим геоэкологические проблемы освоения месторождения методом СГД. Технология является безотходной и экологически приемлемой. Она позволяет избежать отчуждения значительных площадей на поверхности земли под промышленное строительство. По всем технико-экономическим показателям способ СГД значительно эффективнее традиционных способов добычи [1].

Воздействие СГД на воздушный бассейн, поверхность земли, почвенный покров, флору и фауну незначительное и ограничивается только территорией санитарно-защитной зоны. На подземные воды СГД оказывает среднее влияние, на недра (добычное пространство) – сильное.

Преимущества разработки методом СГД Ордынского месторождения Новосибирской области:

- скважинная гидродобыча позволит пересмотреть запасы как новых открытых месторождений, так и месторождений, на которых производится добыча;

- возможность обеспечения полностью механизированного процесса добычи;

- отсутствуют традиционные дорогостоящие работы для добычи (взрывные работы, экскавация и транспортировка вскрыши);

- отсутствие вскрышных пород позволит сохранить в целостности почвенный слой, а при разработке месторождения в затопленной камере – режим поверхностных и подземных вод;

- осуществление добычи независимо от обводненности и затопления месторождения;

- гидрозакладка позволит уменьшить размеры хвостохранилищ благодаря размещению отходов в отработанных скважинах.

Отрицательные стороны СГД:

- предполагаются проседание и провалы земной поверхности;

- возможно нарушение гидрологического режима некоторых рек, так как будет осуществляться сброс дренажных вод;

- вероятность изменения биоты на близлежащей территории.

Способ скважинной гидродобычи является наиболее приемлемым для обеспечения охраны окружающей среды и безопасности человека, так как данный метод исключает присутствие человека под землей, что обеспечивает комфортные условия труда для человека. Отсутствие вскрышных работ позволяет сохранить поверхностный слой почвы, что также дает возможность снизить затраты на рекультивацию. Воздействие на гидрологический режим рек, можно снизить благодаря введению оборотной системы водоснабжения. Создание системы мониторинга состояния недр и применение своевременных мер в местах добычи позволит снизить риск проседания и провалов земной поверхности. Область применения технологии скважинной гидродобычи должна расширяться.

В дальнейшем исследование технологии скважинной гидродобычи планируется продолжить с учетом специфики разработки россыпей в следующем порядке:

1. Выбор способа вскрытия месторождения и бурового оборудования.
2. Расчет параметров технологических процессов выемки.
3. Определение параметров работы скважинного гидродобычного агрегата (производительность, объем добычи и др.).
4. Выбор схемы обогащения и обогатительного оборудования.
5. Разработка схемы водоснабжения и энергоснабжения.
6. Определение видов работ, способов и порядок их выполнения.
7. Определение основные показатели работы предприятия (мощность, время отработки месторождения и извлечение полезного ископаемого).

Литература

1. *Аренс В.Ж., Исмагилов Б.В., Шпак Д.Н.* Скважинная гидродобыча твердых полезных ископаемых. – М.: Недра, 1980.
2. *Аренс В.Ж., Брюховецкий О.С., Хчян Г.Х.* Скважинная гидродобыча угля: учебное пособие. – М.: МГРА, 1995. – С. 7.
3. *Копысов С.Г.* Параметры экологически допустимой разработки Бакчарского железорудного месторождения // Геозкология. Инженерная геология. Гидрогеология. Геокриология. – 2011.
4. *Петин А.Н., Мининг С.С.* Минерально-сырьевые ресурсы и геолого-экономическая оценка месторождений полезных ископаемых. – Белгород: Изд-во БелГУ, 2005.
5. *Петин А.Н.* Скважинная гидродобыча – новый этап в промышленном освоении богатых железных руд КМА // Пути оптимизации взаимодействия общества и природы. – Грозный: Изд-во ЧГУ, 2009.
6. URL: <http://www.sphold.ru/mg.html>

ИНВАРИАНТЫ ФИЗИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ РАЗРУШЕНИЯ НЕОДНОРОДНЫХ ГОРНЫХ ПОРОД И МАССИВА ПРИ ДЕЙСТВИИ ОБЪЕМНОГО НАПРЯЖЕННОГО СОСТОЯНИЯ

Б.К. Норель¹, Ю.А. Боровков², В.А. Азаренко¹

¹ АО «ННЦ ГП ИГД им. А.А. Скочинского», МО, г. Люберцы, Октябрьский проспект, 411. E-mail: igds-azarenko@mail.ru

² Российский государственный геологоразведочный университет им. С. Орджоникидзе (МГРИ-РГГРУ)

Началом аналитического исследования, излагаемого в настоящем сообщении, является применение научных положений общей теории напряженного и деформированного состояния в материале сплошной среды [1]. Затем, при построении и использовании математических моделей инвариантов главных напряжений и главных деформаций [1], выполняются дополнительные включения математических соотношений для описания изменения механического состояния массива и обоснования механической модели энергетического критерия прочности неоднородных горных пород.

Логически целесообразным этапом научного исследования является обоснование параметров напряженного и деформированного состояния сплошной среды (в частности массива горных пород) и установление механических свойств материала при действии объемного напряженного состояния и составление на их основе уравнений получения физических и механических показателей механического состояния деформируемых твердых тел.

Механический процесс перераспределения объемного напряженного состояния протекает в зоне максимальных сжимающих напряжений и в зоне предельных состояний достаточно закономерно, поэтому целесообразно дать

пояснение протеканию механических стадий при различных соотношениях между главными напряжениями в основных видах объемных напряженных состояний.

На рис.1 представлено распределение объемного напряженного состояния в виде главных напряжений $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$ и изменение величины параметра Надаи [2], характеризующего различные виды объемных напряженных состояний.

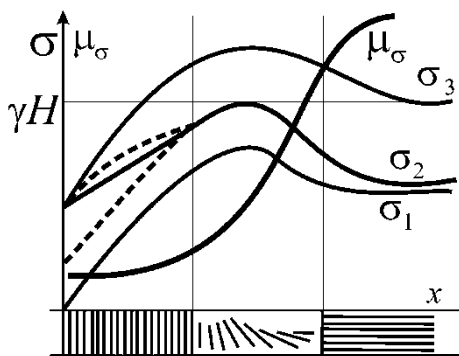


Рис. 1. Характер изменения трех главных напряжений и параметра Надаи в пласте полезного ископаемого в массиве впереди очистного забоя

При проведении горных выработок массив горных пород располагается в первой зоне объемного напряженного состояния. Обычно эта зона классифицируется в механике горных пород как зона геостатического сжатия, где формируется объемное напряженное состояние с соотношениями между главными напряжениями вида $\sigma_1 = \sigma_2 \geq \sigma_3$. Согласно теории Надаи этот вид объемного напряженного состояния относится к обобщенному сжатию, так как $\mu_G = +1$. Во второй допредельной зоне главные напряжения постепенно достигают своих максимальных сжимающих значений. При этом максимальное сжимающее напряжение σ_3 достигает своего максимального значения наиболее интенсивно, а минимальное сжимающее напряжение σ_1 возрастает значительно медленнее (рис. 1). Промежуточное главное напряжение σ_2 , принимает значение, примерно равное $\sigma_2 = \frac{1}{2(\sigma_1 + \sigma_3)}$. При значениях трех

главных напряжений $\sigma_1, \sigma_2 = \frac{1}{2(\sigma_1 + \sigma_3)}$, σ_3 , величина параметра Надаи

вычисляется по формуле (6) и принимает значение равное нулю. Этот вид объемного напряженного состояния относится к обобщенному сдвигу, так как $\mu_G = 0$. Третья зона горных пород массива вблизи горной выработки для достаточно нарушенных горных пород характеризуется физическим состоянием доразрушения, в которой, вследствие влияния выработки, могут сфор-

мировываться трещины, похожие по форме существующей выработки впереди забоя, а три главных напряжения теряют свою способность к сопротивлению действующим нагрузкам по всем трем направлениям воздействия. В этой зоне величина максимального сжимающего напряжения уменьшается до величины промежуточного главного напряжения, а величина главного минимального сжимающего напряжения стремится к нулю. В этой зоне нагружения формируется объемное напряженное состояние со следующими соотношениями между главными напряжениями $\sigma_3 = \sigma_2$; $\sigma_1 \approx 0$. Этот вид объемного напряженного состояния относится к обобщенному растяжению, так как $\mu_G = -1$. В этой зоне реализуется значительная величина максимальной растягивающей деформации ε_1 .

Исследования по выбору и определению главных напряжений объемного напряженного состояния и параметров изменения механического состояния породного массива в математических моделях деформируемых твердых тел осуществляются следующим образом [3,4].

Вначале выбираются исходные данные компонентов полного поля напряжений при действии объемного напряженного состояния и компоненты полного поля деформаций при действии объемного деформированного состояния.

Компоненты тензора напряжений состоят из девяти напряжений объемного напряженного состояния, действующего по трем взаимно перпендикулярным осям координат x, y, z , и, кроме того, комбинация касательных напряжений в этом тензоре напряжений является симметричной относительно главной диагонали тензора осевых напряжений.

Написание тензора напряжений для объемного напряженного состояния среды представляется следующим образом:

$$T_G = \begin{bmatrix} \sigma_x & \tau_{xy} & \tau_{xz} \\ \tau_{yx} & \sigma_y & \tau_{yz} \\ \tau_{zx} & \tau_{zy} & \sigma_z \end{bmatrix}, \quad (1)$$

где T_G – тензор компонент напряжений объемного напряженного состояния массива горных пород. При этом $\tau_{xy} = \tau_{yx}, \tau_{xz} = \tau_{zx}, \tau_{yz} = \tau_{zy}$.

Таким же образом составляется тензор деформаций для соответствующего поля деформаций. Из переменных компонент объемного напряженного состояния, записанного в тензоре (1) для поля напряжений, составляется математическая модель определения компонент главных напряжений $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$, расположенных в главных координатных осях, а математические операции состоят из следующих действий. Выбирается так называемый шаровой тензор из компонент искомых величин объемного напряженного состояния σ в тензоре (2).

$$T_{SCH} = \begin{bmatrix} \sigma & 0 & 0 \\ 0 & \sigma & 0 \\ 0 & 0 & \sigma \end{bmatrix}. \quad (2)$$

Затем составляется система алгебраических уравнений, левая часть которых представляет собой разность между компонентами тензора напряжений объемного напряженного состояния (1) и компонентами шарового тензора (2). Правая часть этой системы уравнений представляется в виде нулевого вектора третьего порядка.

Эта система уравнений служит для определения величин тензора главных напряжений, у которого отличными от нуля являются только компоненты напряжений по главной диагонали. Раскрывая определитель третьего порядка, составленный для этой системы тензорных уравнений

$$\begin{vmatrix} \sigma_x - \sigma & \tau_{xy} & \tau_{xz} \\ \tau_{yx} & \sigma_y - \sigma & \tau_{yz} \\ \tau_{zx} & \tau_{zy} & \sigma_z - \sigma \end{vmatrix} = 0, \quad (3)$$

получаем уравнение относительно переменной третьей степени искомого напряжения σ

$$\begin{aligned} \sigma^3 - \sigma^2(\sigma_x + \sigma_y + \sigma_z) + \sigma(\sigma_x\sigma_y + \sigma_y\sigma_z + \sigma_z\sigma_x - \tau_{xy}^2 - \tau_{yz}^2 - \tau_{zx}^2) - \\ - (\sigma_x\sigma_y\sigma_z + 2\tau_{xy}\tau_{yz}\tau_{zx} - \sigma_x\tau_{yz}^2 - \sigma_y\tau_{zx}^2 - \sigma_z\tau_{xy}^2) = 0. \end{aligned} \quad (4)$$

Корни уравнения (4) $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$ являются главными напряжениями, не зависят от положения осей координат, а поэтому и параметры I_1, I_2, I_3 в форме инвариантов, которые не зависят от осей координат, а определяются соотношениями главных напряжений в формулах (5) равны выражениям

$$I_1 = \sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3, \quad I_2 = \sigma_1\sigma_2 + \sigma_2\sigma_3 + \sigma_1\sigma_3, \quad I_3 = \sigma_1\sigma_2\sigma_3, \quad (5)$$

Три взаимно перпендикулярных направления осей координат образуют главные плоскости, на которых располагаются экстремальные значения главных напряжений. Эти напряжения являются нормальными, а компоненты величин касательных напряжений $\tau_{xy} = \tau_{yz} = \tau_{zx} = 0$, равны нулю. По таким же математическим операциям, согласно общей теории напряженного и деформированного состояния в элементе сплошной среды, составляются инварианты для главных деформаций:

$$\Delta_1 = \varepsilon_1 + \varepsilon_2 + \varepsilon_3, \quad \Delta_2 = \varepsilon_1\varepsilon_2 + \varepsilon_2\varepsilon_3 + \varepsilon_3\varepsilon_1, \quad \Delta_3 = \varepsilon_1\varepsilon_2\varepsilon_3, \quad (6)$$

Представленные три инварианта напряжений и три инварианта деформаций могут не отражать всех возможностей комбинаций из компонентов напряжений и компонентов из деформаций, которые также инвариантны к ортогональному преобразованию координат, если включают три главных напряжения или три главных деформации в форме однородных функций.

При реализации фиксирования деформаций, характеризующих механическое состояние деформируемого твердого тела в рамках общей теории на-

пряженного и деформированного состояния на элементарной площадке тела, зависимости между компонентами тензора главных напряжений и тензора главных деформаций определяются заданием трех уравнений состояния, выражающих три инварианта тензора главных напряжений и три инварианта тензора главных деформаций.

Аналитические исследования, выполненные Фроммом [6], добавляют в механическую модель среды соотношения вторых и третьих инвариантов главных напряжений и деформаций в форме отношений третьего и второго инвариантов главных напряжений и второго и третьего главных деформаций.

$$\begin{aligned} \bar{\mu} &= \frac{I'_3}{(2I'_2)^2}; & I'_2 &= \frac{1}{6} \cdot [(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_1 - \sigma_3)^2] \\ \bar{\Delta} &= \frac{\Psi'_3}{(2\Psi'_2)^2}; & I'_3 &= \frac{1}{27} \cdot [(2\sigma_1 - \sigma_2 - \sigma_3) \times (2\sigma_2 - \sigma_3 - \sigma_1) \times (2\sigma_3 - \sigma_1 - \sigma_2)] \\ & & \Psi'_2 &= \frac{1}{6} [(\varepsilon_1 - \varepsilon_2)^2 + (\varepsilon_2 - \varepsilon_3)^2 + (\varepsilon_3 - \varepsilon_1)^2] \\ & & \Psi'_3 &= \frac{1}{27} [(2\varepsilon_1 - \varepsilon_2 - \varepsilon_3) \times (2\varepsilon_2 - \varepsilon_3 - \varepsilon_1) \times (2\varepsilon_3 - \varepsilon_1 - \varepsilon_2)] \end{aligned} \quad (7)$$

Формулы (7) определяют форму тензоров для третьих инвариантов главных напряжений и главных деформаций и позволяют установить критерий подобия тензоров главных напряжений и главных деформаций в виде следующего равенства соотношений параметров Надаи для величин главных напряжений и главных деформаций в виде следующего равенства

$$\bar{\mu} = \bar{\Delta} \quad (8)$$

Это равенство представляет собой математическую модель критерия подобия.

Заключение

В статье излагается аналитическая схема определения нового комплекса параметров, определяющих изменение механического состояния породного массива вблизи горных выработок. Включение в полученный комплекс дополнительного параметра Надаи позволяет составить новые математические модели механического состояния массива и энергетического критерия прочности согласно разработкам Мора [5], Надаи [2], с учетом неоднородных свойств горных пород в объемном напряженном состоянии.

Дополнительные соотношения третьих инвариантов, включающие октаэдрические касательные напряжения и соответствующие октаэдрические деформации, позволяют составить новые критерии прочности, учитывающие энергетические и термодинамические показатели механической модели массива.

Литература

1. Безухов Н.И. Основы теории упругости, пластичности и ползучести. – М.: Высшая школа, 1961. – 538 с.
2. Надаи А. Пластичность и разрушение твердых тел. Т. 1. – М.: Мир, 1969. – 648 с.
3. Норель Б.К. Изменение механической прочности угольного пласта в массиве. – М.: Наука, 1983. – 127 с.
4. Норель Б.К., Боровков Ю. А. Прочность горных пород в объемном напряженном состоянии. 978-3-659-52217-8 LAMBERT Academic Publishing, 2013, 102 s .
5. Mohr O.,Z. VDI. 1900, 1524.
6. Fromm H. Ing. Arch 4,436, 1933.

ОЦЕНКА ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ И УСТОЙЧИВОСТИ БОРТОВ КАРЬЕРА КЛЮЧЕВСКОГО ЗОЛОТОРУДНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ

В.Е. Ольховатенко, Е.Г. Прянишников

Томский государственный архитектурно-строительный университет,
634003, Томская область, г. Томск, пл. Соляная, д. 2. E-mail: igg@tsuab.ru

Ключевское золоторудное месторождение является одним из крупнейших, разработка которого ведется открытым способом. К настоящему времени глубина действующего карьера достигла 160 м. В ближайшие годы планируется увеличение добычи руды за счет расширения и углубления карьера. На конечный период отработки карьера его глубина составит 475 м. Для обоснования проекта разработки месторождения на больших глубинах и обеспечения геоэкологической безопасности потребовалось проведение специальных исследований. В процессе исследований были детально изучены физико-механические свойства пород, характеристики которых приводятся в табл. 1.

По данным геологоразведочных работ Ключевское золоторудное месторождение является составной частью одноименного рудного поля, сложенного преимущественно интрузивно-субвулканическими и жильными образованиями юрского возраста: гранитами и гранодиоритами первой фазы амананского комплекса, прорванными штоками гранодиорит-порфиоров амуджикано-сретенского комплекса и дайками диоритовых порфиритов, гибридных порфиритов.

В разрезе Ключевского месторождения выделено 11 инженерно-геологических типов пород.

Гранит среднезернистый калишпатизированный пользуется довольно широким распространением и имеют мощность от 0,5 до 125,3 м. Плотность частиц пород колеблется в пределах 2,71-2,79 г/см³, средняя плотность составляет – 2,59 г/см³, а пористость 6,10%. Предел прочности на сжатие изме-

няется от 10,90 до 71,7 МПа, растяжение 2,7 – 14,40 МПа, среднее значение угла внутреннего трения 34° , а удельного сцепления 10,5 МПа.

Таблица 1

Характеристики физико-механических свойств пород

Инженерно-геологические типы пород	Физико-механические свойства						
	Плотность частиц, ρ_s , г/см ³	Плотность, ρ_b , г/см ³	Пористость, %	предел прочности на сжатие, $\sigma_{сж}$, МПа	предел прочности на растяжение, $\sigma_{р}$, МПа	Угол внутреннего трения, град	Удельное сцепление, МПа
Гранит ср/з. калишпатизированный	2,71-2,79	2,48-2,67	2,21-9,93	10,90-71,70	2,70-14,40	29-38	3,00-18,00
	2,74	2,59	6,10	38,58	7,82	34	10,0
Гранит ср/з биотит-роговообманковый калишпатизированный	2,73-2,75	2,57-2,62	4,76-6,57	28,20-71,70	4,92-8,14	35-38	7,00-8,00
	2,74	2,59	5,96	43,07	6,02	37	7,50
Гранит ср/з аргиллизированный	2,73-2,74	2,57-2,60	5,47-6,59	24,40-44,80	5,31-7,60	33-38	11,00-7,50
	2,74	2,59	6,03	34,60	6,46	36	9,25
Гранит ср/з хлоритизированный	2,73-2,90	2,53-2,74	5,86-7,69	14,34-90,30	2,84-14,60	31-38	4,00-22,00
	2,82	2,64	6,78	43,21	7,97	34	11,00
Гранодиорит-порфир м/з	2,73-2,78	2,57-2,72	2,93-5,09	28,20-82,80	5,58-15,40	28-38	8,00-22,00
	2,75	2,63	3,82	60,18	11,40	33	16,88
Гранодиорит-порфир м/з аргиллизированный	2,74-2,77	2,59-2,70	2,55-7,22	23,70-32,63	5,51-6,40	25-38	8,00
	2,76	2,65	4,89	28,17	5,96	32	8,00
Порфир м/з гибридный	2,73-2,83	2,60-2,72	3,66-5,13	24,20-58,10	5,24-12,10	33-37	13,00-15,00
	2,76	2,65	4,44	44,32	8,66	34	13,67
Микродиорит м/з	2,78-2,94	2,62-2,76	6,83-7,48	64,70-91,00	13,43-19,50	32-32	18,00-27,00
	2,86	2,69	7,16	77,85	16,47	32	22,5
Аргиллизит по ср/з граниту	2,72-2,74	2,47-2,57	6,25-10,58	20,50-23,80	4,08-6,50	30-32	6,00-7,50
	2,73	2,52	8,42	22,15	5,29	31	6,75
Брекчия эруптивная	2,72-2,86	2,47-2,64	3,68-14,33	25,50-63,20	4,25-14,50	30-36	7,00-18,00
	2,77	2,58	7,71	47,00	9,85	33	13,00
Березиты	2,72	2,63	4,04	32,90	6,28	34	9,00
	2,72	2,63	4,04	32,9	6,28	34	9

Гранит среднезернистый биотит-роговообманковый калишпатизированный. Характеризуется близкими значениями физических свойств с описанными выше гранитами, имея среднюю плотность частиц $2,74 \text{ г/см}^3$ и среднюю естественную плотность $2,59 \text{ г/см}^3$, в то же самое время оказалась ниже пористость, которая составляет в среднем $5,96\%$. Предел прочности на одноосное сжатие изменяется от $28,2$ до $71,7$ МПа при среднем значении $43,07$ МПа. Среднее значение угла внутреннего трения составляет 37° , а удельного сцепления $7,50$ МПа.

Гранит среднезернистый аргиллизированный по своим физическим свойствам мало отличается от предыдущих типов пород. Так, плотность изменяется от $2,57$ до $2,60 \text{ г/см}^3$, пористость в среднем составляет $6,03\%$. В то же время предел прочности на одноосное сжатие снижается, составляя $34,6$ МПа. Угол внутреннего трения колеблется в пределах $33-38^\circ$, а удельное сцепление составляет $7,5-11,0$ МПа при среднем значении $9,25$ МПа.

Гранит среднезернистый хлоритизированный имеет более высокое значение плотности по сравнению с другими типами пород, которое колеблется от $2,53$ до $2,74 \text{ г/см}^3$ при среднем значении $2,64 \text{ г/см}^3$. Предел прочности на одноосное сжатие изменяется в широких пределах от $14,34$ до $90,30$ МПа, составляет в среднем $43,21$ МПа. Угол внутреннего трения 34° , удельное сцепление $11,0$ МПа.

Гранодиорит-порфир мелкозернистый имеет самую низкую пористость $3,82\%$ и, как следствие, самые высокие прочностные показатели. Так, предел прочности на сжатие составляет в среднем $60,18$ МПа, на растяжение $11,40$ МПа, а удельное сцепление $16,88$ МПа.

Гранодиорит-порфир мелкозернистый аргиллизированный отличается более низкими значениями пористости ($4,89\%$), предела прочности на одноосное сжатие ($28,17$ МПа) и удельного сцепления ($8,0$ МПа). Угол внутреннего трения составляет $25-38^\circ$ при среднем значении 32° .

Порфир мелкозернистый гибридный характеризуется следующими показателями: плотность частиц колеблется в пределах $2,73 - 2,83 \text{ г/см}^3$, пористость в среднем составляет $4,44\%$, предел прочности на сжатие – $44,32$ МПа, угол внутреннего трения – 34° , а удельное сцепление – $13,67$ МПа.

Микродиорит мелкозернистый обладает довольно высокой прочностью, имея предел прочности на одноосное сжатие $77,85$ МПа, предел прочности на растяжение – $16,47$ МПа, угол внутреннего трения – 32° , а удельное сцепление – $22,5$ МПа.

Аргиллизит по среднезернистому граниту обладает самой низкой плотностью ($2,52 \text{ г/см}^3$), высокой пористостью – $8,42\%$, и самой низкой прочностью. Так, предел прочности на одноосное сжатие составляет $20,50 - 23,80$ МПа, среднее значение $22,15$ МПа; на растяжение – $4,08 - 6,50$ МПа, среднее – $5,29$ МПа. Как следствие, низкими оказались угол внутреннего трения (31°) и удельное сцепление $6,75$ МПа.

Брекчия эруптивная. Имеет среднее значение предела прочности на сжатие $47,0$ МПа, растяжение – $9,85$ МПа, угла внутреннего трения – 33° , удельного сцепления $13,0$ МПа.

Березит пользуется в разрезе незначительным распространением и имеет низкие значения прочностных характеристик. Так, предел прочности на одноосное сжатие составляет 32,9 МПа, растяжение 6,28 МПа, угол внутреннего трения – 34°, удельное сцепление – 9 МПа.

Из приведенной характеристики физико-механических свойств пород Ключевского золоторудного месторождения можно сделать вывод, что наиболее устойчивыми в бортах карьеров окажутся гранодиорит-порфиры мелкозернистые и микродиориты мелкозернистые. Менее устойчивыми будут аргиллизиты по среднезернистому граниту и гранодиорит-порфиры мелкозернистые аргиллизированные.

Расчеты устойчивости бортов карьера выполнены с использованием метода логарифмической спирали при наименьших благоприятных сочетаниях силовых воздействий, которые будут определять наиболее опасное напряженное состояние грунтового массива [1,2]. Результаты расчетов приведены в табл. 2.

Таблица 2

Расчеты устойчивости бортов карьеров

Профиль	Глубина карьера, м	Состояние бортов карьера						Рекомендуемый угол наклона бортов, град
		Устойчивое		Предельно-напряженное (критическое)		Неустойчивое		
		α , град	Kst	α , град	Kst	α , град	Kst	
600	440	50	1,21	60	1,0	>60	<1,0	50
700	450	45	1,24	55	1,0	>55	<1,0	46
Продольный профиль	475	40	1,35	53	1,0	>53	<1,0	44

Из приведенных данных видно, что полученные расчетом коэффициенты устойчивости с использованием результатов изучения физико-механических свойств пород превышают нормативные значения.

При этом с обеспеченной устойчивостью будут борта карьера с параметрами: $\alpha = 50^\circ$, $H = 440$ м (профиль 600); $\alpha = 45^\circ$, $H = 450$ м (профиль 700); $\alpha = 40^\circ$, $H = 475$ м (продольный профиль).

Предельно-напряженное (критическое) состояние бортов будет наблюдаться при углах наклона $\alpha = 60^\circ$ (профиль 600); $\alpha = 55^\circ$ (профиль 700) и $\alpha = 53^\circ$ (продольный профиль). Коэффициент устойчивости в данном случае равен 1,0.

Неустойчивыми окажутся борта карьера, если углы наклона будут превышать критические значения, а коэффициент устойчивости окажется меньше 1,0. Рекомендуемые углы наклона бортов приведены в табл. 2.

С целью исключения нарушения динамического равновесия в эксплуатации природно-технической системы при разработке открытым способом

Ключевского золоторудного месторождения необходимо организовать мониторинг за напряженно-деформированным состоянием горных пород в бортах карьера и развитием опасных геологических процессов.

Литература

1. Дашко Р.Э. Механика горных пород. – М.: Недра, 1987. – 264 с.
2. Рекомендации по количественной оценке устойчивости оползневых склонов / ПНИИИС Госстроя СССР. – М.: Стройиздат, 1984. – 85 с.

ПРОЧНОСТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ГРУНТОВ ЗОНЫ СМЕЩЕНИЯ ОПОЛЗНЕЙ

Н.Ф. Петров, И.В. Никонорова, Н. А. Прокопьева

ФГБОУ ВПО «Чувашский государственный университет им. И.Н. Ульянова»,
г. Чебоксары, Московский пр., 15. E-mail: petrovnf@gmail.com, niko-inna@yandex.ru

Перед изыскателями всегда стоит одна общая задача – определение инженерно-геологических (ИГ) условий строительства, а на оползневых склонах, прежде всего, – оценка устойчивости и разработка рекомендаций по ее повышению. Данная цель достигается решением трех задач: 1) составление расчетной модели; 2) определение расчетных параметров грунтов зоны смещения; 3) выбор метода расчета устойчивости.

Пути решения этих задач различные. На практике сложились геотехническое и геологическое направления. В нашей практике преобладает геологическое. Следовательно, расчетные модели составляются с учетом строения оползневой системы, ее структуры и связей между элементами. Но именно это условие редко выполняется большинством специалистов. Что же касается расчетных параметров грунтов оползневых склонов, то они должны корректироваться обратными расчетами, соответствующими предельному состоянию склонов.

Суть геотехнического подхода и его ограниченность еще 60 лет назад были отмечены К. Терцаги на IV-м Международном Конгрессе (Лондон, 1957): «Те из Вас, кто мало или совсем не сталкивался с оползнями на природных склонах, может быть настроен вполне оптимистически, чтобы подумать, что вопрос об установлении степени устойчивости таких склонов является существенно зависимым лишь от степени отбора образцов из толщи, а также методов исследования грунтов и расчета (курсив наш). Во многих случаях оказывается невозможным оценить степень устойчивости склона в оползневом отношении раньше, чем произойдет сам оползень».

Таким образом, К. Терцаги, обратив внимание коллег на ненадежность применяемой методологии в оценке устойчивости склонов, не указал ни на причины создавшегося положения, ни на пути выхода из него. Это удалось выполнить М. Гольдштейну (1971): «многим казалось, что только чисто математические трудности сдерживают прогресс механики грунтов... Однако практика вскоре показала всю необоснованность подобных надежд, заставив обратить особое внимание на развитие инженерной геологии». Но эти предупреждения корифеев геотехники не были услышаны, и современная практика проектно-изыскательских работ осталась примерно на том же уровне [3]. В результате, большинство специалистов уверено, что для получения положительных результатов достаточно, если: 1) склон будет разбурен (но до сих пор не ясны критерии полноты изученности разреза); 2) будет отобрано необходимое количество монолитов (но никто не знает степень их представительности для массива); 3) если будут качественно выполнены лабораторные работы (но существующие критерии оценки качества крайне субъективны); 4) если расчеты будут выполнены сертифицированными программами (но в вопросе выбора методов расчета столько же мнений, сколько самих методов). Этот геотехнический подход господствует в практике научных и проектно-изыскательских работ и закреплён в нормативных документах. Поэтому на фоне господства этой методологии причины аварийных ситуаций и неудачных опытов освоения склонов объясняют не недостатками самой методологии, а (по Терцаги) «либо недостатком объемов и качества ИГ информации»..., либо «недостатками в технике и методике отбора образцов и их испытаний».

В нашем распоряжении достаточно примеров, красноречиво свидетельствующих о том, что ни объемы горно-буровых работ (Федеральная дорога М-7, р. Сура) ни количество и качество лабораторных исследований (МГУ, Е.А.Вознесенский) не могут решить корректно проблему устойчивости, если не решен главный вопрос – соответствие расчетной модели фактическому генетическому типу и строению оползня, его механизму.

Что же касается 3-й задачи (метода расчета устойчивости), то уже с конца 1970-х годов нас вполне удовлетворили работы Н. Маслова, М. Гольдштейна [2], доказавшие, что существующие количественные методы оценки устойчивости, независимо от степени их точности, строгости (как приближенные, так и «точные») дают почти одинаковые или близкие результаты, вполне достаточные для проектирования надежных ПОМ. Действительно, многочисленные исследования Н. Маслова и его учеников, в частности аспиранта МАДИ Нгуен Чап, подтвердили ранее высказанное О.К. Фрëлихом, И.В. Фëдоровым и др. положение «о малой разнице в конечных результатах расчетов» как приближенными, так и «уточненными» методами. В результате выяснилась «возможность и допустимость в пределах обычной точности решения оползневых задач использовать с практически равным успехом любые из известных расчетных методов как более или менее «приближенных», так и теоретически более «точных» (Н. Маслов, 1971 г.).

Мы выбрали метод «прислоненного откоса», преимущества которого убедительно проанализированы И.О. Тихвинским (1987). Данный метод относится к группе методов предельного равновесия и методика расчета не отличается от метода, описанного в рекомендациях ОДМ 218.2.001.2010. Многочисленными исследованиями (О. Фрелих, И.В. Федоров, Н.Н. Маслов, Л.К. Гинзбург, И.О. Тихвинский) доказано, что точность прогнозов зависит не столько от метода расчета, сколько от качества расчетной модели, ее соответствия реальному механизму, и от точности расчетных характеристик грунтов.

Определение расчетных параметров грунтов зоны смещения

Данная проблема ярко высветилась в связи с дискуссиями в системе Росавтодор по установлению причин деформации дорожного полотна на Сурском участке федеральной автодороги М-7 «Волга» в июле 2012 г. Все специалисты, привлеченные к дискуссии, были единодушны в его оползневом характере, незначительно различаясь в трактовке роли подземных вод, в оценке масштабов явления, в его механизме и др. Однако, противоположного мнения придерживались организации Росавтодора, задерживая принятие обоснованных проектных решений по продолжению строительства дороги, которая не сдана в эксплуатацию до сих пор. Для окончательного решения споров о различных причинах деформации в качестве арбитра был привлечен ООО «Геоцентр» МГУ. Ознакомившись с некоторыми результатами прежних изысканий, Вознесенский Е.А. [1] пришел к поспешному заключению, что «все выполненные ранее расчеты устойчивости склона вне зависимости от используемых моделей проведены на основе устаревших на сегодняшний день, либо недостоверных данных, или же неких допущений о свойствах грунтов в разных частях разреза, причем в некоторых случаях эти допущения совершенно не обоснованы». Однако, все физико-механические характеристики оползневых грунтов, полученные на новейшем лабораторном оборудовании привели к печальным результатам: даже активные оползни по этим данным оказались устойчивыми. Следует сказать, до начала работ МГУ нами были выполнены в 2012-2014 гг. и предоставлены заказчику ОАО «МОСТОТРЕСТ» 3 отчета по ИГ условиям проблемного участка дороги, анализам причин оползнеобразования, строения и механизма оползней и выводу по вариантам строительства автодороги и связанными с ними мероприятиями по устойчивости (при сохранении проектных отметок насыпи, при понижении отметок насыпи автодороги и эстакадный вариант). Результаты ООО «Геоцентр» по оценке устойчивости оползневых тел 1.1, 1.2, показаны в табл. 1 (3.1), 2 (3.2) и рис. 1 (3.5) (в скобках номер в первоисточнике). Для сопоставления результатов наших аналогичных работ с их данными приведена табл. 3.

Таблица 1 (3.1)

Результаты оценки устойчивости склона с заложением поверхности скольжения в районе верхней стенки срыва (ООО «Геоцентр»)

Вариант расчета. Метод.	М-П	Бишоп	Янбу
Естественное состояние	2,308	2,506	2,256

Таблица 2 (3.2)

Результаты оценки устойчивости тела 1.2 с заложением поверхности скольжения в районе верхней стенки срыва (ООО «Геоцентр»)

Вариант расчета. Метод.	М-П	Бишоп	Янбу
Естественное состояние	2,877	3,389	2,862

Таблица 3

Дорога М-7 «Волга», Сурский спуск. Результаты расчетов устойчивости дорожного полотна (ПК 37 – ПК 40), деформированного новыми оползнями (с 05.07.12)

Разрез	III-III (ПК 37+60)		IV-IV (ПК 38-20)	V-V (ПК 38+85)			VI-VI (ПК 39+70)	
	М-3-1 Отсеки 1 – 17	М-3-2 Отсеки 1 -17	М-4-1 Отсеки 1 – 18	М-5-1 Отсеки 6 – 14	М-5-2 Отсеки 6 – 21	М-5-3 Отсеки 1 – 21	М-6-1 Отсеки 5 – 20	М-6-2 Отсеки 1 – 20
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Отм. насыпи/ Вар-ты Ку	127,60м		131,30м	133,40м			137,70м	
1. По лабора- торным данным	10/10;15 /11	10/10;15 /11	10/10;	0/29;10/10; 15/11	15/11	10/10;15/1 1	10/10;	10/10;
	1,40	1,36	1,52	1,56	1,64	1,37	1,19	1,28
2. Об- ратный расчет	10/10;9/ 5	7/9	6/7	9/6	9/6	10/10;10/6	7/9	/8
	1,01	0,99	1,01	1,00	0,98	1,01	1,00	1,00
3. Про- ект. отм. и данные о прочн. с вари- анта 2	130,2м	130,2м	132,6м	135,2м	135,3м	135,3м	8/9	138,6 6/8 подсыпка
	1,03	1,01	0,94	0,88	0,88	0,92	1,04	0,97
4. Срезка на 2 м*	с/φ – 2		с/φ – 2	с/φ – 2	с/φ – 2	с/φ – 2		6/8 – 2
	1,01		1,15	1,27	1,27	1,12		1,07

1	2	3	4	5	6	7	8	9
5. Срезка на 4 м			c/φ – 4			срезка 3,0 м		
			1,35			1,18		
6. Доп (ополз. давл.)	ост. 10/11	1) 94,4 т/п.м. 2) система 40-54 т/п.м.	Доп= 48,7т/п.м. (с отпором)	Доп= 26,2т/п.м. (с отпором) Ку=1,2	Доп= 47,6т/п.м. (с отпором) Ку=1,2	Доп= 65,7т/п.м. (с отпором) Ку≈1,15		Доп= 51,86т/п.м. (с отпором) Ку=1,15

Практика показывает, что полученные в лабораториях сдвиговые характеристики грунтов часто не состоятельны, особенно для зон смещения, и дают Ку ст либо больше, либо меньше единицы.

Поэтому, после выполнения расчётов по лабораторным параметрам грунтов, как правило, приходится выполнять обратные расчеты для получения усредненных характеристик грунтов зоны смещения для двух состояний оползневого тела: 1) в момент отрыва и начала смещения (пиковые параметры прочности); 2) в момент остановки оползневого тела (остаточные параметры прочности). Эти данные, несмотря на их обобщенный характер незаменимы для проектирования ПОМ.

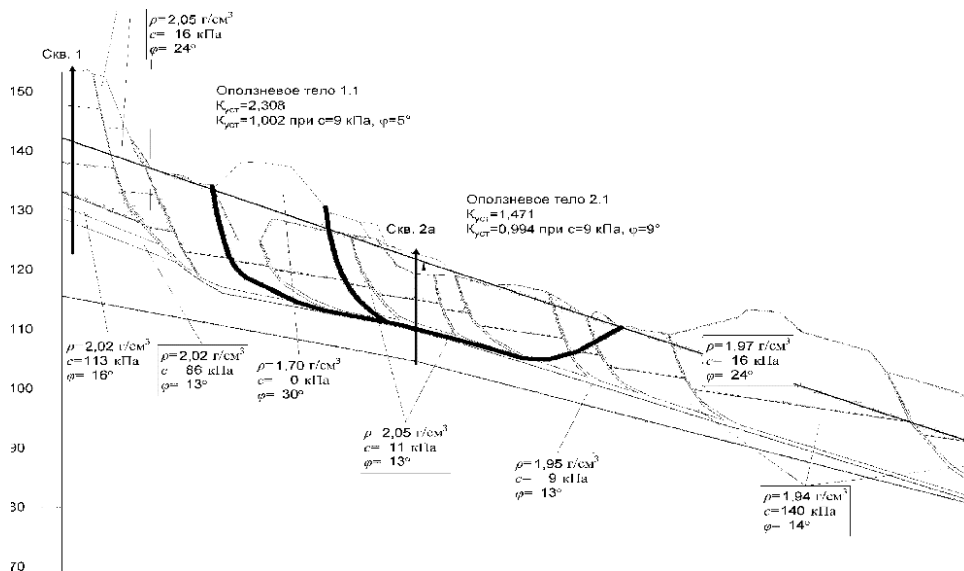


Рис. 1. Сводная расчетная схема для оценки устойчивости склона

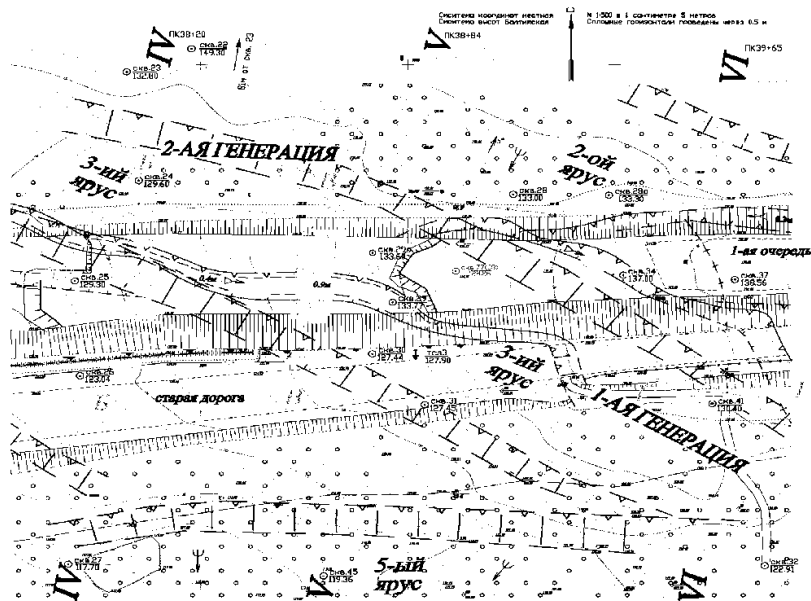


Рис. 2. Карта оползней (фрагмент а/д М-7 на р.Сура, ПК37+40 – ПК40)

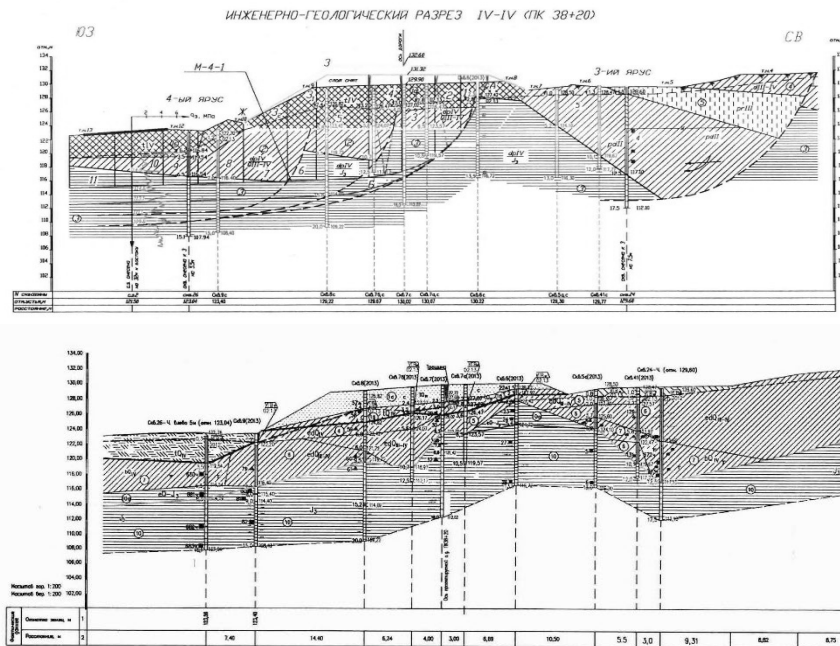


Рис. 3. Примеры геологически корректного (А) и некорректного (Б) разрезов на оползневом склоне (разрез IV-IV), составленные по одним и тем же данным бурения: А – по данным геоморфологической съемки, составлены авторами; Б – без учета оползневого характера склона, составлено ОАО «ГипродорнНИИ», Саратов. филиал, 2013

На данное обстоятельство было обращено внимание крупнейшими проектировщиками ПОМ юга страны: В.М. Мишалов, К.Ш. Шадунц, которые все проекты составляли с учетом сдвиговых характеристик грунтов, полученных обратными расчётами.

Литература

1. *Вознесенский Е.А.* Отчет о дополнительных инженерно-геологических исследованиях и заключение об устойчивости оползневых тел на склоне с рекомендациями по выбору мер инженерной защиты и варианту устройства автодороги. Отчет о научно-исследовательской работе. Дополнительные инженерно-геологические исследования по диагностике и оценке устойчивости оползневого склона на объекте: «Строительство и реконструкция автомобильной дороги М-7 «Волга» Москва – Владимир – Нижний Новгород – Казань – Уфа. Строительство моста через реку Сура на км 582+300 автомобильной дороги М-7 «Волга» Москва – Владимир – Нижний Новгород – Казань – Уфа (2-ая очередь строительства), Чувашская республика. «01» октября 2015, г. Москва.
2. *Гольдштейн М.Н.* Механические свойства грунтов. – М.: Стройиздат, 1971. – 368 с.
3. *Пендин В.В.* Методология оценки и прогноза оползневой опасности / В.В. Пендин, И.К. Фоменко. – М.: ЛЕНАНД, 2015. – 320 с.

НОВАЯ ТЕХНОЛОГИЯ УКРЕПЛЕНИЯ МАССИВА ОТВАЛА И ПРЕДОТВРАЩЕНИЯ РАЗРУШИТЕЛЬНОГО ОПОЛЗНЯ

Г.П. Постоев, А.И. Казеев, В.Н. Кутергин

Институт геоэкологии им. Е. М. Сергеева РАН.
101000, Москва, Уланский пер. дом 13, стр. 2. www.geoenv.ru, opolzen@geoenv.ru

Обеспечение устойчивости откоса отвала обычно достигается террасированием откоса путём отсыпки отвальной массы ярусами с выдерживанием расчётного допустимого угла откоса [6–7]. При этом регламентируется очередность отсыпки уступов отвала, проведение мероприятий по организации стока поверхностных вод и дренированию обводнённых массивов. Возможно строительство удерживающих земляных сооружений (контрбанкетов, контрфорсов) в нижней части склона. Сложность обеспечения устойчивости отвала заключается также в том, что в связи с необходимым процессом уплотнения отсыпаемых масс допускаются деформации образуемых уступов, однако при этом необходимо своевременно выявить подготовку и не допустить наступление качественного перехода от деформаций уплотнения к смещениям массивов, способных перейти в опасное прогрессирующее обрушение. Известные защитные сооружения типа свайных ростверков, анкерных креплений могут иметь весьма ограниченное применение вследствие специфики объекта и технологии горных работ на нём.

Одним из наиболее перспективных направлений по повышению устойчивости отвала может быть использование его внутренних защитных ресурсов путём преобразования конфигурации откоса отвала по разработанной в ИГЭ РАН технологии оценки предельного состояния локальных участков массива и создания специальных очагов-врезов на основе соответствующих расчётов, в соответствии с научным обоснованием и техническими решениями, разработанными в ИГЭ РАН [1–5].

При некотором изгибе бровки уступа радиусом R предельное состояние массива описывается уравнением [5]:

$$\gamma \cdot Z_a - \sigma_{str} = \frac{\pi}{2} \gamma Z_{p,cr} \frac{1 + \frac{1}{R}}{1 - \frac{1}{R}}, \quad (1)$$

где γ_i – средний удельный вес грунтов, залегающих над i -м горизонтом в оползнеопасном коренном массиве (рис. 1); Z_{ai} – глубина до i -го горизонта в коренном массиве, $\sigma_{1a, i} = \gamma_i Z_{ai}$; $\sigma_{str, i}$ – структурная прочность грунта i -го горизонта коренного массива; $Z_{p, cr}$ – критическая (расчётная) глубина до потенциально деформирующегося i -го горизонта в массиве склоновых отложений, пригружающих исследуемую часть массива ($\sigma_{1pi} = \gamma_i Z_{pi}$ – вертикальная фактическая нагрузка на i -ый горизонт); а и р – индексы, характеризующие соответственно зоны формирования активного и относительно пассивного горизонтальных давлений на i -ом горизонте. $1/R$ численно равно кривизне изгиба бровки рассматриваемого уступа (рис. 2).

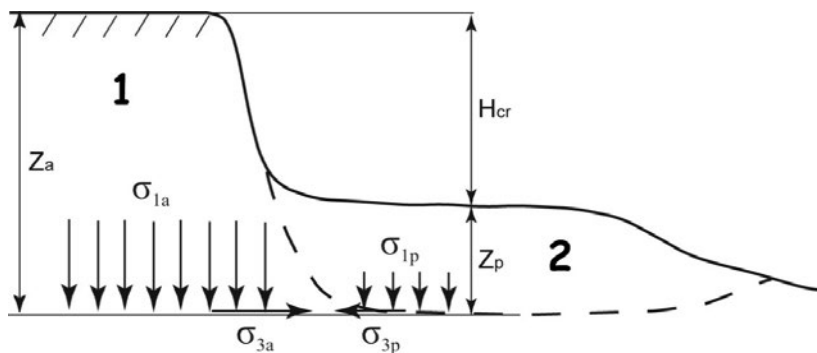


Рис. 1. Схема к оценке состояния грунта горизонта массива на глубине Z_a :
 1 – исследуемый массив-1 (активная зона); 2 – массив-2 склоновых отложений, примыкающий к массиву-1 снизу (пассивная зона); σ_{1a} и σ_{3a} – соответственно главные вертикальное (от веса вышележащих масс уступа) и горизонтальное (распор-напор в сторону склона) активные напряжения в уступе на глубине Z_a ; σ_{1p} и σ_{3p} – соответственно главные вертикальное (от веса вышележащих масс в основании уступа) и горизонтальное (отпор активному давлению σ_{3a}) напряжения в массиве пригрузки

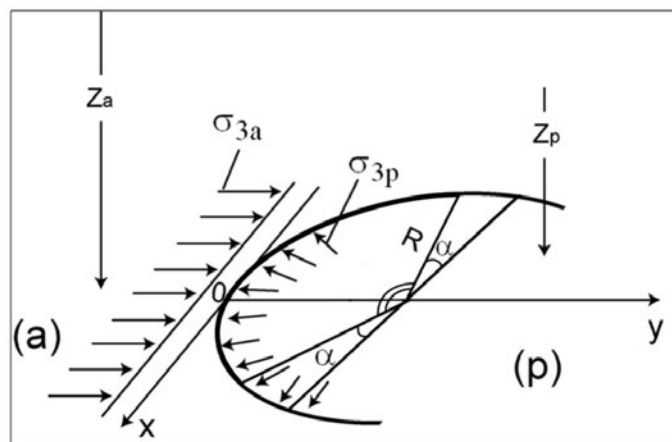


Рис. 2. Расчетная схема к выводу уравнения предельного состояния грунтового массива на горизонте глубины Z_a в локальном очаге радиусом R

Из выражения (1) следует, что с вогнутой в направлении ожидаемого смещения бровкой уступа его устойчивость увеличивается (влияние множителя $(1+1/R)/(1-1/R)$ и локального эффекта, связанного с переориентацией сдвигающих сил). Влияние указанного множителя учтено в патенте на изобретение РФ №2413056 [3].

Коэффициент устойчивости уступа (K), обуславливающий степень близости фактического состояния исследуемого массива (с возможным деформированием i -го горизонта) с предельным состоянием, определяется по выражению:

$$K = \sigma_{1\text{пиф}} / \sigma_{1\text{пер}}, \quad (2)$$

где $\sigma_{1\text{пиф}}$ – фактическое значение вертикального давления отложений откоса и нижней площадки (пригрузка), примыкающих к исследуемому коренному массиву (уступу): $\sigma_{1\text{пиф}} = \gamma_i \cdot Z_{pi}$; $\sigma_{1\text{пер}}$ – критическое (расчётное по разработанной процедуре [5]) значение вертикального давления на деформирующийся горизонт от веса склоновых отложений, примыкающих к исследуемому массиву, для которого определяется оценка устойчивости.

Создание искусственной, врезающей в массив уступа, выемки подобно эрозионному врезу, оврагу (по патенту на изобретение №2413056, Постолев Г.П., Казеев А.И. [3]), позволяет, за счёт изменения конфигурации уступов отвала (Рис.3), образовать искусственные очаги (вместо протяженных фронтальных откосов уступов), достигая при этом снижения активного давления массива уступа на его откос (т.е. уменьшение сдвигающих сил), в соответствии с уравнением равновесия (1), повышения сил сопротивления в основании откоса и дренирования бортов вреза, в частности, уменьшения негативного влияния подземных вод (снижения гидростатического и гидродинамического давлений).

До создания упомянутой выемки на i -ом горизонте массива уступа отвала активные горизонтальные напряжения распора-напора (сдвигающие силы) ориентированы нормально к проекции на рассматриваемую плоскость линейной бровки уступа (рис. 2). Выемка вызывает переориентацию активных горизонтальных напряжений по нормали к виртуальной силовой линии с предельным в рассматриваемых условиях радиусом R . Соответственно устойчивость массива в сечениях, определяемых углом β_i (рис. 3) различна, увеличиваясь к границам выемки (в четыре и более раз). В сечениях у оси (25% ширины выемки) – наиболее уязвимая часть выемки. Но и здесь устойчивость повышается в 1.1-1.15 раз (по сравнению с исходным состоянием). В целом в пределах выемки устойчивость повышается в 1.51 раз.

Если до создания врезающей выемки устойчивость уступа отвала с протяжённой бровкой была одинаковой во всех сечениях и предельное состояние могло возникнуть одновременно, то с образованием локальных участков-врезов повышается локальная устойчивость в каждом врезе в уступ. Кроме того размещение очагов-врезов на протяжении уступа позволяет устранить необходимое условие (снизить эффект) фронтальности для развития глубоких оползневых подвижек на широком фронте, разбивая массив отвала на отдельные части. Положительным фактором указанного укрепления является также дренирование бортов очага-вреза с изменением при этом исходного направления фильтрации грунтовых вод на ориентацию к тальвегу очага.

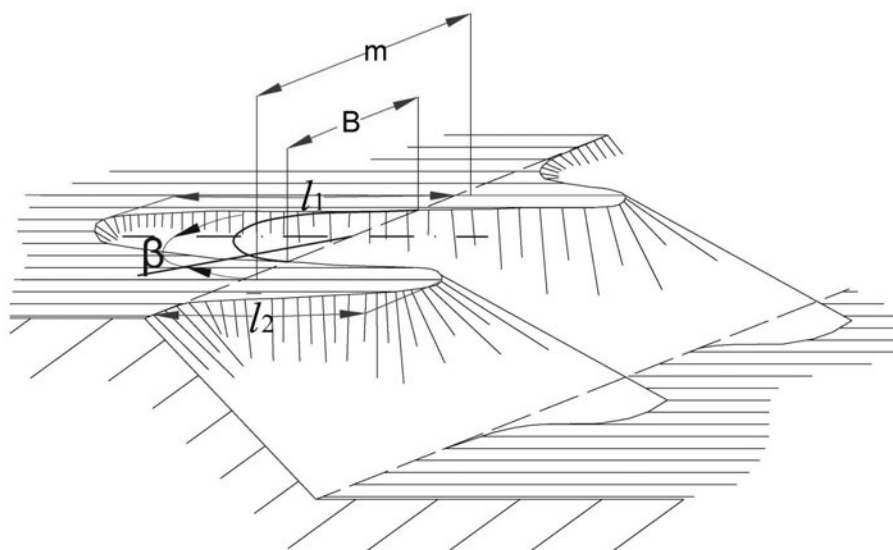


Рис. 3. Врез (очаг) уступа с контрфорсами у бортовых границ с показом виртуальной границы в поле напряжений (в виде полуокружности) и угла β_i между осью очага и направлением на i -тое сечение, в котором определяется значение локальной устойчивости

Предложено для устранения причин активизации оползневого процесса и повышения устойчивости откоса отвала предусмотреть создание земляных защитных сооружений в виде очагов-врезов в соответствии теоретическими разработками и техническими решениями ИГЭ РАН.

Составлена предварительная схема размещения очагов-врезов на северном участке откоса отвала, вне оползня 2015 г., где сохранились исходные ярусы откоса, и на участке прошедшего оползня, с учётом возможного положения проектируемых ярусов. В схеме предусматривается повышение устойчивости на данном этапе на отмеченных выше проблемных участках откоса, включающих верхнюю и нижнюю части, определяющих общее состояние откоса.

Предварительно принята ширина очага-вреза 80 м. При этом средний коэффициент повышения устойчивости в пределах очага-вреза составляет 1,5 (коэффициент увеличения по сравнению с исходным состоянием укрепляемого массива), а в центральной наиболее уязвимой части очага-вреза на длине 16-20 м локальный коэффициент повышения устойчивости составит 1,13.

В соответствии с расчётами на участке по протяжению укрепляемого яруса, находящегося между очагами-врезами, также повышается устойчивость в 1,11 раз в центральной его части на длине 20-25 м, а средний коэффициент также составит 1,5 (с увеличением ширины очага повышается протяжённость его уязвимой центральной части). Согласно проведённым расчётам предлагаемые защитные земляные сооружения в соответствии с предварительной схемой их размещения позволяют повысить устойчивость откоса до безопасного уровня. При осуществлении указанных защитных мероприятий требуется обязательное регулирование стока поверхностных и грунтовых вод и недопущение избыточного обводнения защитных земляных сооружений.

Литература

1. Патент на изобретение №2340729. Способ укрепления оползневого склона. 28.05.2007. // В.И. Осипов, Г.П. Постоев.
2. Патент на изобретение №2412305. Способ определения глубины заложения в оползнеопасном коренном массиве потенциально деформирующегося горизонта. 20.02.2011. Бюл. №5. / Г.П. Постоев, А.И. Казеев.
3. Патент на изобретение №2413056. Способ укрепления оползнеопасного массива склона. 27.02.2011. Бюл. №6. Г.П. Постоев, А.И. Казеев.
4. *Постоев Г.П., Казеев А.И.* Анализ мероприятий по защите склоновой территории от глубоких оползневых подвижек // Геоэкология. – 2013. – № 3. – С. 224-231.
5. *Постоев Г.П.* Предельное состояние и деформации грунтов в массиве (оползни, карстовые провалы, осадки грунтовых оснований). – М.; СПб.: Нестор-История, 2013. – 100 с.
6. Инструкция по наблюдению за деформациями бортов, откосов уступов и отвалов на разрезах и разработка мероприятий по обеспечению их устойчивости. – М.: ВНИМИ, 1971. – 123 с.
7. Правила обеспечения устойчивости откосов на угольных разрезах // ВНИМИ. – СПб.: Недра, 1998. – 114 с.

НОВЫЙ СПОСОБ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОСНОВНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ПРОЧНОСТИ ГРУНТОВ ПО ОДНОМУ ИСПЫТАНИЮ НА КОМПРЕССИОННОЕ СЖАТИЕ

Г.П. Постоев, А.И. Казеев, В.Н. Кутергин

Институт геоэкологии им. Е.М. Сергеева РАН
101000, Москва, Уланский пер. 13, стр. 2. www.geoenv.ru, opolzen@geoenv.ru

Изучение закономерностей поведения массивов горных пород на участках разработки месторождений полезных ископаемых, оценка устойчивости территорий и обеспечение безопасности ведения горных работ невозможно без детального изучения свойств грунтов, в частности, их основных характеристик, определяющих прочность и устойчивость горных массивов.

Известен способ определения механических свойств грунта по методу одноплоскостного среза с испытанием образцов ненарушенного сложения путем сдвига по фиксированной плоскости. Испытание заключается в сдвиге нижней части образца относительно его верхней части касательной нагрузкой при одновременном воздействии на образец нагрузки, нормальной к плоскости среза. Определяют предельное касательное напряжение, при котором происходит срез образца при заданном нормальном напряжении. Определение характеристик прочности ϕ и c производится путём испытаний как минимум трёх образцов исследуемого грунта.

Недостатками данного способа является необходимость подготовки не менее 3-х образцов грунта одного инженерно-геологического элемента. Это повышает стоимость определения механических свойств грунта, вызывает трудности в сохранении исходной структуры грунта в подготовленных образцах и единой технологии испытания.

Известен также способ определения механических свойств грунтов путём сжатия образца грунта в одометре с измерением осевого давления на образец грунта, с определением, в условиях невозможности боковых деформаций, параметров уплотнения образца грунта под сжимающей осевой нагрузкой [1].

Однако по данному способу испытания грунта не определяются характеристики его прочности, которые необходимы для расчётов несущей способности и деформируемости грунтов в основании сооружений и для прогноза проявления опасных геомеханических процессов, вызывающих нарушение равновесия и разрушительные деформации массивов.

В ИГЭ РАН разработан новый способ определения характеристик прочности грунта путём проведения компрессионного испытания образца грунта с измерением бокового давления, построения огибающей кругов Мора, определения величин сцепления, угла внутреннего трения и структурной прочности по результатам одного испытания.

Предлагаемый способ определения механических свойств грунта путём осевого сжатия образца в условиях невозможности бокового расширения с получением характеристик прочности (угла внутреннего трения, сцепления и структурной прочности на сжатие) грунта включает подготовку образца грунта, установку образца в обойму прибора, создание осевого давления на образец и проведение измерения параметров, характеризующих состояние образца грунта, причем для определения характеристик прочности грунта, в процессе роста осевого активного σ_{1i} давления производят измерение и бокового реактивного σ_{3i} давления при сжатии образца грунта для выявления величин осевого давления, превышающих структурную прочность. При этом контролируют изменение отношения m_i между приращениями бокового $\Delta\sigma_{3i}$ и осевого $\Delta\sigma_{1i}$ и при произвольном значении осевого давления $\sigma_{1,i}$, когда отношение $m_{i-2} = m_{i-1} = m_i = m = \text{const}$ испытание прекращают с определением:

$$\text{– угла внутреннего трения } \varphi = 2 \left(45 - \arctg \sqrt{\frac{\Delta\sigma_{3i}}{\Delta\sigma_{1i}}} \right),$$

– структурной прочности грунта, и

$$\text{– сцепления } c = \frac{\sigma_{\text{str}}}{2} \times \text{tg} \left(45 + \frac{\varphi}{2} \right),$$

где σ_{1i} , σ_{3i} – текущие значения давлений, а $\sigma_{1i} > \sigma_{\text{str}}$; m – коэффициент бокового давления грунта в предельном состоянии по Кулону-Мору при $\sigma_{1i} > \sigma_{\text{str}}$, $m = \text{tg}^2 (45 - \varphi/2)$.

Под прочностью грунтов понимается свойство сопротивляться разрушению или сопротивляться воздействию внешних сил без полного разрушения.

Условием прочности грунта по Кулону-Мору является выражение:

$$\frac{\sigma_1 - \sigma_3}{\sigma_1 + \sigma_3 + 2c \cdot \text{ctg} \varphi} = \sin \varphi, \quad (1)$$

где σ_1 и σ_3 – соответственно наибольшее и наименьшее главные напряжения, $\sigma_1 > \sigma_2 \geq \sigma_3$ (σ_2 – среднее главное напряжение, не учитываемое в данном условии), φ и c – эффективные значения угла внутреннего трения и сцепления грунта.

Выражение (1) нередко называют условием прочности грунта в образце или в точке массива с горизонтальной дневной поверхностью. Оно определяет, что предельные наибольшие сжимающие напряжения σ_1 , действующие на замкнутый элементарный объем грунта (образец), вызывают горизонтальные напряжения распора $\sigma_3 = \sigma_2$ на боковые границы элементарного объема. Предельные соотношения между σ_1 и σ_3 зависят от φ и c в соответствии с выражением (1).

По существу полагается, что сжатие грунта происходит при отсутствии поперечных деформаций (компрессионные испытания), т.е. в жесткой обойме с измерением реактивного бокового давления (распора) σ_3 .

Выражение (1) может быть записано также следующим образом [2]:

$$\frac{\sigma_3}{\sigma_1 - \sigma_{str}} = tg^2 (45 - \varphi/2), \quad (2)$$

где σ_{str} – структурная прочность грунта.

Физически структурная прочность грунта на сжатие соответствует предельному давлению, которое может выдержать структурный каркас грунта без разрушительных деформаций. Графически структурная прочность отсекается на оси абсцисс диаграммы Мора предельным кругом Мора, проходящим через начало координат, т.е., как и следует из выражения (2), при $\sigma_3=0$, $\sigma_1=\sigma_{str}$. При $\sigma_1 \leq \sigma_{str}$ прочность структурных связей сохраняется, а при $\sigma_1 = \sigma_{str}$ она полностью отобилизована.

Аналитически структурная прочность определяется в соответствии с формулой (2) через значения φ и c :

$$(\sigma_{str} = 2c \cdot tg (45 + \varphi/2)). \quad (3)$$

Экспериментально значение σ_{str} может быть получено из испытания грунта на одноосное сжатие – как предельное давление на образец грунта.

Таким образом, структурная прочность является важнейшей характеристикой грунта, определяющей сопротивление внешнему давлению структурных связей между частицами грунта, структурного каркаса.

В соответствии с (2) в предельном состоянии грунта в условиях невозможности боковых деформаций коэффициент бокового давления m , как отношение приращения бокового давления $\Delta\sigma_3$ к приращению осевого давления $\Delta\sigma_1$, равен:

$$m = tg^2 (45 - \varphi/2). \quad (4)$$

Под осевым давлением σ_1 , превышающим структурную прочность, грунт (в образце) раздавливается и возникает боковое распорное давление, которое в жесткой оболочке, препятствующей развитию поперечных деформаций, вызывает реактивное боковое давление σ_3 (в цилиндрическом образце $\sigma_3 = \sigma_2$).

Упомянутая жесткая оболочка, препятствуя поперечным деформациям грунта, осуществляет реактивное давление отпора, равное активному распорному давлению. Следует подчеркнуть, что если бы реактивное давление отпора отсутствовало, или было бы меньше давления распора, то последовало бы развитие поперечных и соответственно осевых деформаций образца грунта и последующее его разрушение.

На рис. 1 изображена принципиальная схема осевого сжатия образца грунта в условиях невозможности бокового расширения с измерением реактивного бокового давления.

На рис. 2 представлены результаты проведения испытания по схеме на рис.1 для приведённого ниже примера.

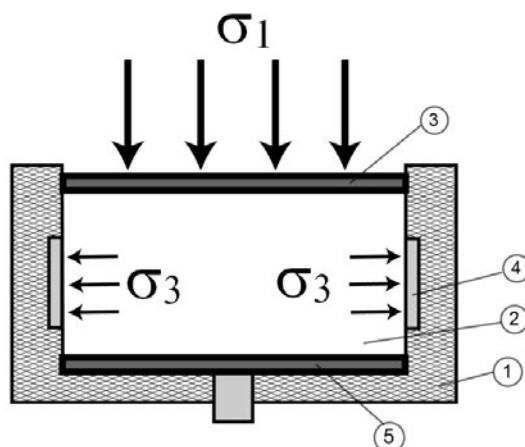


Рис. 1. Принципиальная схема осевого сжатия образца грунта в условиях невозможности бокового расширения с измерением реактивного бокового давления:

- 1 – корпус прибора; 2 – образец грунта; 3 – верхний перфорированный штамп;
4 – устройство для измерения реактивного бокового давления;
5 – нижний перфорированный штамп

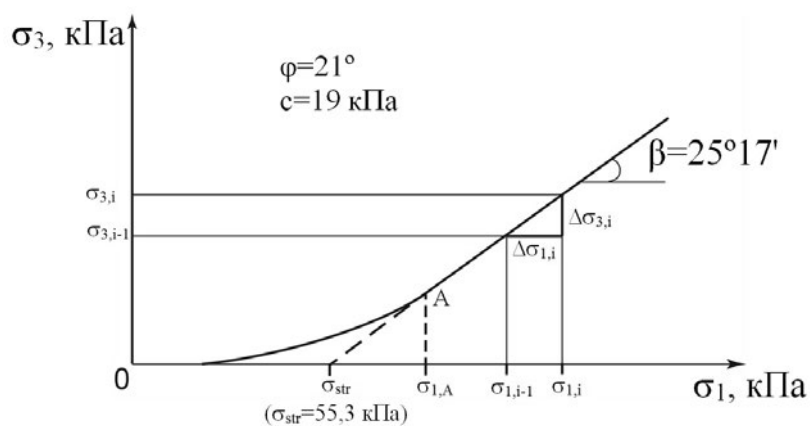


Рис. 2. Результаты проведения испытания по схеме на рис. 1 для приведённого ниже примера

Пример. В результате инженерно-геологических изысканий на строительной площадке были отобраны монолиты из выработок ИГС-2 и ИГС-4 для одного из инженерно-геологических элементов и проведены испытания на одноплоскостной срез (рис. 3). По пяти образцам получены значения угла внутреннего трения $\varphi=21^\circ$; $\operatorname{tg}\varphi=0,38$; $c=19$ кПа (в эффективных напряжениях).

На одном образце из выработки ИГС-4, изготовленном из монолита, отобранного с глубины 12,70-12,85м проведены компрессионные испытания в приборе, позволяющем контролировать боковое давление (см. рис.1). В результате сжатия образца грунта и измерения текущих значений σ_1 и σ_3 построен график зависимости $\sigma_3=f(\sigma_1)$ и выявлена часть графика при $\sigma_{1,i} > \sigma_{1,A}$, где зависимость линейная и отношение $\Delta\sigma_3/\Delta\sigma_1=\operatorname{const}=\operatorname{tg}\beta$.

Получено, что $\Delta\sigma_3/\Delta\sigma_1=m=0,4724$. Из равенства $m=\operatorname{tg}^2(45-\varphi/2)$ находим $\varphi=21^\circ$. Структурная прочность определена из выражения $\sigma_{str}=\sigma_{1,i}-\sigma_{3,i}/m$. По данным испытаний при $\sigma_1=70$ кПа $\sigma_3=6,95$ кПа. Отсюда получено, что $\sigma_{str}=55,3$ кПа. Сцепление c определяется по выражению $c=\sigma_{str}/2 \operatorname{tg}(45+\varphi/2)$. При $\varphi=21^\circ$ и $\sigma_{str}=55,3$ кПа получим $c=19$ кПа.

Таким образом, по сравнению с испытаниями на одноплоскостной срез, когда для определения характеристик прочности грунта потребовалось 5 образцов грунта с ненарушенной структурой, по предложенному способу [3] на одном образце получены искомые значения φ , c и σ_{str} .

Это позволяет значительно сократить расходы на производство лабораторных исследований для определения механических свойств грунтов, снизить трудозатраты, а также повысить достоверность определения характеристик прочности грунта, избегая неизбежных методических погрешностей, связанных с сохранностью природной структуры грунта, его состояния и обеспечением однородности образцов, отбираемых для исследуемого инженерно-геологического элемента грунта из выработок при инженерно- геологических изысканиях.

Литература

1. Лабораторные работы по грунтоведению. учеб. пособие / под ред. В.Т. Трофимова, В.А. Королёва. – М.: Высшая школа, 2008. – 519 с.
2. Постоев Г.П. Предельное состояние и деформации грунтов в массиве (оползни, карстовые провалы, осадки грунтовых оснований). – М.; СПб.: Нестор-История, 2013. – 100 с.
3. Способ определения механических свойств грунтов: пат. на изобр. 2600494 Рос. Федерация / Постоев Г.П., Казеев А.И., Кутергин В.Н.; опубл. 20.10.2016, бюлл. № 29.

4. ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ РАЗМЕЩЕНИЯ И УТИЛИЗАЦИИ ОТХОДОВ ГОРНОПРОМЫШЛЕННОГО КОМПЛЕКСА

ОЦЕНКА ГЕОЛОГО-ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ХВОСТОХРАНИЛИЩ И КРИТЕРИАЛЬНЫЕ ПРИЗНАКИ ПРОРЫВООПАСНОСТИ ИХ ПЛОТИН

Б.Д. Абдуллаев¹, М.М. Мирасланов², Б.И. Туляганов³

¹ ГП «Институт ГИДРОИНГЕО», 100041, г. Ташкент, ул. Олимлар, 64.
E-mail: hydrouz@inbox.uz; gidroingeo@exat.uz

² Государственная служба Республики Узбекистан по слежению за опасными геологическими процессами, г. Ташкент, 100041, г. Ташкент, ул. Олимлар, 64.
E-mail: gosslijbauz@inbox.uz.

В конце второго тысячелетия коэффициент полезного действия при добыче и переработке минерального сырья составлял 2-4%, т. е. из каждых 100 т добытого минерального сырья получали 2-4 т полезных продуктов на 96-98 т отходов. В начале третьего тысячелетия положение практически не изменилось. Ежегодно в окружающую среду выбрасываются миллиарды тонн отходов производства, десятки и сотни тысяч тонн металлургической пыли, клинкера, различных шламов и др. [1].

Решение проблем комплексного и полного использования минерального сырья сдерживалось и сдерживается разными причинами. Это имеющиеся резервы биосферы по восстановлению экологического равновесия в природе, наличие свободных земель для свалки и захоронения отходов и пока еще неиспользованные месторождения полезных ископаемых.

Установлено, что одним из очагов негативного воздействия на окружающую среду являются накопители твердых и жидких промышленных отходов. При этом хвостохранилища, шламонакопители и пруды-отстойники – многолетние постоянно действующие источники негативного воздействия на геологическую среду. Отметим, что одним из наиболее капиталоемких мероприятий при переработке полезных ископаемых является поддержание полезной емкости хвостохранилищ для складирования отходов производства. Актуален вопрос об их геолого-экологической и сейсмической безопасности, которая зависит от технологии поддержания полезной емкости хвостохрани-

лищ, возведения дамб и экранов из качественного материала, выбранного местоположения хвостового хозяйства, а также от способа возведения. По положению в рельефе местности различают следующие типы хвостохранилищ и гидроотвалов: овражные, равнинные, овражно-равнинные, пойменные, ко-согорные. По способу возведения хвостохранилища подразделяются на наливные, намывные и комбинированные. Наиболее экономичен намывной способ. Его недостатки: сложность возведения устойчивых дамб при высоком содержании глинистых частиц, недостаточная защищенность от пыления внешних откосов дамб и значительные фильтрационные потери.

На территории Республики Узбекистан расположено несколько десятков хвостохранилищ. Крупные хвостохранилища принадлежат Навоийскому ГМК [2] (ГМЗ-1, 1964 г., ГМЗ-2, 1969 г., ГМЗ-3, 1995 г., ГМЗ-4, 2010 г. и Марджанбулакский ЗИЦ 1980 г.); Алмалыкскому ГМК (МОФ, 1961-1980 гг., объединенное, 1970 г., новое хвостохранилище, 1985 г.). Кроме того, существуют десятки мелких хвостохранилищ. Они находятся на различных гипсометрических отметках, в разных инженерно-геологических условиях и приурочены к разным типам плотин. Некоторые из них эксплуатируются более 50 лет. За это время на откосах дамб хвостохранилищ произошли деформации разнообразных типов, которые при определенных условиях могут привести к прорывам дамб.

Наиболее важная характеристика материала дамб намывного способа возведения и хвостовых экранов – их гранулометрический состав, от которого в той или иной степени зависят остальные физико-механические и водно-физические характеристики. При возведении дамб выделяют три типа хвостовых материалов по диапазону их гранулометрического состава: а) безусловно пригодные для намыва; б) пригодные для намыва при условии точного соблюдения его параметров; в) нуждающиеся в обогащении для намыва.

Согласно нормативным документам, содержание глинистых частиц при намыве дамб и плотин не должно превышать 15-20%. Их присутствие резко ухудшает фильтрационные и физико-механические характеристики грунтов, намывных в тело плотины. При значительном содержании жидкой фазы в хвостохранилище возможно значительное водонасыщение пород ограждающих дамб и выклинивание вод из тела дамбы. В результате этого ослабевает упорная призма, что приводит к разрушению или прорыву дамбы.

Установлен ряд причин полного, частичного и начального разрушения плотин и перегораживающих земляных дамб различной высоты за последние 50 лет: недостаточная пропускная способность водосбросов – 28%; плохая конструкция замков вокруг водоотводящих сооружений, интенсивная фильтрация и эрозия под земляными сооружениями – 11%; недостаточная прочность тела сооружения 5% [3].

Интенсивная эксплуатация хвостохранилищ, шламонакопителей и прудков-отстойников нередко приводит к их разрушению или аварии земляных сооружений. Известны случаи прорыва дамб хвостохранилищ за последние 30 лет, которые привели к катастрофическим экологическим последстви-

ям. Насчитывается более 40 крупных прорывов дамб и плотин хвостохранилища, объем которых изменяется от 35 тыс. м³ до 6,8 млн. м³ [2].

Рассмотрим некоторые известные примеры катастрофического прорыва дамб хвостохранилищ, которые привели к масштабным экологическим последствиям. Минас-Жерайс (Бразилия) – 5 ноября 2015 г. произошел прорыв сразу двух дамб хвостохранилищ (Сантарем и Фундао) железорудного комплекса Германо. Тонны токсичной жидкой грязи обрушились на близлежащие населенные пункты, а селение Бенто-Родригес было практически похоронено под слоем шлама. Девятнадцать человек погибли, 250 получили ранения, более 20 числятся пропавшими без вести [4].

Поток токсичных отходов был настолько силен, что его следы прослеживаются на протяжении 440 км от дамбы. В зоне поражения оказались 11 муниципалитетов Бразилии. По предварительным оценкам уничтожено 10 мостов, 4,5 км улиц, 18,5 км дорог, 349 жилых домов, множество административных зданий и муниципальных учреждений. Свыше 630 местных жителей эвакуировано. Возник риск значительного ухудшения качества питьевой воды штата Минас-Жерайс и соседнего с ним Эспириту-Санту. [5]

По одной из версий, процесс разрушения дамб возник под воздействием сейсмической активности и сильных дождей. В дамбе образовалась течь, так как давление шлама на стенку крайне велико, малая трещина быстро расширилась, что привело к катастрофе. Разлившийся шлам крайне токсичен и прорыв дамбы может привести к экологической катастрофе в регионе.

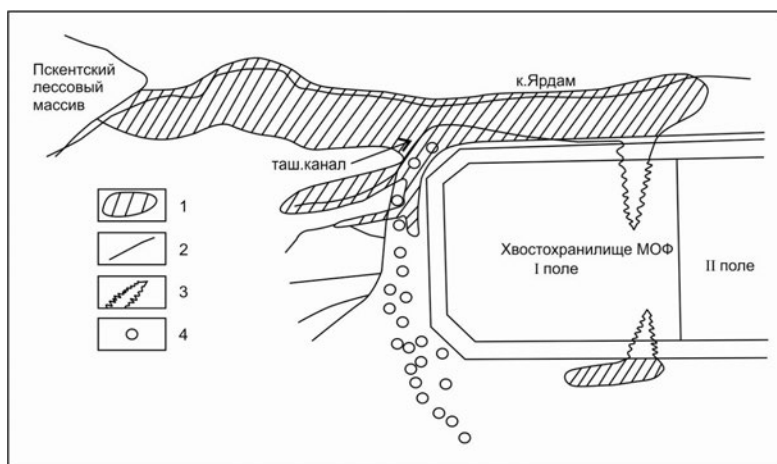


Рис. 1. Схема прорыва дамбы хвостохранилища МОФ:

- 1 – площадь затопления; 2 – граница затопления; 3 – участки прорыва дамбы;
4 – наблюдательные и перехватывающие скважины загрязненных вод

На хвостохранилище меднообогатительной фабрики (МОФ) Алмалыкского горно-металлургического комбината (АГМК) (Узбекистан) из-за нарушения регламентных работ 21.01.1983 г. произошел прорыв северной и юж-

ной дамб I очереди хвостохранилища МОФ АГМК (рис. 1) – 5-7 млн. м³ шлама, который затопил площадь ~ 2,5 км² вплоть до Пскентского лёссового массива. Максимальный прорыв произошел со стороны северной дамбы, где его ширина составила 50-70 м, высота – 60 м. Основная масса шлама гидросети по каналу Ярдам и Ташканалу ушла на значительное расстояние, существенно загрязнив эти водотоки и образовав мощный очаг загрязнения подземных вод.

В сейсмически опасных районах повышается риск прорыва хвостохранилищ с чрезвычайно тяжелыми последствиями. По данным Института сейсмологии АН РУз, насчитывается более десятка аварий плотин, вызванных сейсмическим фактором.

Таким образом, хвостохранилища – один из отрицательных объектов (источников), нарушающих экологическую обстановку территории. Контроль длительности их эксплуатации, степени ответственности сооружения, специфических свойств отходов, изменчивости эксплуатационных систем, находящихся в различных природно-геолого-геоморфологических условиях, оценка состояния (надежность) плотин и ограждающих дамб – главные задачи геологической службы. Указанные объекты обладают достаточной экологической опасностью, занимают значительные площади и являются источником выбросов токсичных веществ, загрязняя верхнюю зону аэрации и подземные воды, причем загрязнение распространяется на большое расстояние, иногда до сотни километров. Известно, что при прорыве дамбы жидкие и пастообразные массы распространяются до трехсот км.

По типам и способам возведения наземные хвостохранилища различны. Поэтому признаки, определяющие состояние (устойчивость) плотин, также различны. Исходя из этого, выявляются характеристики признаков возможных прорывов плотин соответствующих типов и способов укладки хвостов.

В основу выявления критериальных признаков заложены факторы и причины, определяющие состояние плотин, перегораживающих дамб, берегов чаши хвостохранилища и инженерно-геологические характеристики состояния в целом хвостовых сооружений.

На основе анализа литературных и фондовых материалов, посвященных деформациям, развивающимся в хвостохранилищах, фактических изыскательских работ по проектированию и реконструкции, а также на основании рекогносцировочного обследования наиболее крупных хвостохранилищ, расположенных в различных геолого-геоморфолого-климатических условиях, были определены факторы и причины деформаций: природные, инженерно-строительно-эксплуатационные и временные. Каждый фактор в зависимости от сферы действия способствует усилению или замедлению деформаций. Основные компоненты природных факторов: литологическое строение ложа и боковых граней плотин; наличие высокопластичных набухающих глин и песчаных грунтов, являющихся местами выхода фильтрационных вод, их состав и свойства, а также подземные воды, создающие гидростатическое и гидродинамическое давление и наличие экзогенных геологических процессов.

Инженерно-строительными факторами являются, главным образом, конструкции сооружений, способы возведения, состав возводимых материалов, их физические и механические свойства, а также соотношение твердой и жидкой фракций.

К эксплуатационным и временным факторам относятся график возведения плотин (их кольматация), наполнение чаши хвостохранилища, уровень каждой карты, а также график наблюдения за состоянием плотин, ограждающих дамб и по скважинам. Основные причины – потеря прочности при увлажнении, нарушение структуры при набухании глинистых грунтов, несоответствие твердой и жидкой фазы уложенных материалов и недостаточное уплотнение отсыпаемых грунтов, переполнение чаши хвостохранилища и переливание жидкости из одной разделительной карты в другую.

Расшифровка каждого из вышеуказанных факторов, степень его влияния на деформируемость, признаки возможных процессов в плотинах и, в целом, хвостохранилища описаны в базе данных инженерно-геологических характеристик комплекса хвостовых сооружений. На его основе разработана априорная модель, определяющая прорывоопасность плотин и мероприятий по минимизации возможного ущерба. Она разработана в табличной форме: в горизонтальной плоскости показаны основные критериальные характеристики, определяющие состояние хвостохранилищ, а в вертикальной – содержание каждого компонента. Модель состоит из четырех блоков: I – общие характеристики района размещения хвостохранилища с короткими описаниями; II – типы хвостохранилищ, параметры их берегов и ограждающей дамбы; III – инженерно-геологические характеристики и геометрия образовавшихся деформаций на берегах, плотинах и причиненный ущерб; IV – информация по основным мероприятиям о безопасности хвостохранилища и графические приложения.

Литература

1. *Аллаберганов Р.Д.* Фундаментальная и прикладная гидрометаллургия. – Т.: ГП «НИИМР», 2012. – 276 с.
2. *Кориунов А.А.* Оценка надежности дамб хвостохранилища на этапе ее эксплуатации с учетом реологических свойств грунтов основания // Геотехника Белоруссии: наука и практика: Тр. Междун. науч.-техн. конф. – Минск, 2013. – С. 58-68.
3. *Шарова О.А.* Типизация объектов захоронения промышленных отходов и стоков // Геология, география и глобальная энергия. – 2013. – № 2. – С. 120-123.
4. Прорыв дамбы в Бразилии. (Ib.ua/world/2015/11/06/320279_proriv_dambi_brazilii_15_pogibshih.html).
5. Бразилия: токсичные отходы попали в Атлантику. (ru.news.meta.ua/metka:samarco).

СОВРЕМЕННЫЕ ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ УГЛЕДОБЫВАЮЩИХ РЕГИОНОВ

В.В. Акулова, Н.И. Акулов, Е.В. Худоногова, М.Н. Рубцова

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

На юге Сибирской платформы сосредоточено большое количество месторождений каменного угля, которые сформировались в различные периоды ее развития. Отчетливо выделяется три этапа угленакопления: позднепалеозойский, мезозойский и кайнозойский. Мезозойская угленосная формация наиболее полно вскрыта в Иркутском угольном бассейне. Угленосными являются нижнеюрские отложения черемховской свиты, имеющие толщину до 300 м и содержащие до 46 пластов угля. Наиболее мощные пласты угля вскрыты на Черемховском месторождении, расположенном в 130 км к северо-западу от г. Иркутска. Здесь выявлено пять угольных пластов, три из которых имеют рабочую толщину. По данным А.С. Стругова (1974) все угли каменные, газовые, зольность 35,7%, содержание серы до 1,79%, высшая удельная теплота сгорания 7560–7700 ккал/кг, теплота сгорания рабочего топлива 3810–3920 ккал/кг. Разработка Черемховского месторождения осуществляется уже более ста лет (с 1896 г.). В 1978 г. была закрыта последняя шахта, с тех пор угледобыча ведется только открытым способом.

В процессе подземной разработки в течение нескольких десятилетий из горных выработок в угольные отвалы (терриконы) поступило значительное количество пустых вмещающих пород терригенно-угленосной юрской формации (песчаники, углистые алевролиты, аргиллиты), высокозольных и некондиционных углей, а также разнообразных бытовых и строительных отходов. Под воздействием экзогенных процессов на терриконах произошло отседочное блокирование, заложение и развитие трещин, формирование зон скольжения и оползней. Самовозгорание терриконов привело к спонтанному пирометаморфизму всей отвальной массы техногенно переотложенных пород. В процессе горения пород терриконы проседали и уменьшались в объеме. В результате в настоящее время в черте города Черемхово располагается восемь терриконов, состояние которых различное: одни являются потухшими, другие – тлеющими. В 90-х годах прошлого столетия при обследовании одного из тлеющих терриконов произошел взрыв, после чего местные жители стали называть их «бомбами замедленного действия».

Негативное воздействие угольных отвалов выражается в: 1) формировании техногенного рельефа (проседания земной поверхности над выработанным пространством, насыпные холмы; рис. 1а); 2) самовозгорании пород, сопровождающимся пылегазовыми выделениями (рис. 1б); 3) развитии процессов пиролиза (рис. 1в, г, д, е), определяющих загрязнение атмосферы, почв, поверхностных и подземных вод; 4) деформации поверхности отвалов

(уплотнение и оседание пород за счет выгорания, гравитационные и эрозионные процессы; рис. 1, ж, з).

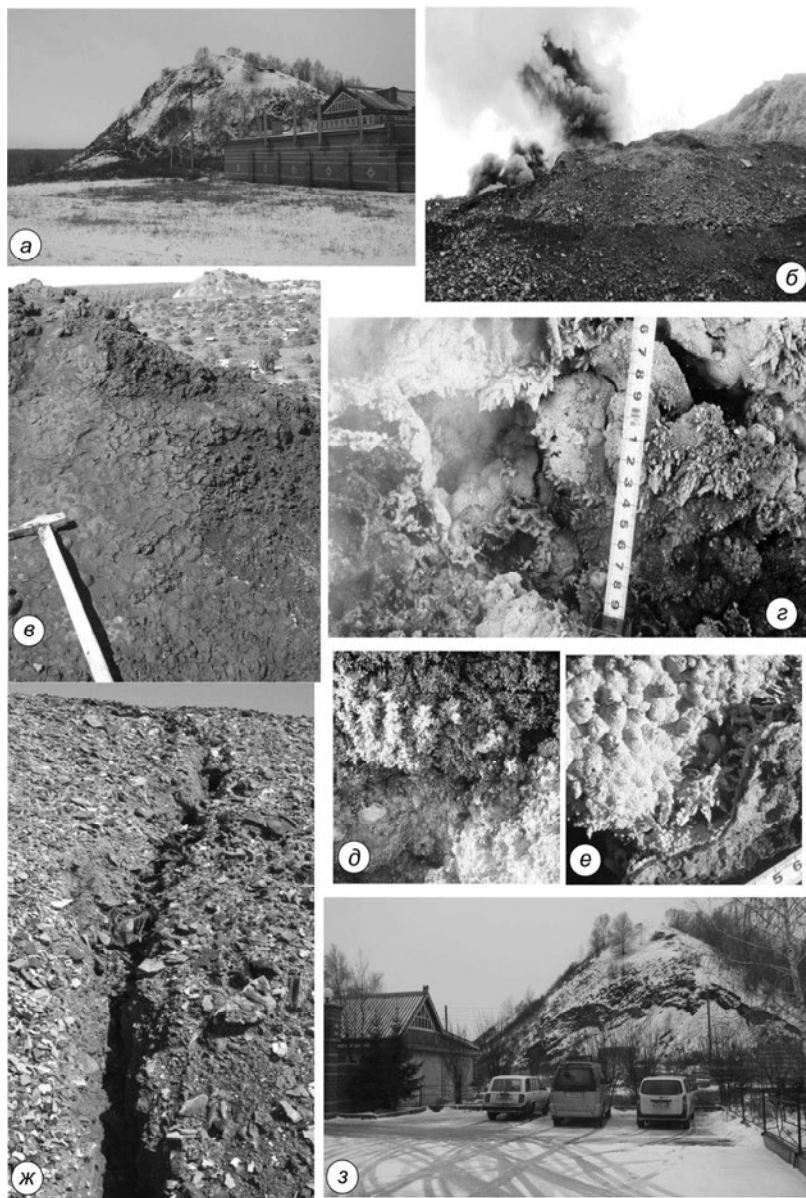


Рис. 1. Современное состояние терриконов в г. Черемхово:
a – внешний вид террикона; *б* – самовозгорание техногенно переотложенных угленосных пород; *в* – выходы пиролизных асфальтенов;
г, д, е – «царство» желтовато-зеленой серы; *ж* – трещины в гребневой части террикона; *з* – гравитационные процессы на поверхности террикона

С целью оценки современного состояния терриконов в г. Черемхово проведено их обследование и опробование слагающих пород. Для сопоставления характера загрязнения отложений опробованы природные образования и почвы прилегающих участков. В результате лабораторных исследований определен механический (гранулометрический анализ), химический (рентгенофлуоресцентный анализ – РФА) и минеральный (оптический и рентгеноструктурный анализы) состав техногенных образований. Применение РФА позволило получить данные по содержанию порообразующих оксидов (Fe_2O_3 (общ.), Al_2O_3 , MgO , CaO , SiO_2 , MnO , TiO_2 , Na_2O , K_2O , P_2O_5 , S (общ.)) и рассеянных (Cr, V, La, Ce, Nd, Pb, Ni, Zn, As, F, Cu, Sc, Cl, Ga, Co, Ba) элементов в отобранных пробах.

Объектом исследований являлись пирометаморфизованные породы терриконов. Это гетерофазные образования, состоящие из компонентов различной физико-химической природы. Они представлены пирогенными брекчиями и лавами (паралавами), шлаками, шлакозолами и различными силицитами (порцеланитами, яшмоидами) [3, 4].

Шахтные отвалы, состоящие из крупнообломочных угленосных пород, значительно возвышаются над поверхностью окружающей территории. Это способствует хорошей аэрации пород, а, следовательно, и окислительному обжигу. Участки террикона, подвергшиеся окислительному обжигу, всегда окрашены в красный цвет, вследствие интенсивного окисления железа и пропитки пород тонкодисперсным гематитом. В зонах аэрации происходит наиболее высокотемпературная проработка кластогенного материала (спекание, плавление), в результате чего возникают столбчатые тела сильно спаянных крупнообломочных красноцветных брекчий. По мере удаления от очаговой зоны располагаются брекчии, которые спаяны пирогенным стеклом и обладают более пористой текстурой из-за неплотной упаковки различных по размеру обломков горелых пород. Все многообразие пирогенных брекчий можно разделить по размеру обломков на следующие три типа:

1) крупнообломочные брекчии (обломки пород до 10 см и более), 2) брекчии (размер обломков пород 1-10 см) и 3) мелкообломочные брекчии (размер обломков пород от 1 мм до 1 см). Кроме того, здесь обнаружены небольшие по размерам (0.3 x 0.16 x 0.05 м) выплавки рудных линзовидных тел. Они представлены гематитовой рудой, содержащей включения гипса и незначительного количества α -кristобалита и плагиоклаза. Гематитовая руда имеет следующий основной состав (%): $\text{Fe}_2\text{O}_3+\text{FeO}$ (81.9); Al_2O_3 (1.87), MgO (0.27), CaO (0.11), SiO_2 (13.54), MnO (0.56), TiO_2 (0.039), Na_2O (0.058), K_2O (0.065), P_2O_5 (0.24); $\text{S}_{\text{общая}}$ (0.24). Из рассеянных элементов отмечаются повышенные концентрации кобальта (120 ppm) и хрома (170 ppm).

Важно отметить, что среди кирпично-красных продуктов окислительного обжига, очень часто встречаются белоснежно-белые и пепельно-серые образования порцелланита, обладающего высокой степенью гигроскопичности и сланцеватостью или листоватостью. Порцелланит – очень плотная фарфоровидная порода, которая состоит из кварца, муллита, полевого шпата и

небольшого количества гипса, арагонита и плагиоклаза. Черные точечные включения, отчетливо выделяющиеся на белой поверхности порцелланита, представлены гематитом. Порцелланит имеет следующий основной состав (%): SiO_2 (59.96), Al_2O_3 (33.07), K_2O (1.18), CaO (0.93), MgO (0.55), Na_2O (0.4), $\text{Fe}_2\text{O}_3+\text{FeO}$ (0.24); MnO (0.01), TiO_2 (0.15), P_2O_5 (0.058); $S_{\text{общая}}$ (0.68). Отмечаются повышенные содержания свинца (1100 ppm), бария (220 ppm), мышьяка (110 ppm) и галлия (130 ppm).

Часть горелых пород находится в рыхлом состоянии. Рыхлые крахмаловидные образования обычно представлены желтыми или розовыми шлакозолами. Желтоцветные шлакозолы – продукт низкой стадии обжига. Розовые шлакозолы характерны для среднетемпературной стадии обжига (до 800°C) в окислительной среде [5]. В небольших терриконах они, наряду с желтым шлакозолами, являются основным компонентом пироженно измененного комплекса пород. Формирование шлакозольных пород связано с низкотемпературным режимом горения. Рыхлая шлакозольная масса представлена (%): SiO_2 (71,53), Al_2O_3 (15,75), K_2O (1,04), CaO (2,53), MgO (2,6), Na_2O (0,17), $\text{Fe}_2\text{O}_3+\text{FeO}$ (5,04); MnO (0,03), TiO_2 (0,23), P_2O_5 (0,037); $S_{\text{общая}}$ (0,15). Наряду с низкими содержаниями Co, Cr, Pb, La, F, As, V, Ce, Nd, Ni, Zn, Cu, и Sc, она содержит повышенное количество только бария (190 ppm).

На поверхности терриконов обнаружены очаги пиролиза с высоким содержанием углеводов и серы [6]. Они приурочены к выходам фумарол. В шурфе, пройденном вдоль одного из фумарольных каналов до глубины 1,6 м, под светло-коричневыми маслянистыми образованиями вскрыта целая зона, представляющая собой «царство» желтовато-зеленой серы – друзы и щетки пирамидальной кристаллической серы и различные почковидные, сферолитовые и скрытокристаллические агрегаты (рис. 1в, г, д, е). Химический анализ пробы из верхней части шурфа показал, что она на 99,65% состоит из серы (общей), а в качестве примеси присутствуют Al_2O_3 – 0,35%; P_2O_5 – 0,02% и TiO_2 – 0,008%.

В завершении описания продуктов пиролиза и пирогенеза необходимо отметить, что основным процессом, приводящим к образованию горючих газов (водорода) на терриконах, является взаимодействие водяного пара с раскаленным углем. Иногда такое взаимодействие, вызванное ливневыми дождями, сопровождается взрывами и выбросом раскаленных продуктов пирогенеза за пределы террикона, что приводит к пожару расположенных вблизи строений. Именно по этой причине запрещено тушение горящих терриконов водой [2].

Существует несколько предположений о причинах самовозгорания угленосных отложений: 1) удары молний; 2) окисление угля; 3) биохимические процессы; 4) лесные пожары и другие. Мы придерживаемся точки зрения М.П. Зборщика и В.В. Осокина, которые считают, что самовозгорание угленосных отложений, и в частности терриконов, происходит в результате биохимических процессов [1]. Процессу самовозгорания углей способствует наличие в них аутигенного пирита (гипотеза разложения пирита в угленосных

породах вследствие экзотермической реакции дисульфида железа при участии влаги, тионовых бактерий и кислорода). Под воздействием тионовых бактерий в увлажненных условиях в кислой среде из пиритсодержащих углей происходит образование серы с выделением большого количества тепла. Растворенный углекислый газ является источником углерода для развития бактерий, а источником энергии для них являются процессы окисления железа и серы. При самонагревании угленосных пород свыше 100°C начинают активизироваться процессы метасоматоза и пиролиза, а при достижении температуры до 120°C сера начинает кипеть и ее пары совместно с парами воды начинают поступать в fumaroles. При нагреве пиролизных пород свыше 240°C пары серы при соединении с кислородом самовоспламеняются и совместно с многочисленными углеводородными продуктами пиролиза начинают активно гореть. Таким образом, биохимический процесс сменяется химическим – пирогенным.

В результате детального литогеохимического изучения техногенно-переотложенных угленосных отложений терриконов Черемховского угольного месторождения выявлены основные закономерности формирования продуктов пиролизного и пирогенного метаморфизма, определяющих степень геоэкологического риска загрязнения природной среды данной территории.

Литература

1. *Зборицкич М.П., Осокин В.В.* Горение пород угольных месторождений и их тушение. – Донецк: ДонНТУ, 2000. – 180 с.
2. *Меркулов В.А.* Охрана природы на угольных шахтах. – М.: Недра, 1981. – 184 с.
3. *Панов Б.С.* Техногенные месторождения Донбасса и Украины/ Эпигенетические изменения водовмещающих пород под действием техногенных факторов. – Донецк: ДонНТУ, 2004.– С. 3-7.
4. *Потапов С.С., Максимович Н.Г.* К минералогии горелых отвалов Кизеловского угольного бассейна (Пермский край) // Седьмые Всероссийские научные чтения памяти ильменского минералога В.О. Полякова. – Миасс, 2006. – С. 56-67.
5. *Сокол Э.В., Максимова Н.В., Нигматулина Е.Н., Шарыгин В.В., Калугин В.М.* Пирогенный метаморфизм. – Новосибирск: Изд. СО РАН, 2005. – 284 с.
6. *Чесноков Б.В.* Фундаментальные характеристики минерализации горелых отвалов Челябинского угольного бассейна // Минералогия техногенеза – Миасс: Изд-во Мин. УрО РАН, 2001. – С. 9-15.

ТЕХНОГЕННЫЕ МИНЕРАЛЬНЫЕ РЕСУРСЫ ЮЖНОГО УРАЛА

Р.М. Ахметов

ИГ УНЦ РАН, 450077, г. Уфа, ул. К. Маркса, 16/2. E-mail: hydro@ufaras.ru

По оценкам специалистов, в России накопилось более 80 млрд т отходов, при этом ежегодно образуется еще около 2,7 млрд т промышленных и 40 млн т твердых бытовых (ТБО). Более 90% промышленных отходов составляют хвосты добычи и обогащения полезных ископаемых. Между тем отходы производства и потребления являются одним из источников экономии первичного сырья и материалов. Средний уровень использования промышленных отходов составляет в России примерно 36%. В то же время уровень использования важнейших видов отходов в экономически развитых странах составляет 60–90%.

Горнопромышленный комплекс Южного Урала является одним из ключевых узлов горного производства РФ и включает черную и цветную металлургию, горно-химическую и угольную промышленность. В результате многолетней деятельности предприятий названного комплекса сформированы отвалы вскрыши месторождений и забалансовых руд (более 1,6 млрд т), металлургических шлаков (4 млн т), хвостов обогащения руд флотационных фабрик (более 100 млн т), отходов переработки горно-химического сырья (более 10 млн т), шламов углеобогащения и энергетических золошлаков (более 3 млн т), которые содержат 700 тыс. т меди, 1,5 млн т цинка, около 100 т золота, более 1900 т серебра, 2,5 млн т железа [3] и значительное количество других металлов, а также нерудного сырья (табл.).

Рост потребностей экономики в минеральном сырье, снижение содержания полезных компонентов в добываемых рудах, переход на разработку относительно бедных месторождений ведут к увеличению ежегодных объемов отходов горных работ и обогащения. Их размещение и хранение оказывает негативное экологическое воздействие на окружающую среду, нарушает естественные ландшафты, исключает из оборота значительные площади сельскохозяйственных земельных угодий.

В последние годы разработаны и внедряются в промышленность новые технологические процессы, такие как гидрохимическое, автоклавное и бактериальное вскрытие золотосодержащих сульфидных руд и концентратов; безцианидные способы гидрометаллургического извлечения цветных и драгоценных металлов; оригинальные и эффективные способы очистки промышленных и сточных вод и газов от токсичных компонентов. Создан ряд конструкций нового технологического оборудования, предназначенного для извлечения металлов из упорного сырья. Значительно усовершенствованы и традиционные способы металлургической переработки (окислительный обжиг, различные варианты плавки и др.).

Таблица

Состав внешних отвалов и хвостов флотации основных месторождений района исследований [1, 3]

Параметры	Сибай	Бурибай	Учалы
Характеристика отвалов			
Объемы, млн. т	517	4,9	280
Cu, %	0,1	0,7	0,05
Zn, %	0,4	0,12	0,12
Запасы (тыс. т): Cu	170	> 24	254
Zn	680	> 4	565
Характеристика хвостов флотации			
Объем, млн. т	27,66	6,9	40,8
Cu, %	0,20	0,47	0,30
Zn, %	0,5	0,23	0,61
Cd, %	0,02	0,0045	0,003
Запасы (т): Cu	56072,5	32394	120396
Zn	135348,8	15632,9	247389
Cd	2435,5	17,9	1163,73

Утилизация металлосодержащих отходов с применением высокоэффективных гидрометаллургических методов получения металла широко развита во многих странах. В США из ранее складированных окисленных и забалансовых руд производят меди ежегодно 200–300 тыс. т, в Замбии – 120–180 тыс. т. С использованием различных видов выщелачивания и биохимического извлечения в США предполагается получать в ближайшем будущем до 500 тыс. т меди ежегодно. Всего же переработка руд и хвостов обогащения по новым технологиям осуществляется в настоящее время более чем на 60 предприятиях США, Замбии, Австралии, Чили, Испании, Португалии, Зимбабве и Мексики, производящих, таким образом, более 650 тыс. т меди в год [4]. Переработка отвалов и хвостов предыдущего горного производства позволила крупной медепроизводящей компании «Фелпс Додж» (США) снизить издержки производства 1 т меди на 25%. На предприятии Голд Флокс в ЮАР эффективно перерабатывают лежалые пиритсодержащие хвосты цианирования с содержанием золота 0,2-0,65 г/т. Там же успешно функционирует горнодобывающий комплекс Эрго, утилизирующий более 20 млн. т шламов в год с содержанием золота 0,31-0,47 г/т. На фабрике «Пачука» (Мексика) рентабельно перерабатывают отвальные хвосты содержащие 0,16 г/т золота, 0,1% свинца, 0,28% цинка.

Новые технологии переработки техногенных ресурсов освоены в Уральском регионе России. Лидерами рентабельной крупномасштабной переработки отходов являются ОАО «Высокогорский горно-обогатительный комбинат» (хвосты обогащения железных руд), АО «Нижнетагильский металлургический комбинат», АО «Северский трубный завод», АО «Каменск-Уральский металлургический завод», Серовский металлургический и Серов-

ский ферросплавный заводы (шлаки), АО «Святогор» (пыли газоочисток), АО «Среднеуральский металлургический завод» (медеплавильные шлаки). Особого внимания заслуживает опыт АО «Нижнетагильский металлургический комбинат», на котором уже действует крупный комплекс по переработке отвальных шлаков мощностью 3,1 млн. т в год. Практика отечественных предприятий на базе безотходных технологий показала возможность полного использования металлургических шлаков, фосфогипсов, золошлаков для получения силикатного кирпича, легких бетонов, шлаковаты, минеральных волокон, цемента [2].

На Южном Урале наиболее перспективными для утилизации с извлечением ценных компонентов являются отходы предприятий цветной металлургии (ОАО «Учалинский горно-обогатительный комбинат», ОАО «Башкирский медно-серный комбинат», ЗАО «Бурибаевский горно-обогатительный комбинат») (рис.). Например, хвосты флотации и цианирования руд, содержащие остатки основных рудных компонентов и неучтенные микроэлементы (Hg, Cd, Se и др.). Кроме хвостов обогащения к отходам переработки относится также пиритный концентрат, который не имеет спроса на рынке. ОАО «УГОК» и ОАО «БМСК» могут ежегодно производить до 1 млн. т. пиритного концентрата. В таком объеме пиритного концентрата, полученного на УГОК, содержится (т): медь 3000–4000, цинк 9000–13000, кадмий 300–400, селен 50–60, золото – 1,4–1,7 и серебро – 20–30. Тот же объем пиритного концентрата, полученный на БМСК содержит (т): медь – 2000 – 3000, цинк – 5000–7000, селена – 70, теллура – 40, галлия – 15, кадмия – 8, германия – 1, индия – 1,5, золота – 1,1 и серебра – 7,2 [7]. В хвостохранилищах Сибайской обогатительной фабрики накоплено: 49,2 тыс. т Cu, 114,2 тыс. т Zn, 9 млн. т S, 8 млн. т Fe, 1680 т Cd, 86,7 т In, 712,4 т Se, 589,3 т Te, 1949 т Co, 281 т Ga, 47,8 т Ge. Объемы хвостов флотации (в совокупности с пиритным концентратом) предприятий цветной металлургии Башкортостана составляют (млн. т): БМСК 30; УГОК 47,5; БГОК 9,3 [1]. Японский завод «Тобато» перерабатывает ежегодно 200 тыс. т пиритного концентрата, содержащего 50% серы, 0,33% меди, 0,55% цинка, 1 г/т золота и 10 г/т серебра, по обжигово-хлоридовозгоночной схеме. Сквозное извлечение составляет: золота – 63%, серебра – 63 %, меди – 78%, цинка – 60%, серы – 95,2%. Выход товарного железа достигает 99% [4].

Наиболее ценным компонентом хвостов флотации является золото. Обеспеченность разведанными запасами Au промышленности – на ближайшие 30 лет, поэтому необходим поиск новых месторождений и активное вовлечение техногенных источников этого металла. В связи с нехваткой сырья, основные тенденции золоторудной отрасли связаны с разработкой мелких по масштабу (с запасами 10–20 т) месторождений. В хвостохранилище Семеновской золотоизвлекательной фабрики запасы золота оцениваются в 3,3 т со средней массовой долей золота 1,2 г/т. Золото преимущественно находится в свободном состоянии. Из всех 1780 буровых проб 87% содержат золота более 0,5 г/т, 3% проб – более 2,2 г/т, отдельные пробы содержали до 5,8 г/т, проб с массовой долей золота менее 0,3 г/т не было обнаружено [6]. Для текущих

хвостов флотации БГОК характерны следующие содержания благородных металлов: Au до 1,7 г/т, Ag до 12,2 г/т.

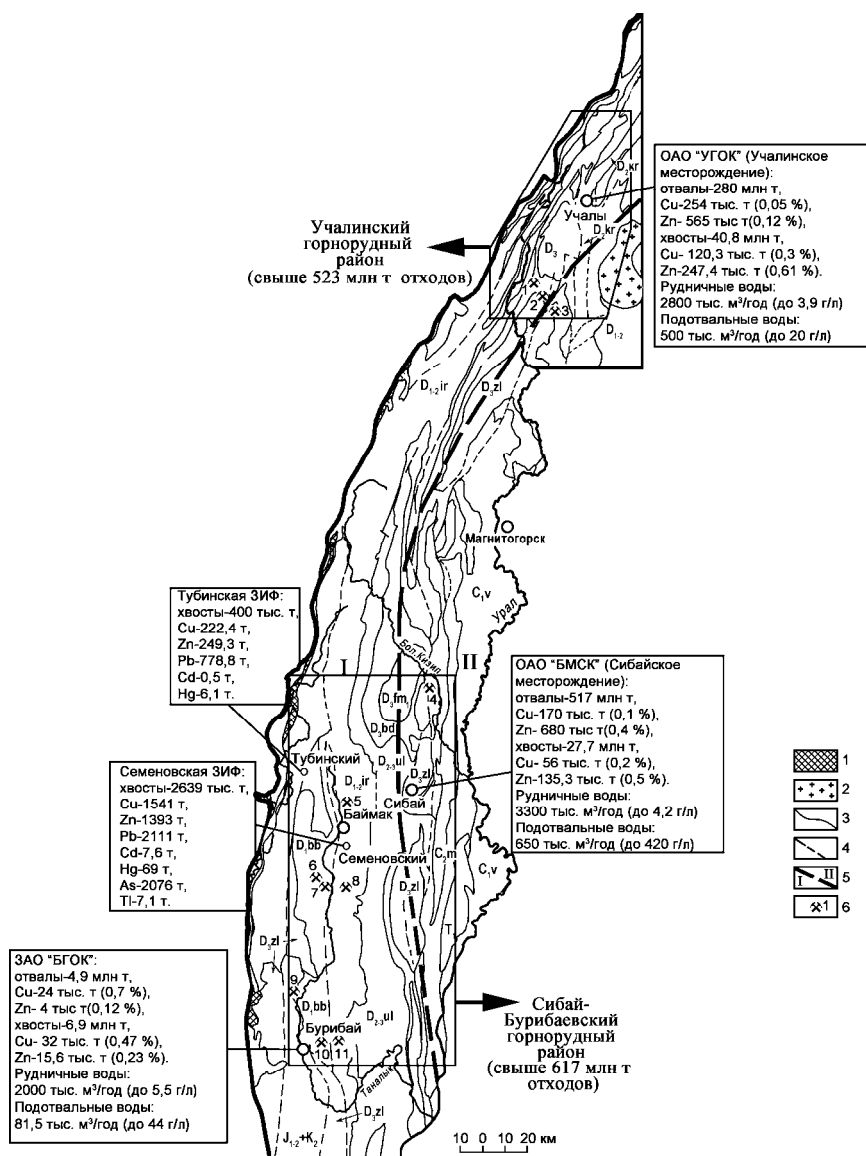


Рис. Горнопромышленные предприятия Южного Урала, геохимический спектр и объемы отходов:

- 1 – серпентиниты; 2 – гранитные массивы; 3 – стратиграфические границы;
4 – разрывные нарушения; 5 – граница между западной и центральной частями
Магнитогорской мегазоны; 6 – основные месторождения: 1 – Западно-Озерное,
2 – Узельгинское, 3 – Молодежное, 4 – Бакр-Узякское, 5 – Куль-Юрт-Тау, 6 – Бакр-Тауское,
7 – Таш-Тауское, 8 – Балта-Тауское, 9 – Юбилейное, 10 – Октябрьское, 11 – Маканское

Организация переработки техногенного сырья обуславливает необходимость комплексной геолого-технологической изученности техногенных объектов. Для принятия решений по их промышленному освоению технологически и экономически эффективными способами с допустимыми экологическими последствиями требуется получение всесторонней информации о качестве и количестве техногенного сырья, особенностях распределения в нем полезных компонентов и вредных примесей:

1) проведение геолого-маркшейдерских работ на техногенных объектах: определение объемов отходов, стоков, выбросов;

2) опробование материала техногенно-минеральных образований (ТМО) по всему объему с применением бурения, цель бурения:

– изучение внутреннего строения ТМО с выделением вертикальной минералогической и геохимической зональности;

– исследование геохимических процессов в теле ТМО для прогноза подобных процессов при последующей рекультивации;

– изучение физико-механических и фильтрационных свойств материала ТМО.

3) исследование геохимических процессов в ТМО и компонентах природной среды на прилегающей территории;

4) изучение петрографического, минералогического и химического составов ТМО, проведение технологических испытаний проб.

Для широкого вовлечения их в переработку требуется строительство практически новых производств, реализующих новые технологические принципы и решения. Несмотря на указанные трудности, перспективность использования техногенных месторождений очевидна, так как их использование позволяет одновременно решать целый ряд экономических, социальных и экологических проблем.

Литература

1. *Абдрахманов Р.Ф.* Гидрогеоэкология Башкортостана. – Уфа: Информреклама, 2005. – 344 с.
2. *Данилов Н.И., Смирнов Л.А., Лециков В.И.* Опыт утилизации техногенных образований в Свердловской области // Минеральные ресурсы России. – 2000. – № 5-6. – С. 41-51.
3. *Зайнуллин Х.Н., Абдрахманов Р.Ф., Ибатуллин У.Г. и др.* Обращение с отходами производства и потребления. – Уфа: Диалог, 2005. – 292 с.
4. *Лазарев В.Н.* Вопросы долгосрочного прогноза развития минерально-сырьевой базы // Разведка и охрана недр. – 1992. – № 8. – С. 2-5.
5. *Матюшенко Г.А.* Разработка технологии формирования и комплексного освоения техногенных месторождений на основе отходов переработки медно-колчеданных руд: автореф. дис. ... канд. техн. наук. – Магнитогорск: Магнитогорский гос. техн. ун-т, 2006. – 21 с.
6. *Провалов С.А.* Комбинированная гравитационно-гидрохлоридная технология переработки лежалых хвостов золотоизвлекательных фабрик: автореф. дис. ... канд. техн. наук. Магнитогорск: Магнитогорский гос. техн. ун-т, 2007. – 21 с.
7. *Хамитов Р.А., Антонов К.В., Меньшиков В.Г.* Резервы рационального использования минерально-сырьевых ресурсов Республики Башкортостан // Ресурсо- и энергосбережение в Республике Башкортостан: проблемы и решения: Матер. I Респуб. научно-практ. конф. – Уфа: БашГУ, 1997. – С. 72-80.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПРИРОДНЫХ СОРБЕНТОВ В СХЕМЕ ОЧИСТКИ РУДНИЧНЫХ ВОД СУЛЬФИДНО-ВОЛЬФРАМОВОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ ХОЛТОСОН

И.В. Бардамова, С.Г. Дорошкевич

Геологический институт Сибирского отделения Российской академии наук (ГИН СО РАН),
г. Улан-Удэ, ул. Сахьяновой, 6а. E-mail: irina-bardamova@yandex.ru

Сульфидно-гюбнеритовое месторождение Холтосон, расположенное в пределах Джидинского рудного поля в отрогах Джидинского хребта юго-западной части Бурятии с 30-х годов прошлого столетия разрабатывалось Джидинским вольфрамо-молибденовым комбинатом. После прекращения 1997 году деятельности комбината остались многочисленные объекты, которые являются источниками токсичных загрязнений, в больших количествах поступающих в экосистемы Закаменского района. В частности, в результате неорганизованного сброса рудничных вод штольни Западная в поверхностные воды бассейна рек Джиды и Модонкуль поступают тяжелые металлы, фториды, сульфаты и другие токсиканты в концентрациях, многократно превышающих значения ПДК[2] (рис. 1).

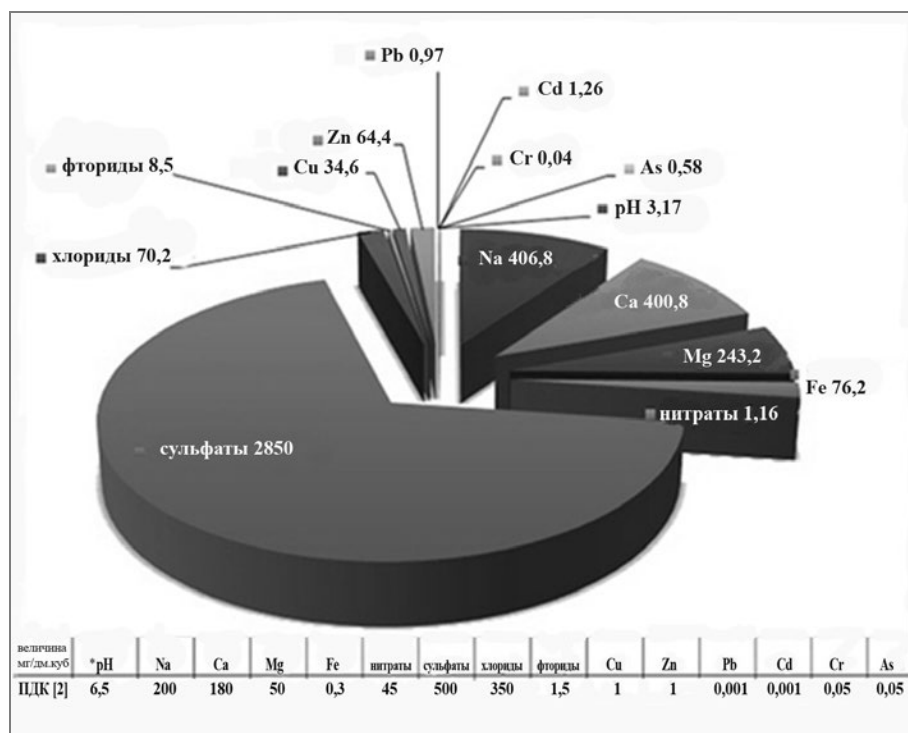


Рис. 1. Состав рудничных вод штольни Западная, мг/дм³

Состояние природной среды по химическим элементам 2-4 класса опасности при этом оценивается как экологическое бедствие и чрезвычайная экологическая ситуация [3].

Для нейтрализации токсичных отходов горно-обогатительного производства нами была предложена комплексная схема очистки рудничных вод на примере штольни Западная, с использованием местных природных материалов. Схема включает процессы осветления и сорбционной доочистки и утилизации отработанных сорбентов. Осветление рудничных вод проводится с помощью коагулянта – известняка месторождения Зун-Нарын крупностью 0,25 мм при соотношении фаз Т:Ж 1:100 и продолжительностью процесса более 10 минут. Предлагаемый метод осветления позволяет снизить концентрации химических элементов в рудничных водах штольни Западная в 1,1 – 4,3 раза (железа почти в 600 раз) (рис. 2.)

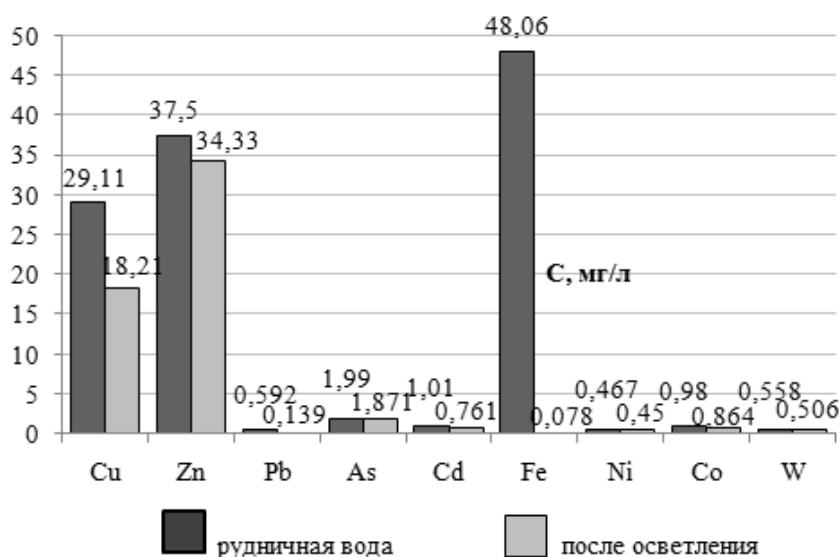


Рис. 2. Изменение содержания химических элементов в рудничной воде после процесса отстаивания

Последующая доочистка проводится в динамическом режиме сорбционным методом (скорость потока 0,13 м³/час, крупность сорбента 1-2 мм). В основе предлагаемого метода – использование в качестве сорбентов натуральных природных материалов (туфа вулкана Хурай-Цакир и цеолитового туфа Холинского месторождения). Данная методика позволяет снизить остаточные концентрации химических элементов в рудничных водах до значений, не превышающих предельно-допустимых (рис. 3). Превышение ПДК концентраций химических элементов в рудничной воде на выходе (по окончании процессов отстаивания-коагуляции-сорбции) наблюдается лишь по мышьяку.

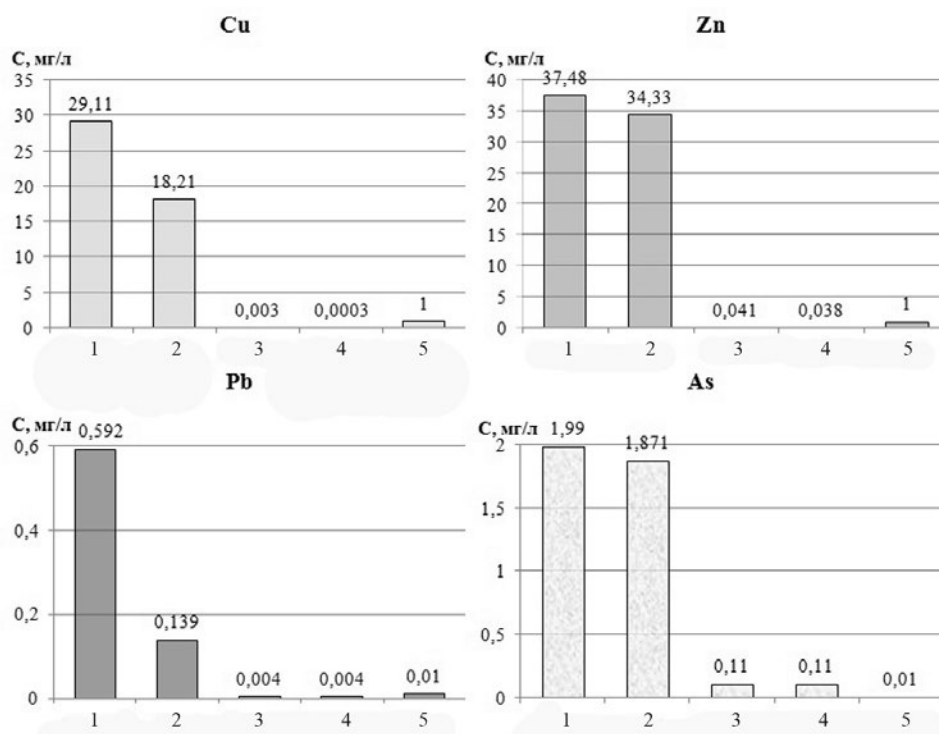


Рис. 3. Содержание элементов в рудничной воде после коагуляции и сорбции в динамическом режиме, мг/л:

1 – рудничная вода штольни Западная до обработки; 2 – после коагуляции, 3 – после сорбции Холинским цеолитовым туфом; 4 – после сорбции вулканическим туфом Хурай-Цакир; 5 – ПДК [2]

По итогам экспериментов и испытаний в полевых условиях на опытной установке была предложена следующая локальная схема предварительной очистки (рис. 4).

Способ утилизации отработанных сорбентов в качестве микроэлементного удобрения был опробован в вегетационно-полевых условиях в течение 2014-2015 гг. [1] Предложенный способ основан на внесении в почву цеолитовых туфов Холинского месторождения, модифицированных рудничными водами, в дозах $Zn_{0,8}$ и $Zn_{1,6}$ (г/сосуд) для выращивания сельскохозяйственных культур (редис, салат, горох). Данный способ позволяет получить товарную часть растений с незначительным (заметно ниже ПДК) содержанием нитратов, с экологически безопасным уровнем накопления тяжелых металлов (Табл.) и приводит лишь к слабому загрязнению почв некоторыми химическими элементами (Fe, Mo, Zn, Cu, Co, Ni, Pb, Cr, W), не превышающему ОДК.

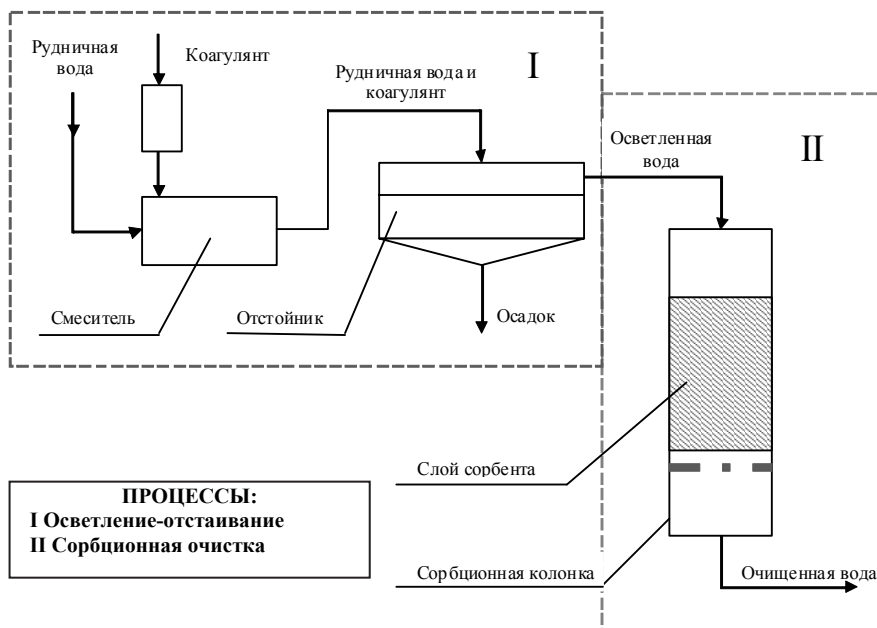


Рис. 4. Технологическая схема предварительной очистки рудничных вод на примере штольни Западная (Закаменский район, Бурятия)

Таблица
Среднее содержание химических элементов в надземной (числитель) и подземной (знаменатель) частях растений (n = 2), мг/кг воздушно-сухой массы и уровень суммарного загрязнения

с/х культура	Дозировка отработанного сорбента	Fe, %	Mo	Zn	Cu	Co	Ni	Pb	Cr	W	Zc
редис	Zn _{0,8}	$\frac{0,016}{0,005}$	$\frac{0,26}{\text{н/о}}$	$\frac{3,12}{4,34}$	$\frac{0,51}{0,63}$	$\frac{0,07}{0,21}$	$\frac{0,75}{0,35}$	$\frac{0,09}{0,31}$	$\frac{0,23}{\text{н/о}}$	$\frac{0,01}{0,02}$	$\frac{3,29}{1,60}$
	Zn _{1,6}	$\frac{0,016}{0,007}$	$\frac{0,29}{\text{н/о}}$	$\frac{3,47}{4,54}$	$\frac{0,56}{0,66}$	$\frac{0,09}{0,22}$	$\frac{0,88}{0,37}$	$\frac{0,12}{0,38}$	$\frac{0,29}{\text{н/о}}$	$\frac{0,02}{0,03}$	$\frac{4,65}{2,85}$
салат	Zn _{0,8}	$\frac{0,009}{0,087}$	$\frac{0,27}{0,23}$	$\frac{3,14}{3,96}$	$\frac{0,75}{0,98}$	$\frac{0,03}{0,23}$	$\frac{0,19}{0,58}$	$\frac{0,07}{0,67}$	$\frac{0,36}{0,69}$	$\frac{0,01}{0,05}$	$\frac{2,44}{1,46}$
	Zn _{1,6}	$\frac{0,012}{0,119}$	$\frac{0,20}{0,24}$	$\frac{3,75}{6,32}$	$\frac{0,74}{1,07}$	$\frac{0,04}{0,26}$	$\frac{0,19}{0,63}$	$\frac{0,10}{0,74}$	$\frac{0,28}{0,65}$	$\frac{0,02}{0,08}$	$\frac{3,78}{3,14}$
горох	Zn _{0,8}	$\frac{0,008}{-}$	$\frac{0,18}{0,57}$	$\frac{4,33}{4,31}$	$\frac{0,81}{1,10}$	$\frac{0,22}{1,38}$	$\frac{0,23}{0,52}$	$\frac{0,17}{0,41}$	$\frac{0,21}{0,82}$	$\frac{0,03}{0,06}$	$\frac{2,30}{1,15}$
	Zn _{1,6}	$\frac{0,011}{-}$	$\frac{0,14}{0,54}$	$\frac{4,96}{4,45}$	$\frac{0,86}{1,44}$	$\frac{0,27}{1,96}$	$\frac{0,35}{0,54}$	$\frac{0,19}{0,57}$	$\frac{0,20}{0,81}$	$\frac{0,03}{0,08}$	$\frac{3,93}{2,27}$
ДОК в овощах [4]		0,01		10	10		0,5	0,5		-	
МДУ в кормах (*корнеплодах) для с/х животных [5]		0,01	2,0	50,0 100*	30	1,0 2,0*	3,0	5,0	0,5	-	

Таким образом, проведенные исследования показали, что природные сорбенты могут быть использованы для очистки рудничных вод: известняк месторождения Зун-Нарын в качестве коагулянта в процессе осветления, цеолитсодержащий туф Холинского месторождения и туф вулкана Хурай-Цакир в процессе сорбционной очистки. При дальнейшей утилизации цеолитсодержащие туфы Холинского месторождения могут быть использованы в качестве микроэлементного удобрения.

Исследования поддержаны грантами РФФИ № 15-45-04123_p_сибирь_a, № 13-05-01155, № 16-05-01041.

Литература

1. Бардамова И.В., Дорошкевич С.Г., Голубева Е.М. Использование отходов после очистки рудничных вод сульфидно-вольфрамового месторождения в качестве нетрадиционных микроэлементных удобрений // *Агрохимия*. – 2017. – № 1. – С. 34-42.
2. ГН 2.1.5.1315-03. Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в воде водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования. Гигиенические нормативы. – Введ., 2003-15-06.
3. Смирнова О.К., Плюснин А.М. Джидинский рудный район (проблемы состояния окружающей среды). – Улан-Удэ: Изд-во БНЦ СО РАН, 2013. – 180 с.
4. Найштейн С.Я., Меренюк Г.В., Чергинцев Г.Я. Гигиена окружающей среды и применение удобрений. – Кишинев: Штинница, 1987. – С. 143.
5. Тяжелые металлы в системе почва – растение – удобрение / Под ред. М.М. Овчаренко. – М.: Пролетарский светоч, 1997. – С. 290.

МОКРАЯ МАГНИТНАЯ СЕПАРАЦИЯ ЗОЛОШЛАКОВЫХ ОТХОДОВ ТЕПЛОЙ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ ГОРОДА СЕВЕРСК

Б.Д. Гимаев, В.В. Тихонов

Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск, Россия

Золошлаковые материалы (ЗШМ) имеют огромные запасы и вскоре могут стать самым ценным источником полезных ископаемых вторичного использования. На 2003 г. в томских золоотвалах содержалось около 1 700 тыс. т. золы. Огромные территории золоотвалов с каждым годом становятся все больше, что существенно сказывается на экологии прилегающей местности [1].

Основная составляющая часть золошлаковых материалов – оксиды алюминия, кремния, железа, титана, кальция. Также в них присутствуют ценные редкоземельные металлы, золото. Магнитная составляющая в ЗШМ является одной из наиболее доступных к извлечению и одной из самых ценных

фракций. Содержащийся магнетит применяется в качестве компонента сырьевой шихты для производства цементного клинкера, подшихтовки железорудных окатышей в черной металлургии и в производстве сварочных электродов.

Целью работы является определение эффективных параметров для проектирования магнитного сепаратора. Объектом исследования является золашлаковый материал, полученный на предприятии ТЭЦ г. Северск. Присутствие в отходах значительного количества железа в виде магнетита и оксида трехвалентного железа определяет возможность их выделения методом магнитной сепарации [2].

Для проектирования магнитного сепаратора с высокой степенью извлечения магнитной фракции было проведено две серии экспериментов, которые показали характер влияния магнитного поля на магнитную фракцию, в условиях проектируемой установки. В эксперименте использовался дисковый неодимовый магнит марки N138 с диаметром 50 мм и высотой 30 мм. Исходным сырьем являлась пульпа с общей массой 260 ± 1 гр (250 ± 1 гр – вода, 10 ± 1 гр – ЗШМ). Твердая составляющая имела соотношение: $10 \pm 2\%$ – магнитная часть, $90 \pm 2\%$ – немагнитная часть. Соотношения концентраций получены на основании анализа реальных проб, взятых из пульпы ТЭЦ г. Северск в период с мая по ноябрь 2016 г.

Для проведения эксперимента была собрана модельная установка. На магнит закреплялась пластина из пластика, модель устанавливалась под определенным углом, и сверху осуществлялась подача сырья. Далее пульпа стекала самотеком, а магнитные частицы оставались в зоне действия магнитного поля. Контролируемыми параметрами были угол наклона, толщина пластины и расстояние от магнита до пластины. Данная модель является имитацией барабана магнитного сепаратора, и ее целью было определить метод подачи сырья, поведение магнитных и немагнитных частиц в разной точке вращающегося барабана и его эффективные параметры. По каждому параметру было проведено по 3 эксперимента.

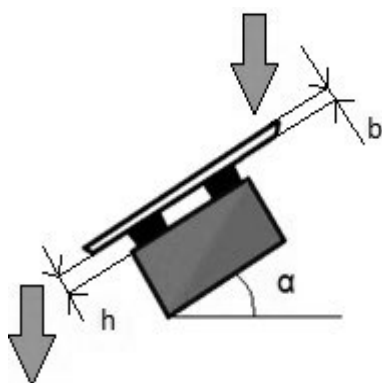


Рис. 1. Схема экспериментальной модельной установки:
 α – угол наклона пластины;
 h – расстояние от пластины до магнита;
 b – толщина пластины

Таблица 1

Определение эффективных параметров проектируемого магнитного барабана

Угол наклона α	10°				25°	45°				60°
Расстояние от пластины до магнита $h \cdot 10^3$, м	10		5		5	10		5		5
Толщина пластины $b \cdot 10^3$, м	2	4	2	4	4	2	4	2	4	4
$m_{\text{магн}}$, гр	0,660	0,542	0,660	0,700	0,580	0,555	0,520	0,660	0,585	0,615
	0,720	0,682	0,720	0,745	0,580	0,595	0,505	0,705	0,635	0,835
	0,445	0,710	0,785	0,670	0,645	0,475	0,535	0,550	0,590	0,470
$m_{\text{немагн}}$, гр	0,275	0,310	0,190	0,260	0,185	0,145	0,140	0,125	0,135	0,120
	0,315	0,295	0,330	0,215	0,240	0,150	0,155	0,200	0,120	0,120
	0,170	0,320	0,210	0,230	0,290	0,140	0,140	0,070	0,145	0,070
$m_{\text{магн}}^*$, гр	0,125	0,130	0,135	0,105	0,195	0,180	0,175	0,235	0,140	0,230
	0,145	0,120	0,110	0,110	0,155	0,165	0,170	0,125	0,120	0,270
	0,145	0,145	0,125	0,095	0,205	0,165	0,180	0,120	0,125	0,240
$m_{\text{немагн}}^*$, гр	7,570	8,010	7,260	7,845	7,780	8,250	8,365	8,585	8,590	8,455
	8,140	7,920	8,570	8,515	6,920	8,345	8,100	8,575	8,510	8,350
	6,915	7,345	8,320	7,080	7,740	8,540	8,605	7,945	8,540	8,525
%	84	81	83	86	75	74	74	73	81	73
	83	85	86	87	79	78	75	85	84	76
	75	83	86	87	76	74	75	82	82	66

Таблица 2

Средние значения эффективных параметров

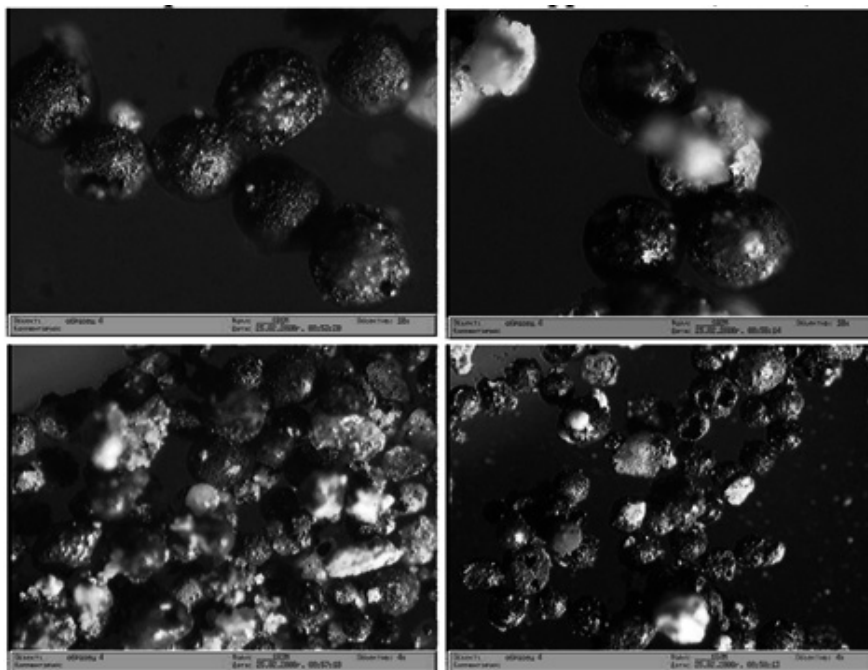
Угол наклона α	10°				25°	45°				60°
Расстояние от пластины до магнита $h \cdot 10^3$, м	10		5		5	10		5		5
Толщина пластины $b \cdot 10^3$, м	2	4	2	4	4	2	4	2	4	4
$m_{\text{магн}}$, гр	0,690	0,644	0,721	0,705	0,601	0,541	0,520	0,683	0,603	0,542
$m_{\text{немагн}}$, гр	0,295	0,308	0,243	0,235	0,238	0,145	0,145	0,162	0,133	0,120
$m_{\text{магн}}^*$, гр	0,138	0,131	0,123	0,103	0,185	0,170	0,175	0,180	0,128	0,247
$m_{\text{немагн}}^*$, гр	7,855	7,758	8,05	8,226	7,480	8,378	8,357	8,580	8,547	8,443
%	84	83	85	87	77	75	75	80	82	75

В табл. 1 представлены данные, полученные в ходе эксперимента, где: $m_{\text{магн}}$ – магнитный концентрат на выходе; $m_{\text{немагн}}$ – немагнитная часть оставшаяся в зоне действия магнитного поля; $m_{\text{магн}}'$ – магнитный концентрат не удержавшийся в зоне действия магнитного поля; $m_{\text{немагн}}'$ – немагнитный остаток на выходе; % – процент извлеченного магнитного концентрата.

В таблице 2 приведены средние значения параметров.

Из полученных данных можем сделать вывод, что единственным существенным параметром, влияющим на эффективность извлечения, являлся угол наклона.

Целью следующего эксперимента было определить расстояние зоны действия магнитного поля на магнетитовые частицы с удержанием на поверхности пластин разной толщины. Из ЗШМ многоступенчатой магнитной перемешивающей, была выделена магнитная фракция массой $2 \pm 0,1$ (рис. 2). Далее, магнетитовые частицы захватывались с помощью неодимового магнита и пластиковой пластиной между ними. В ходе эксперимента, магнит поднимался вверх, а пластина с магнитной фракцией оставалась неподвижной, в результате чего, на определенной высоте действие магнитного поля ослабевало, и частицы падали вниз. На каждом интервале упавшая масса магнитных частиц взвешивалась. В таблице 3 приведены данные, полученные в ходе эксперимента, где m – масса магнитной фракции, оторвавшаяся от магнитного поля.



**Рис. 2. Магнетитовые частицы, выделенные с помощью неодимового магнита.
Средний размер сферических частиц 40 мкм**

Таблица 3

**Исследование зависимости увеличения расстояния
от неодимового магнита до магнитной фракции**

Расстояние от магнита до пластины $h \cdot 10^3$, м	Оторвавшаяся масса m , гр	
	Толщина пластины $b \cdot 10^3$, м	
	1	5
10	0	0
20	0,010	0,010
30	0,010	0,015
40	0,015	0,015
50	0,190	1,200
55	1,300	1,860
60	1,910	1,985
65	1,970	2,000
70	1,990	
75	1,995	
80	2,000	

По полученным данным, в программе WolframAlpha была произведена аппроксимация полиномом, и построены графики функций (рис. 3, 4).

Из графиков видно, что толщина пластины влияет на силу магнитного поля, оказывающего свое воздействие на магнитные частицы.

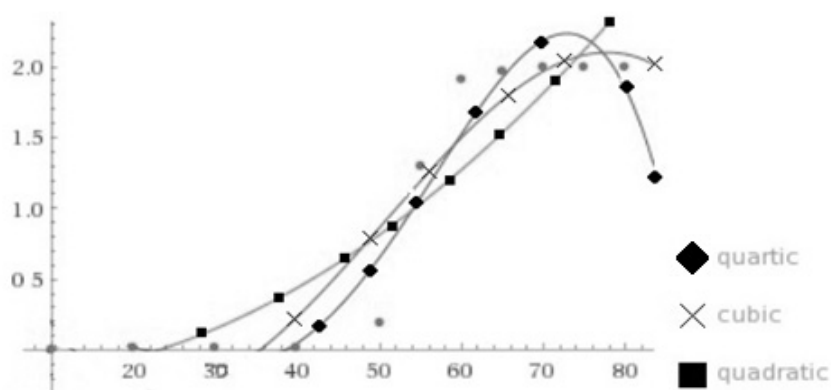


Рис. 3. График функции по экспериментальным данным с толщиной пластины 1 мм

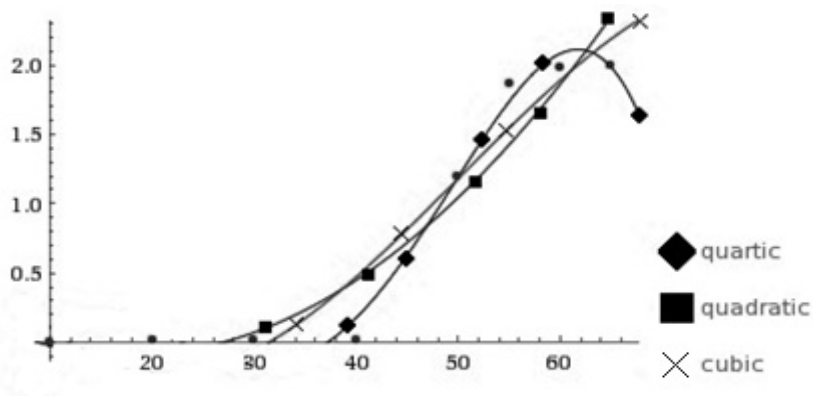


Рис. 4. График функции по экспериментальным данным с толщиной пластины 5 мм

Таким образом, полученные результаты лягут в основу для дальнейшего проектирования магнитного сепаратора на постоянных магнитах для извлечения магнитной фракции из золы.

Литература

1. Зырянов В.В., Зырянов Д.В. Зола-уноса – техногенное сырье. – М.: ИИЦ «Маска», 2009. – 319 с.
2. Кизильштейн Л.Я., Дубов И.В. Компоненты зол и шлаков ТЭС. – М.: Энергомиздат, 1995. – 176 с.

ОСОБЕННОСТИ МОНИТОРИНГА И НОРМИРОВАНИЯ ТЕХНОГЕННЫХ НАГРУЗОК В ЗОНЕ ДЕЙСТВИЯ АЛЮМИНИЕВЫХ ПРОИЗВОДСТВ

**Н.В. Головных, В.А. Бычинский, Л.М. Филимонова,
К.В. Чудненко, О.М. Глазунов**

Институт геохимии им. А. П. Виноградова Сибирского отделения Российской академии наук
(ИГХ СО РАН)

Комплексный анализ параметров воздействия выбросов и отходов энергопромышленного комплекса на экосистему позволяет осуществить прогнозирование и снижение техногенных нагрузок. Поскольку реакция на загрязнение нелинейна, состояние природной среды может отвечать как фоно-

вому, так и импактному уровню. Для обеспечения социально-экологической безопасности требуется ограничивать нагрузки в пределах «запаса устойчивости», при котором воздействия на экосистему допустимы. Данные вопросы рассмотрены на примере территории, расположенной вблизи Иркутского областного центра, подверженной воздействию отходов и выбросов алюминиевого завода (ИркАЗа) – градообразующего предприятия города-спутника Шелехова.

Проблематика отходов и выбросов алюминиевых производств, содержащих фториды, сульфосоединения, тяжелые металлы (*ТМ*) и полиароматические углеводороды (*ПАУ*) [2], усугубляется невозможностью герметизации технологических установок и предотвращении дренажей из промышленно-шламовых площадок. Чтобы уменьшить массу сброса, из отходов электролиза и растворов газоочистки регенерируют фтористые соли. При этом ценные компоненты поступают в рециклинг, либо реализуются другим предприятиям [5]. Однако накопление вредных примесей способствует складированию твердых отходов, из которых может быть утилизировано не более 10-15%. Наличие тонкодисперсных фракций (≤ 30 мкм) в составе загружаемых в электролизеры сырьевых компонентов, а также недостаточная степень улавливания пылевидных частиц при газоочистке обуславливает потери сырья.

Значительную проблему для экологической безопасности алюминиевого производства представляют вентиляционные выбросы из корпусов, удаляемые через «фонарное» газоудаление. На их долю приходится основная масса поступающих в атмосферу вредных веществ (~ 80% электролизеров России имеют экологически несовершенные самообжигающиеся аноды). Среди газообразных соединений присутствуют CO_2 , CO , COS , SO_2 , H_2S , HF , NaAlF_4 , COF_2 , CH_2F_2 и др. Конденсированные вещества, поступающие в атмосферу с исходными выбросами, представлены частицами глинозема, кокса (сажи), криолита, сульфата натрия и смолистыми веществами (*ПАУ*). Исходные выбросы в отличие от технологических материалов и шламовых отходов обогащены альфа формой глинозема и коксовой сажой (табл. 1).

Таблица 1

Сравнительные данные по составу технологического расплава и газопылевых выбросов алюминиевого производства

Электролит (источник выбросов)				Выбросы (выпадения в радиусе до 2 км)			
Соединение	% масс.	Соединение	% масс.	Соединение	% масс.	Соединение	% масс.
Na_3AlF_6	41,2	Na_2SO_4	0,3	Al_2O_3	26,8	Fe_2O_3	1,8
$\text{Na}_5\text{Al}_3\text{F}_{14}$	38,8	NaCl	0,2	Микро-С	24,1	Na_2CO_3	1,5
CaF_2	6,7	C	0,2	Na_3AlF_6	13,8	NaAlO_2	1,3
Al_2O_3	5,9	SiO_2	0,2	$\text{Na}_5\text{Al}_3\text{F}_{14}$	10,9	CaF_2	1,3
MgF_2	1,8	Fe_2O_3	0,1	Na_2SO_4	5,4	MgF_2	1,2
Na_2CO_3	1,6	Na_3PO_4	0,05	<i>ПАУ</i>	4,7	AlF_3	0,7
KF	0,5	B_2O_3	0,03	NaF	2,4	SiO_2	0,4
LiF	0,4	BeF_2	0,02	K_2NaAlF_6	2,3		

По мере распространения выбросов на более дальние расстояния, состав миграционных частиц меняется на ультрадисперсный с формированием характерного аэрозольного шлейфа, в котором доминируют газовые компоненты и фториды. Высокая интенсивность переноса газопылевых веществ обуславливает высокий индекс загрязненности воздуха в зоне рассеивания выбросов (*ИЗА*). По 60-бальной шкале в радиусе 20 км от ИркАЗа значения *ИЗА* снижаются от 30 до 15 баллов [6]. Внешний контур ареала загрязнения деформирован под действием выбросов от ряда локальных источников (автостреды, ж/д станций, новостроек ближайших населенных пунктов) и ограничен повышенным фоном Иркутского мегаполиса.

Взаимосвязь компонентного состава и интенсивности выбросов с направлением миграционных потоков дает возможность выявлять закономерности развития и распределения техногенных нагрузок. Исследования, проводимые с этой целью, в условиях повышенной загрязненности воздуха, почвы и поверхностных вод, включают применение комбинированных методов [1, 4, 6]. Главный критерий выбора точек опробования при снеговой съемке – это выбранные в конце зимнего сезона места с ненарушенным снежным покровом, удаленные от объектов хозяйственной деятельности, жилья, дорог. Учитывается роза ветров, рельеф местности и естественные препятствия. В ходе летней съемки, точки отбора проб почвы соответствуют усредненным участкам отбора снега. Превышение концентрации элементов по сравнению с фоновыми значениями (территория за пределами 70 км от завода) оценивается с помощью геохимического параметра – кларка концентрации (*КК*). Это позволяет выделять на карте исследуемого района участки, соответствующие постоянным значениям *КК* промышленных осадков. На основании изучения рельефа и гидросети района уточняется схема распространения газопылевых потоков и почвенно-грунтовых вод, а также особенности миграции техногенных компонентов.

Согласно анализу снега, ареал распространения макрокомпонентов с концентрацией в снеге от 0,5 до 0,1 г/л, формируемый преобладающим северо-западным направлением ветра, охватывает участок реки Иркут от г. Шелехова до слияния с рекой Ангарой и территорию к югу, включая ИркАЗ, общей площадью до 200 км². Установлено, что ареал высоких *КК* элементов в снеговых водах больше, чем в составе твердой фазы, что связано со способностью растворимой части выпавшего фторазрозоля мигрировать с водно-грунтовыми потоками (рис. 1). Максимальное содержание фтора достигает в составе талой воды снега 70 мг/л (28 т/км²). Твердые фазы, благодаря высокому содержанию алюминия (37-88% от массы аэрозоля), а также кальция и магния, в летний период могут растворяться незначительно.

По характеру распределения выделены три группы *КК* химических элементов, содержание которых в системе «снег – почва» существенно различается. Так, в снеге содержание первой группы химических элементов (F, Na, Al) превышает фоновые в 100-250 раз, а почвах в 5-10 раз. Во второй группе (Ca, Ba, Mn, Cu, Pb) содержание в снеге С превышает фоновое

в 25-100 раз, и в 3-5 раз в почвах. Третью группу (Ti, Mg, Sr, V, Cr, Fe, Co, Ni) характеризует среднее содержание в снеге, превышающее фоновое в 8-25 раз, и низкое – менее чем в 3 раза, превышающее в почвах. Растворимые формы элементов относятся к категории наиболее опасных загрязнителей (повышенное превышение фона также выявлено для As, Be и других высокотоксичных элементов).

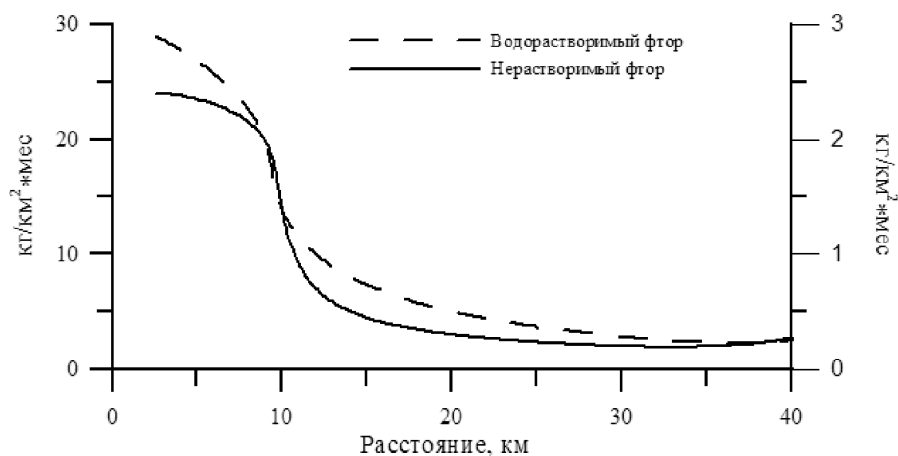


Рис. 1. Усредненный показатель рассеивания фтораэрозоля (кг/км²·мес.) в снежном покрове в зависимости от удаленности от предприятия

Левая шкала Y – водорастворимая форма фтора;
 правая шкала Y – нерастворимая форма фтора

Различия концентраций в снеге и почвах, свидетельствующие о выщелачивании и выносе элементов в грунтовые воды, подтверждаются снижением доли растворимых форм в летний период, их накоплением в растениях, увеличением содержания в весенних речных водах, а также осаждением на геохимических барьерах, где значения *КК* элементов максимальны. С глубиной содержание малых элементов может достигать фоновых значений, однако содержание фторидов, превышающее фоновое, наблюдается по всему профилю, несмотря на уменьшение концентрации в нижнем слое. Большинство элементов, поступающих с выбросами, сорбируется почвой. Если вынос из почвы Al, Mg, Sr, Ba, Mn, Co, Ni, Cu, Pb незначителен, они закрепляются в почве с малыми потерями, то для F, Na и Ca он может достигать 10–30%. Повышенная в результате загрязнения токсичность почвы блокирует поступление элементов минерального питания (N и P) в растения [7], вызывая деструкцию органического вещества и другие негативные последствия, что подтверждается графиками зависимости *доза-эффект*. Критические точки на указанных кривых свидетельствуют о начале резкого изменения анализируе-

мых параметров и служат метками порогов допустимости поступления компонентов в почву, в пределах которых должны быть ограничены предельно допустимые экологические нагрузки (*ПДЭН*), ориентированные на средневзвешенную концентрацию ареала загрязнения (~ 6 км от завода). Наиболее чувствительный параметр почвы определяется при сопоставлении: а) скорости деструкции органического вещества; б) биохимической активности; в) содержании нитратов и фосфатов; г) общей токсичности. Нормирование техногенных нагрузок по основным показателям почв позволяет осуществить корректировку предельно-допустимых выбросов (*ПДВ*) и кратность снижения выбросов для различных элементов (табл. 2).

Таблица 2

Согласование нижнего Н и верхнего В пределов допустимости нагрузок (т/км²·год) с кратностью снижения выбросов различных элементов

Параметр	Фтор		Натрий		Алюминий		Свинец		Медь	
	В	Н	В	Н	В	Н	В	Н	В	Н
Поступление элементов в год (на 1 км ²)	29,7		18,3		51,4		0,8		0,36	
Ограничение нагрузок по наиболее чувствительному параметру почвы	5,2	2,4	4,0	1,9	21	10	0,06	0,024	0,04	0,014
Необходимая кратность снижения выбросов	5,7	12,4	4,6	9,6	2,4	5,1	4,7	17,6	9	25,7

Поскольку интенсивность выбросов резко сказывается на степени накопления в почвах элементов с высоким *КК*, особое внимание при корректировке норм *ПДВ* следует уделять высокотоксичным элементам, *ПДЭН* которых не должно превышать уровни *ПДК* для почв. Расчеты показывают, что для нормальной продуктивности почв необходимое снижение выбросов должно составлять от 2 до 15 раз для литофильных элементов и от 5 до 30 раз – для *ТМ*. Для отдельных элементов уровни *ПДВ*, например фтора, целесообразно нормировать, исходя из низкого соотношения твердых и газообразных веществ в составе выбросов. Совершенно очевидно, что в условиях действующего производства добиться сокращения выбросов в короткое время простыми методами невозможно. Требуется режим «щадящих» воздействий, который позволит снижать техногенную нагрузку на исследуемую экосистему на основе комплексного геотехнологического подхода.

При разработке геотехнологических мероприятий необходимо опираться на опыт [2, 5], который показывает, что высокоэффективное и экологически безопасное производство алюминия может быть основано на использовании электролизного, анодного и литейного оборудования, а также и шихтовых материалов (глинозема, кокса, пека, фтористых солей) с более низким уровнем эмиссии вредных веществ. В сочетании с эффективной очисткой отходящих газов и рекуперацией уловленных ценных компонентов в технологический процесс это позволяет не только снизить энергозатраты и умень-

шить расход сырья, но и сократить выбросы ароматических углеводородов и фторидов.

Внедрение малоотходных технологий позволяет снизить образование не утилизируемых отходов и связанного с этим вторичного загрязнения окружающей среды. Решением данной проблемы является получение из отходов ценных сырьевых продуктов. Предложены новые методы разделения частиц углерода и сырьевых компонентов – фтористых солей и глинозема [3]. Выделенные частицы кокса и пека могут быть скомпонованы в топливно-восстановительные брикеты, а ценные компоненты (F, Na, Al) направлены в процесс электролиза. Разработаны эффективные методы комплексной утилизации компонентов футеровки в глиноземное (Na_2O , K_2O , Al_2O_3) и цементное производство (CaO , SiO_2). Существуют конструктивные решения, обеспечивающие улавливание соединений углерода (ПАУ), меркаптанов, сажи с последующим дожиганием в горелках или непосредственно в электролизерах. В аппаратно-технологической схеме алюминиевого производства возможен замкнутый цикл фтористых соединений (степень улавливания фтора до 99,9%). Из отходящих газов можно извлекать и использовать в качестве вторичных ресурсов и другие соединения, в том числе оксиды углерода и серы [3].

Таким образом, порядок разработки и утверждения текущих норм ПДВ должен проводиться в соответствии с результатами геоэкологического мониторинга и повышения экологического и технологического уровня производства. Ежегодный план по снижению удельного количества вредных веществ, выбрасываемых алюминиевыми заводами, корректируется с учетом природно-климатических условий и доводится до международных требований (не более 1 кг F на 1 т Al в сутки) [2, 5]. При повышенной загрязненности почв требуется комплекс реставрационных агротехнических работ [7]. Нарушенные земли и угодья должны исключаться из хозяйственного оборота. Мероприятия по охране окружающей природной среды предусматривают сохранение и расширение защитной «зеленой» зоны, производство лесонасаждений из газоустойчивых лиственных пород в целях фитобиологической очистки атмосферного воздуха от газопылевых примесей.

Литература

1. Бычинский В.А., Вашукевич Н.В. Экологическая геохимия: Тяжелые металлы в почвах в зоне влияния промышленного города: учеб. пособие. – Иркутск: Изд-во Иркутского гос. Университета, 2008. – 189 с.
2. Галевский Г.В., Кулагин Н.М., Минцис М.Я. Экология и утилизация отходов в производстве алюминия: учеб. пособие для вузов. – Новосибирск: Наука, СО РАН, 1997. – 159 с.
3. Головных Н.В. Технология комплексной переработки и утилизации углеродсодержащих отходов // Цветная металлургия. – 2009. – № 6. – С. 29-37.
4. Давыдова Н.Д., Знаменская Т.И., Лопаткин Д.А. Выявление зон эколого-геохимического риска по снежному покрову. – Экологический риск и экологическая безопасность. Материалы III Всероссийской научной конференции с международным участием.

Иркутск, 24-27 апреля 2012 г. – Иркутск: Изд-во Института географии им. В.Б. Сочавы, СО РАН, 2012. – Т. 2. – С. 33-35.

5. Куликов Б.П., Истомин С.П. Переработка отходов алюминиевого производства. – СПб.: изд-во МАНЭБ, 2004. – 478 с.

6. Методические рекомендации по оценке степени загрязнения атмосферного воздуха населенных пунктов по их содержанию в снежном покрове и почве (утв. зам. глав. гос. сан. врача СССР В. И. Чибураевым 15 мая 1990 г.).

7. Помазкина Л.В. Интегральная оценка функционирования и оценки и устойчивости агроэкосистем на загрязнение фторидами алюминиевого завода почв Байкальской Сибири // Инженерная экология. – 2009. – № 6. – С. 27-42.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ОТХОДОВ ГОРНОПРОМЫШЛЕННОГО КОМПЛЕКСА ПРИ ОСВОЕНИИ ТЕРРИТОРИЙ СО СЛОЖНЫМИ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИМИ УСЛОВИЯМИ

П.Ю. Дьяконов

г. Москва. E-mail: pyudyakonov@yandex.ru

Горная энциклопедия, размещенная в Интернете, дифференцирует отходы горнопромышленного комплекса (ОГПК) по ряду параметров: отрасль производства (угольная, металлургическая, химическая промышленность, теплоэнергетика и т. д), способ добычи и переработки, возможные направления использования и т.д. Для территорий селитебной зоны большой проблемой являются отходы теплоэнергетики и металлургии. Это золошлаковые смеси (ЗШС) тепловых электростанций и «горелая земля» (отработанные формовочные грунтовые смеси литейного производства). Они производятся в значительных количествах в непосредственной близости от жилья и занимают значительные площади. Вывоз указанных материалов сопряжен с огромными транспортными расходами и необходимостью изыскания территорий для их складирования и захоронения. В данной работе описана технология использования ОГПК в строительстве при возведении насыпи автомобильных дорог и при подготовке оснований под гражданское строительство.

Несмотря на кажущуюся перспективность применения ЗШС и «горелой земли» строители относятся к этим материалам настороженно, стараясь их не использовать, потому что ЗШС представляют собой смесь двух материалов, золы и шлака. Зола – продукт сжигания топлива, который выносится дымовыми газами из топки котла и улавливается золоуловителями. Шлак – материал, который скапливается по мере сгорания топлива в шлакосборниках. Зола – материал, крупность частиц которого не более 0,25 мм; шлак – материал с крупностью частиц больше 0,25 мм.

Удаление и складирование золошлаковых материалов может быть гидравлическим (мокрым) или пневматическим (сухим). Удаление золошлако-

вых материалов из топок обычно производится гидравлическим способом отдельно или совместно. При отдельном удалении шлак и зола транспортируются по отдельным пульповодам и складываются в отвал отдельно, образуя зоны шлаковых и зольных отложений. При совместном удалении за счет сегрегации в золоотвалах образуются три зоны: шлаковые отложения (содержащие 80-90% шлака); золошлаковые (40-60% шлака) и зольные отложения.

Зола состоит в основном из частиц размером 0,01-0,1 мм. Максимальная фракция 1-2 мм, средняя крупность 0,03-0,07 мм при коэффициенте разномзерности $\eta=3-6$. Шлак представлен в основном фракциями 0,1-20 мм, максимальный размер частиц 40-60 мм, минимальный 0,04 мм. Коэффициент разномзерности зависит от того, подвергался ли материал дроблению или нет, и изменяется в широких пределах $\eta=3-100$. Золошлаковый материал состоит из частиц, имеющих замкнутые поры, поэтому плотность слагающего его вещества больше плотности частиц. Для золы это превышение незначительное 4-5%, для шлака от 2 до 35%, среднее ~ 15%.

В зависимости от способа удаления из котлоагрегата шлак может быть жидким и твердым. Первый имеет предел прочности на сжатие, полученный при испытаниях кубика с ребром 2 см, $R_{сж}=200$ МПа, второй $R_{сж}=0,5-1,5$ МПа, в зависимости от исходного угля. При статических нагрузках шлак дробится. Для жидкого шлака предельная нагрузка дробления составляет 2,0-5,0 МПа, для твердого – 0,02-0,08 МПа. Частицы золы и жидкого шлака морозостойки, а твердого шлака – не морозостойки. Эти особенности ЗШС не являются ограничением для устройства различных сооружений на основаниях из золошлаковых материалов. Можно использовать ЗШС и для возведения грунтовых сооружений.

В строительстве используются ЗШС, разрабатываемые на золо- и шлакоотвалах предприятий, сжигающих твердое топливо. Разработка этих отвалов производится таким образом, что на строительную площадку, как правило, попадают грунтовые материалы, фракционный состав и механические свойства которых различны и нуждаются в тщательных исследованиях физико-механических свойств перед их использованием для возведения грунтовых сооружений. Аналогичные трудности и с «горелой землей», свойства которой зависят от множества параметров: металла и технологии отливки, фракционного состава опоки и т.п.

Снивелировать (сгладить) свойства искусственных грунтовых материалов при возведении насыпей позволяет интенсивное динамическое уплотнение (ИДУ). Использование мощных грузоподъемных механизмов, обеспечивающих подъем и сброс трамбовки массой более 80 кН с высоты более 10 м, позволяет обеспечить такую энергию удара, которая переводит процесс уплотнения грунтов на новый уровень переупаковки частиц, принципиально отличающийся от традиционного трамбования. Это дает возможность использовать искусственные грунты в возводимых насыпях без тщательного определения их физико-механических свойств.

В Австрии при строительстве автострады были совместно уплотнены насыпь высотой 7 м и основание, сложенное на глубину до 14 м переслаи-

вающимся песком, торфом и органическим илом. Долговременные осадки основания под собственным весом насыпи оценивались в несколько м и не могли быть предотвращены применением традиционных технологий. Уплотнение производилось с поверхности насыпи грузом 250 кН, сбрасываемым с высоты 20 м. Всего было проведено 7 этапов уплотнения. Осадка поверхности насыпи на некоторых участках составила 3-4 м. В первые два года эксплуатации автострады осадка не превышала 0,3 м, а неравномерность осадки по длине трассы была незначительной [1].

В Швейцарии при строительстве дороги Берн-Вьен, а также автодорог в Португалии были выполнены аналогичные работы. В Сингапуре при строительстве аэропорта Чанги, уплотнена насыпь мощностью 6 м, намытая песками морских донных отложений. Пески содержали не менее 30% мелкозернистых фракций и были уплотнены сбрасыванием решетчатой конструкции 6х6 м, массой 155 кН с высоты 15 м. При этом относительная плотность грунта насыпи повысилась с 0,40 до 0,75, что было достаточно для сооружения рулежных дорожек, железнодорожных подъездных путей и зданий аэропорта [2].

ИДУ было разработано и внедрено в строительство французским инженером Менардом в 60-70 гг. прошлого столетия. После смерти разработчика ИДУ на Западе практически не применялось. Но в начале 2000х гг. в Кувейте на побережье Персидского залива начато строительство «Sea city» («Морского города»). Под таким названием строится туристический дайвинговый и жилой комплекс, включающий искусственные лагуны, с рифами, кораллами и прочей соответствующей атрибутикой, фауной и флорой.

Особенность строительства следующая. Под слоем песка, залегает более чем двухметровый слой ила. Этот ил извлекается, вывозится и замещается песком. Там, где слой ила велик и извлечение его экономически не целесообразно высаживаются мангровые деревья, способные расти в морской воде. В береговой линии выкопаны лагуны, насыпаны песчаные дамбы и волноломы, облицованные природным или бетонным камнем, укладываемым в несколько слоев, с большими зазорами, в которых селится мелкая морская живность. Из промытого крупнозернистого песка формируются дно и берега искусственных лагун для образования пляжей.

Уплотнение песчаных дамб производится, с помощью ИДУ. В качестве механизма используется переоборудованный экскаватор драглайн с емкостью ковша не менее 4 м³. Решетчатая квадратная трамбовка массой 150 кН сбрасывается с высоты 12 м. Уплотнение ведется в два прохода линейно по два-три отпечатка с одной стоянки механизма. При первом проходе делается 15 ударов в след, при втором – 5. Освоение территории разбито на три этапа. На первом этапе удаляется 12 млн. м³ ила, на втором – 22 млн. м³, на третьем более 42 млн. м³.

Таким образом, ИДУ оказывается востребованным в случаях, когда объект строительства удален от зданий и сооружений, находится на слабом, часто заторфованном основании, а строители располагают соответствующим оборудованием и способны освоить технологию производства работ.

В нашей стране ИДУ внедрялось на строительстве объектов гидроэнергетики с середины 1980х гг. в качестве опытных работ. Эти опыты не всегда были успешными. Так на Загорской ГАЭС уплотняли галечник. При этом повреждения получила подпорная стенка.

В 1989 г. на строительстве подхода к мостовому переходу через р. Москва на скоростной магистрали Ховрино-Борисово под руководством автора применен метод ИДУ. Участок строительства дороги, являющийся аппарелью между переходной плитой моста и автодорогой, проходил по территории Люблинских полей фильтрации (ЛПФ), которые представляли собой территорию в 550 га, разбитую на карты-чеки площадью, примерно, по 1 га. Основание иловых карт сложено искусственным суглинистым экраном мощностью около 1,0 м с расчетным сопротивлением грунта $R = 1,0-1,5 \text{ кг/см}^2$, а ниже – природным мелким и средним песком с расчетным сопротивлением $R = 1,5 \text{ кг/см}^2$. Подстилающие грунты – гравийно-галечниковые отложения мощностью до 8 м. Чеки были заполнены осадками сточных вод (ОСВ) городской канализации мощностью от 1,5 до 4,5 м.

Проектом строительства насыпи автодороги предполагалось смешение осадка с песчаным грунтом, вывоз полученной смеси и устройство насыпи из песчаного грунта. Ввиду отсутствия и дороговизны песка, подрядчиком была проведена его замена на золошлаковые смеси (ЗШС) ТЭЦ «ЗИЛа», а смешение и вывоз осадка заменены на его выдавливание в боковые зоны насыпи.

Выдавливание проводилось в зимнее время при наличии ледяного покрова толщиной 0,5 м, широким (50-60 м) фронтом, малой мощностью (0,5-1,0 м) слоя ЗШС, что привело к захоронению осадка слоем 0,5-2,3 м под насыпью высотой 3,2-6,7 м. По расчетам МАДИ осадка насыпи мощностью 4 м составила бы 0,53 м. Осадок слоя фекалией мощностью 1,5 м при смешении его с ЗШС в пропорции 1:4 составила бы – 0,76 м, без смешения – 1,2 м, Т.к. смешения фекалией с золой не произошло, ожидаемая полная осадка насыпи дороги должна была составить 1,73 м.

Для ИДУ применялся экскаватор драглайн Э-2508, оборудованный трамбовкой массой 100 кН с плоским днищем в форме правильного шестиугольника, диаметром описанного круга 2,8 м, сбрасываемой с высоты не менее 10 м. Установка работала в режиме «клинования» (подъемный трос находился в постоянном зацеплении с трамбовкой).

Перед опытным ИДУ, производилось поверхностное уплотнение виброкатком массой 110 кН (каток имелся на строительном участке) до максимально допустимой плотности грунта, для обеспечения проходимости экскаватора. ИДУ проводилось в три этапа. На первом этапе – уплотнение по сетке 4x4 м, рядами параллельными оси автодороги. На втором этапе – уплотнение по сетке 4x8 м рядами перпендикулярными оси автодороги. На третьем этапе – аналогично II этапу со смещением рядов для получения сетки 4x4 м. Количество ударов в «след» определялось достижением «отказа», либо глубиной погружения трамбовки не более чем на 1,2 м. По окончании этапа «трамбования» проводилась срезка перемычек отпечатков бульдозером на 2/3 их высоты и планировка поверхности. После завершения работ по ИДУ отпе-

чатки засыпались ЗШС с последующим уплотнением ее виброкатком до проектных отметок.

При производственном уплотнении автодороги, по просьбе проектной и строительной организаций, ограничились двумя этапами ИДУ, т.к. уже после них проектные плотности грунта были достигнуты на всю глубину насыпи.

В работе [3] рассмотрена технология освоения ЛПФ с помощью ИДУ. Но там основное внимание уделено вопросу мелиорации территории, занятой ОСВ московской канализации, и не рассказано о технологических схемах и параметрах ИДУ, не освещено использование ОГПК в строительстве.

Для ЛПФ мы разработали инструкцию по применению ОГПК при освоении территории под застройку с помощью ИДУ. Приведем основные положения этой инструкции. Общим требованием является соответствие ее действующим нормативным документам, взаимосвязка с общим проектом и проектом производства работ (ППР), учет фактической инженерно-геологической обстановки. Описание технологии включает детализацию обязательных работ: подбор (если требуется) фракционного состава грунта, возведение насыпи, планировка поверхности с требуемым уклоном, нивелировка поверхности по заданным квадратам, мероприятия по водоотливу (в случае необходимости) и водоотведению, возведение технологических проездов (если требуется), схемы уплотнения грунта, контроль качества работ и мероприятия по технике безопасности. Также названы марки механизмов, участвующих в технологическом процессе, чтобы при разработке ППР можно было согласовать их работу. Кроме того, даны рекомендации по дооборудованию уплотняющего механизма, изготовлению трамбовки, особенностям трамбования и работе в зимнее время, норме выработки и нормативам оплаты труда. При разработке такой инструкции важно конкретизировать даже мелкие особенности выполнения работ.

Вот пример. В первый день трамбования площадка на ЛПФ была не уплотнена, а изрыта, словно ее бомбили. Механизатор (экскаваторщик 6 разряда, это высший разряд) отказывался продолжать работу. Пришлось долго объяснять, что при ИДУ имеется особенность, которая не соответствует общепринятой схеме работы на экскаваторе драглайн. Состоит она в следующем. При работе драглайна ковш сбрасывают одновременно с поворотом платформы экскаватора для лучшего наполнения ковша. А при ИДУ платформу необходимо зафиксировать перед сбрасыванием трамбовки для горизонтального соприкосновения ее с поверхностью грунта.

Рассмотрим основные положения технологии ИДУ при использовании ОГПК для освоения территории под застройку. Часто освоение происходит на площадях с переувлажненным и заторфованным грунтом. Эти особенности необходимо учитывать. Коэффициент фильтрации грунта насыпки K_f должен быть в пределах $10^{-3} - 10^{-6}$ см/с. Мощность яруса насыпи ЗШС не менее 2,5-3,0 м. При этом сооружение технологических проездов из песка обязательно, это увеличивает производительность в 1,5-2 раза. Оптимальная мощность яруса 3,5-4,0 м, но не более 4,5-5,0 м. Мощность яруса насыпи

«горелой земли» и песчаного грунта должна быть в пределах 4,5-5,0 м, при этом технологические проезды можно не устраивать. Поверхность насыпи выравнивать с уклоном не более 1,5% и нивелировать по сетке 20*20 м. Узлы сетки обозначать колышками, это облегчит ориентирование при ИДУ. Насыпь защитить водоотводными канавами. При необходимости устроить дренаж и понизить влажность грунта.

Транспортировку грунта осуществлять при дальности возки до 5 км скреперами (самоходными или прицепными), а при больших дальностях автосамосвалами большой грузоподъемности типа КамАЗ. Для перемещения грунта использовать бульдозер на базе трактора Т-54, для планировочных работ после ИДУ бульдозер типа «Чебоксарец» или «Комацу».

Интенсивное динамическое уплотнение выполнять дооборудованными экскаваторами драглайн Э-2503 (Э-2508) или Э-1258, Э-2006 и их разновидностями. Необходимо стремиться к использованию механизмов с максимальной грузоподъемностью, т.к. работа в режиме «клинования» с грузом 100 и более кН неблагоприятна для механизма. Тамбовка изготавливается из металла (толщина листов не менее 15 мм) и заливается бетоном марки не менее М-400. При изготовлении тамбовки и заливке ее бетоном необходимо соблюдать ее центровку, обеспечивающую горизонтальность днища при подъеме и сбрасывании.

При разработке ППР следует увязывать производительность машин и механизмов и не допускать их простоя. В качестве основного механизма принимать производительность уплотняющей установки, которую определяют опытным путем.

Технологическая схема работы механизма при ИДУ зависит от задачи уплотнения. На заторфованных переувлажненных грунтах возможны три варианта: 1) смешение грунтов засыпки с подстилающими грунтами с целью погребения последних; 2) интенсификация водоотдачи и 3) достижение проектной плотности. Возможны частные случаи. Например, отжатие подстилающего заторфованного грунта из ограниченной зоны застройки.

При смешении грунтов сетка уплотнения должна быть максимально разрежена, но быть не менее 1,5 диаметров тамбовки. Уплотнение проводить 2-3 параллельными рядами по замкнутой кольцевой схеме концентрически приближаясь к центру. Количество ударов по отпечатку не более 5, а глубина отпечатка не более 0,7 м. При выпоре грунта в соседних отпечатках после 2-3 ударов, количество ударов по отпечатку сократить. Для смешения грунтов достаточно 2 этапов. Время между смежными этапами уплотнения определяется временем рассеивания порового давления. Для ЗШС оно не превышает 2 суток, для «горелой земли» и песка 1 суток. Завершение рассеивания порового давления определяется визуально, когда уровень воды или площадь увлажнения в отпечатке не увеличиваются.

При интенсификации водоотдачи схема уплотнения аналогична предыдущей. Для обеспечения влажности грунта близкой к оптимальной или на 3-4% больше достаточно 1-2 этапов ИДУ. За 3-4 этапа, как правило, достигается средняя нормативная плотность грунта по всей толще. Но если необхо-

димая плотность не достигнута, следует провести уплотнение (можно линейно) до достижения «отказа». При этом необходимо следить, чтобы не было выпора грунта в соседних отпечатках. Последние сбрасывания груза могут приводить к разуплотнению грунта. Поэтому по достижении «отказа» нужно уменьшать высоту сбрасывая наполовину, или провести доуплотнение верхнего слоя катком. Перемычки между отпечатками во всех случаях срезаются бульдозером на $2/3$ высоты.

Выполнять работы по ИДУ в зимнее время можно без ограничений. При слое снега более 0,3 м его следует удалять с площадки строительства. Ограничения производству работ связаны только с невозможностью эксплуатации дренажной системы в сильные морозы.

Значительную трудность для внедрения ИДУ в практику строительства представляет отсутствие специализированного оборудования большой грузоподъемности способного выдерживать перегрузки, возникающие при сбрасывании груза. Выше приводится пример механизма грузоподъемностью 250 кН с высотой подъема 20 м. Это было специально спроектированное и изготовленное несамоходное приспособление, состоящее из стрелы и лебедки. Мы же использовали в своей работе стандартный экскаватор, конструкция которого требовала соответствующей доработки, которая сводилась к следующему. Устанавливались: ограничитель запрокидывания стрелы и переподъема трамбовки; устройство, предотвращающее перехлест троса на барабане лебедки; облегченный коуш и вертлюг для исключения перегибов троса при сбрасывании; высококачественные фрикционные накладки тормозных лент подъемной лебедки. Кабина машины защищалась листами оргстекла и металлической сеткой с ячейкой не более $1*1$ см.

Машиниста экскаватора информировали о возможных опасных ситуациях, возникающих при работе. Это: подхват падающего груза, приводящий к прогибу вала лебедки, повреждению каната и его заделок, блоков и стрелы; срыв трамбовки; запутывание подъемного каната; сползание механизма с технологического проезда. Место падения трамбовки должно отстоять от гусениц машины не менее 4 м. Также давались рекомендации по стоянке и движению механизма; эксплуатационному обслуживанию и другим мероприятиям техники безопасности.

Для строительства, особенно для земляных работ, ИДУ сравнительно сложная совокупность производственных процессов, требующая неукоснительного выполнения технологии и соответствующего контроля качества и приемки работ. Это чрезвычайно актуально при работе на территориях со сложными инженерно-геологическими условиями, требующими дренирования и захоронения биогенных грунтов на месте природного залегания. При возведении насыпи необходимо контролировать соответствие физических свойств грунтов и грунтовых смесей, а также схемы возведения насыпи принятым в ППР. До начала ИДУ контролируются: выполнение работ по благоустройству насыпи (водоотведение, планировка, технологические проезды и т.п.), геодезическая разбивка и плановая и высотная привязки, наличие промерзания грунта и т.д. При проведении ИДУ контролируются: соответствие

схемы и сетки уплотнения; высота сбрасывания и количество ударов в след; величина погружения трамбовки в грунт; горизонтальность поверхности отпечатка.

На технологических этапах дополнительно контролируются: 1) при смешении биогенного грунта с материалом засыпки – степень смешения; устойчивость механизма на насыпи; 2) при интенсификации водоотдачи – местоположение и параметры дренажной системы; регулярность откачки воды; наличие обрушений открытой дренажной системы. По окончании ИДУ, не ранее чем через 7 дней, проводятся предусмотренные проектом инженерно-геологические работы и составляется заключение о соответствии характеристик грунта проектным требованиям.

Основным работам по ИДУ должны предшествовать опытные работы, которые проводятся на площадке не менее 20*20 м. На каждом опытном участке насыпь должна формироваться из одной грунтовой разности или грунтовой смеси, а работы выполняться в соответствии с технологическими схемами. Опытные работы выполняются для уточнения: глубины уплотнения и распределения плотности грунта по глубине; необходимого числа ударов и высоты сбрасывания трамбовки по одному следу; количества этапов уплотнения; времени рассеивания порового давления между этапами; величины понижения уплотняемой поверхности грунта; схемы движения механизма; расстояния между отпечатками; оптимальной мощности уплотняемого яруса грунта; гранулометрического состава и влажности уплотняемых грунтовых смесей. Нивелирование при опытных работах проводят по двум диаметрально противоположным точкам на поверхности трамбовки. При определении плотности грунта зондированием, следует использовать только статическое, т.к. при динамическом зондировании возможно локальное разжижение влажного грунта под конусом, что приведет к искажению результатов. Опытные работы позволяют уточнить производительность и нормы выработки на один механизм.

Из приведенного материала видно, что:

Разработанная технология интенсивного динамического уплотнения (ИДУ) позволяет в промышленных масштабах использовать отходы горно-промышленного комплекса (ОГПК) при возведении насыпей автодорог и освоении территорий под застройку, в том числе в сложных инженерно-геологических условиях при повышенной влажности и заторфованности слабящих осваиваемую территорию грунтов.

Литература

1. *Menard L.* La consolidation dynamique des sols de fondaion // *Annales de l'ITRTP.* – 1974. – № 320. – Sept. – P. 194-222.
2. *Ramaswamy S., Lee S., Daulah I.* Dynamic Consolidation of Soils // *Civil Engineering.* – 1981. – №4.
3. *Потапов А.Д., Дьяконов П.Ю.* Технология мелиорации территорий, занятых осадками сточных вод. Сергеевские чтения. Вып. 14. Роль инженерной геологии и изысканий на предпроектных этапах строительного освоения территорий. – М.: РУДН, 2012. – С. 314-319.

СОСТОЯНИЕ И ПУТИ РЕШЕНИЯ ПРОБЛЕМ РАДИОАКТИВНЫХ ОТХОДОВ СЕВЕРА КЫРГЫЗСКОЙ РЕСПУБЛИКИ

К.А. Кожобаев¹, К.А. Аманов², У.Д. Рыскулов³,
Г.Т. Молдогазиева², А.К. Касиев²

¹ Кыргызско-Турецкий университет «Манас»; Бишкек, Кыргызстан;
Email: kojkanik@gmail.com

² Институт геологии НАН КР, Бишкек, Кыргызстан;

³ Государственный комитет промышленности, энергетики и недропользования Кыргызской Республики, Бишкек, Кыргызстан

Введение. Практически все радиоактивные отходы на территории Кыргызской Республики (далее – КР) были образованы в те времена, когда она была союзной республикой в составе СССР. В северных регионах страны, а к ним относят четыре области: Нарынскую, Иссык-Кульскую, Чуйскую и Таласскую, находятся такие радиоактивные отходы, как: Каджи-Сайская, Ак-Тюзская, Кеминская, Кара-Балтинская и Минкушская группы (названия отходов даны по близлежащим крупным населенным пунктам). Ввиду большой экологической опасности, практически все указанные радиоактивные отходы многократно изучались разными организациями и проектами; они находятся под постоянным контролем со стороны МЧС КР и его подразделений. Авторы данной статьи имели возможность периодически проводить исследования всех указанных групп отходов с 1990-х гг. до 2016 г. Результаты части наших исследований применительно к некоторым проблемам отдельных радиоактивных отходов ранее были опубликованы [2-4]. В настоящей статье приводятся ранее не опубликованные в систематизированном виде данные наших исследований и рассматриваются возможные пути решения проблем этих радиоактивных отходов.

Методика исследований. При исследовании использовались такие методы, как анализ результатов исследований других специалистов и ученых, рекогносцировочные обследования отходов, инструментальные замеры по точкам, профилям и площадям уровня радиоактивности с помощью периодически поверяемых приборов СРП-68, опросы местного населения, опросы специалистов, ранее работавших на отходообразующих предприятиях.

Результаты исследований и их обсуждение. Результаты исследований и их обсуждение проведем по группам объектов: по месту расположения – с востока страны к ее западу и с севера на юг.

Отходы Каджи-Сайского комбината (8-го комбината). В разных местах, например, в север-северо-западном углу промплощадки, нами были обнаружены 3 радиоактивные аномалии, приуроченные к отдельным кучкам порошкообразного материала серовато-чёрного или бежево-зеленоватого цвета. Радиоактивность этих кучек с размерами от 1м² (двух) и до ~ 300 м² (одного) меняется от 130 мкр/ч до 520 мкр/ч. Эти тела лежат на открытой местности, ничем не закрыты и размываются дождевыми водами, в сухом со-

стоянии разносятся ветром, постоянно загрязняя окружающую среду (далее – ОС) и представляют серьёзную опасность.

Севернее от производственных и других зданий завода на крутых склонах естественных ложбин насыпным способом были сооружены 4 хвостохранилища (далее – х/х) промышленных отходов, состоящие в основном из шлаков и золы каменного угля. К 2007 г. они с поверхности были засыпаны суглинистым грунтом с щебёнкой толщиной до 0,5 м на почти горизонтальных поверхностях и от 0,1 м до 0,3 м на фронтальных склонах х/х. Насыпи перекрытия х/х интенсивно смываются, отмечаются промоины глубиной до 2,5 м и шириной до 1,5 м, обнажающие содержимое. Радиоактивность материала в телах х/х, замеренная на стенах и на дне промоин, неравномерная и колеблется от 40 до 250 мкр/ч. Поверхности хранилищ, особенно их нижние части, обнажены, т.е. материал насыпи уже частично смыт с их поверхности. С целью предотвращения загрязнения озера отходами, в случае прорыва верхних дамб и заграждений, в результате законченных в 2006 г. реабилитационных работ, примерно в 250 м ниже основания трех х/х была сооружена плотина, образующая пустую «чашу».

Наиболее опасной для озера Иссык-Куль, одной из признанных здравниц стран Центральной Азии и России, является одно хранилище промышленных отходов, так как северная (нижняя) часть его надёжно не перегорожена. В случае размыва загораживающей дамбы, опасный материал х/х напрямую попадает в озеро Иссык-Куль, расстояние до которого составляет всего 1,5 км.

Гамма-активность ложа ложбины ниже хранилищ колеблется от 40 до 50 мкр/ч, местами до 85 мкр/ч. Далее на север радиационный фон местности постепенно уменьшается до 25 мкр/ч и стабильно сохраняется до самого озера Иссык-Куль, что позволяет предположить, что в настоящее время интенсивного выноса радиоактивного материала из верхней зоны не происходит.

Загрязнения ОС от разработки Ак-Тюзской группы месторождений.

В верховьях р. Кичи-Кемин (Кеминский район Чуйской области), являющейся одним из правых притоков р. Чу, в 1930-х гг. было открыто Ак-Тюзское месторождение полиметаллов, и вскоре началась их интенсивная эксплуатация. Позже, здесь же, в процессе обработки не только Ак-Тюзского полиметаллического, но и ряда других более крупных редкоземельных и редкометалльных месторождений, содержащих радиоактивные элементы ториевого ряда, происходила интенсификация загрязнения ОС. Однако загрязнения в результате деятельности предприятий Ак-Тюзского ГПК оказались незначительными, по сравнению с загрязнениями от аварийного прорыва дамбы х/х № 2, которое произошло в декабре 1964 г. Прорвавшейся массой отходов, содержащих многие вредные вещества, в том числе радиоактивные элементы и целый ряд тяжелых металлов I и II классов опасности, были залиты полностью пойма, и частично, надпойменные II и даже III террасы р. Кичи-Кемин, где расположены населенные пункты, приусадебные участки, земельные наделы, сады, сельхозугодия и сооружения ирригационной сети [1-2]. После аварии 1964 г. в спешном порядке был организован сбор и вывоз привнесён-

ных отходов, но, к сожалению, очистке были подвергнуты только те участки местности, где можно было применить технику. Недоступные же для техники, а также разрозненные загрязненные участки остались нетронутыми, в том числе и в пределах населенных пунктов. Такими они остаются до сих пор. Как показали наши и другие исследования, большая часть вылившейся из х/х массы промтоходов с первоначальным объемом 680 тыс. м³ осталась в почвах и грунтах в виде аномальных площадей (останцов), занимающих площади от долей м² до 1,0-2,5 и более гектаров, в которых радиоактивность грунтов колеблется от 50-60 до 190-250 мкр/час [1-2, 4-6].

На поверхности х/х №1 под открытым небом уже более 10 лет находятся большие массы (в общей сложности до 150 м³) рудных концентратов, сложенные в 4 кучи объемом от 20 до 60 м³, подвергающиеся смыву дождевыми и тальными водами, которые беспрепятственно стекают в р.Кичи-Кемин. Несмотря на извещения соответствующих органов, они до осени 2015г находились в том же положении, если не говорить об их ограждении колючей проволокой, проведенной с нарушением норм, так как интенсивность гамма-излучения вблизи заграждения составляет 600 мкр/час (интенсивность гамма-излучений самих кучек превышает 1000 мкр/час).

Как и во многих х/х других групп отходов, здесь тоже, особенно в х/х №3 и №4 водо- и селеотводные каналы нередко заканчиваются «тупиком», в некоторых местах имеют отрицательные уклоны или завалены, т.е. построенные с большими затратами труда и средств защитные сооружения находятся в нерабочем состоянии.

Деятельность Ак-Тюзского ГРП, его отходов и особенно авария 1964 г. сказывается на здоровье жителей Кичи-Кеминской долины. По данным НИЦ онкологии и радиологии КР, показатели заболеваемости новообразованиями в Кеминском районе в 2005-2010 гг. составляют порядка 145 на 100 тыс. человек населения, тогда как эти показатели для соседнего Иссык-Атинского района составляют порядка 105, а в целом по стране – около 90.

Радиоактивные отходы Карабалтинского горно-рудного комбината. Карабалтинский горно-рудный комбинат (КГРК) расположен в 1км южнее от юго-западной окраины г. Кара-Балта и занимает не менее 5 км² площади, из которых почти половину занимают золо-, ило- и хвостохранилища. Хранилища вытянуты в меридиональном направлении и имеет размеры примерно 2 км в длину и около 1 км в ширину. Кроме дамб, с восточной стороны площадь хранилищ опоясана густой защитной полосой древесных насаждений шириной до 300 м, с северной – глубоким рвом размерами 0,8-1 км в длину, до 4-5 м шириной по верху и глубиной до 2,0-2,5 м. Радиоактивность на поверхности земли в пределах этой промышленной площади колеблется в широком диапазоне – от 30-40 до 150-200, а в одном месте даже до 600 мкр/час, на поверхности тел х/х радиоактивность местами превышает 1000 мкр/час. Опасная зона имеется в районе х/х №8, так как у северного его подножия вдоль всей дамбы в виде непрерывного длинного вала (300-350 м) выложена ториевая руда – буро-коричневого цвета с радиоактивностью

300-400 мкр/час. Есть данные по загрязнению этими отходами подземных вод района.

Прорыв дамб маловероятен, т.к. дамбы плотные и достаточно широкие, и самое главное, все х/х комбината расположены на равнине с очень небольшим уклоном местности, а тела х/х маловлажные.

О состоянии хвостохранилищ Мин-Кушского горнорудного комбината. Из х/х бывшего Мин-Кушского горнорудного комбината, самым опасным, с экологической точки зрения, является х/х №1, расположенное в долине р.Туюк-Суу, в 1,5 км выше от устья. Хотя на сегодняшний день х/х физически находится в удовлетворительном состоянии, в перспективе есть риск разрушения, так как оно расположено в долине горной реки с довольно крутым уклоном (порядка 10%), и, главное, здесь есть оползнеопасные склоны, с уже образовавшимися оползевыми трещинами.

Тела всех х/х частично огорожены бетонными и грунтовыми дамбами, также частично ограждены бетонными или грунтовыми отводными каналами. Часть бетона каналов и дамб начинает трескаться и разрушаться, часть каналов уже завалено.

Все поверхности тел х/х засыпаны местным суглинистым материалом. Местный фон радиоактивности по поверхности тела х/х колеблется в пределах 25-30 мкр/час, но, в ряде мест – небольших углублениях с различными размерами от 1х1 м² до 2х5 м² и глубиной до 0,3-1,0 м, показания радиометра достигают от 50 до 270 мкр/час, в норе какого-то зверка в пределах х/х № 3 («Сухое») – до 800 мкр/час.

Пути решения проблем радиоактивных отходов. По нашему мнению, решение экологических проблем указанных отходов – по необходимости, то есть актуальности, затратам средств и сложности исполнения можно подразделить на три группы. **Первую группу** мероприятий по решению проблем вышеописанных радиоактивных отходов можно охарактеризовать как простую, срочную и совершенно необходимую (требует для своей реализации первые тысячи долларов США на каждую группу отходов); **вторую группу** можно назвать группой проблем средней срочности и сложности, необходимую (требует для своей реализации первые десятки тысяч долларов США на каждую группу отходов); **третью группу** – наиболее сложную, дорогостоящую и стратегически необходимую (требует для своей реализации первые сотни тысяч долларов США на каждую группу отходов, но не все группы требуют их выполнения).

Для решения проблем первой группы необходимо выполнить следующее:

- Огородить территории отходов и вывесить предупредительные знаки – для предотвращения проникновения туда скота и людей;
- Засыпать промоины и ямки на поверхностях хранилищ.

Для решения проблем второй группы необходимо выполнить в необходимых местах следующее:

- Провести инструментальную съемку состояния водо- селеотводных сооружений;

- Довести водо- селеотводные каналы до «рабочего состояния», то есть прочистить, продолжить сооружение этих арыков и каналов до логического завершения, ликвидировать тупиковые места, а где нужно – соорудить новые;
- Укрепить и повысить уровень ограждающих дамб;
- Принять меры по предотвращению или резкому снижению загрязнения природных вод, например, создать водонепроницаемые экраны.

Для решения проблем третьей группы необходимо выполнить следующее:

- Провести контрольные исследования состояния наиболее опасных хранилищ отходов, выявить требующие перезахоронения;
- Составить проекты и провести перезахоронение отдельных х/х, например таких как, х/х №1 в долине р. Туюк-Суу бывшего Мин-Кушского горнорудного комбината;
- В необходимых местах соорудить дополнительные объемы-ловушки для предотвращения загрязнения ОС в случае прорыва ограждений и дамб хранилищ или их перезахоронить.
- По Ак-Тюзской загрязненной площади:
 - провести инструментальную кондиционную съемку всей загрязненной площади;
 - провести сбор и захоронение всех загрязненных почв и грунтов;
 - провести реабилитационные работы по восстановлению сельхозугодий, БСР и т.п.

Дать обоснованную компенсацию местным жителям, пострадавшим и страдающим до сих пор от аварии 1964 г.

Литература

Опубликованная

1. Боконбаев К.Ж., Грошев А.К., Детьиненко Л.А. и др. Техногенная геохимия Кичи-Кеминской долины // Геохимия АН СССР. – М., 1991. – № 7. – С. 1004-1013.
2. Кожобаев К.А., Аманов К.А., Сарногоев А.К., Молдогазиева Г.Т., Атыкенова Э.Э., Карамышева Н.Ч. Тяжелые металлы и радионуклиды в Кичи-Кеминской долине Кыргызской Республики // Мат. 4-й межд. конф. «Тяжелые металлы и радионуклиды в окружающей среде» г. Семипалатинск, Респ. Казахстан. – 2006. – Т. 1. – С. 227-233.
3. Кожобаев К.А., Аманов К.А., Молдогазиева Г.Т., Касиев А.К., Усубалиева Ж.Ж. «О радиоэкологическом состоянии района бывшего «8-го комбината» и южного побережья озера Иссык-Куль» // Современные проблемы механики сплошных сред: Сб. трудов Межд. Конф. «Проблемы геомеханики и освоения недр». Вып. 14. – Бишкек, 2011. – С. 115-127.
4. Кожобаев К.А., Молдогазиева Г.Т., Тотубаева Н.Э., Оторова С.Т. Геоэкологические проблемы, связанные с деятельностью горнодобывающих предприятий Кыргызской Республики // Горный журнал. – 2016. – № 8 (2229). – С. 32-37.

5. Торгоев И.А., Алешин Ю.Г. Геоэкология и отходы горнопромышленного комплекса Кыргызстана. – Бишкек.: Илим, 2009. – 240 с.

Фондовая

6. Аманов К.А., Соломович Г.Б., Туровский Д.С. Отчет по хоздоговорной теме: «Провести экогеохимическую съемку пахотных земель площадью 10 кв.км в долине реки Кичи-Кемин». – Бишкек: фонды Института геологии НАН Кыргызской Республики, 1991. – 84 с.

ВЛИЯНИЕ ТВЕРДЫХ ОТХОДОВ УГОЛЬНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ НА ЗАГРЯЗНЕНИЕ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

Н.А. Ларионова

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

Угледобывающая промышленность оказывает значительное техногенное воздействие на компоненты окружающей среды. Доля угольной отрасли по выбросам загрязняющих веществ в атмосферу на 2004 г. составляет 4,5% выбросов промышленности Российской Федерации в целом. В результате сброса больших объемов неочищенных сточных вод загрязняются поверхностные воды. Поступление сточных вод в водные объекты составляет порядка 7,5% от общего объема сбросов промышленностью. При этом объемы сбрасываемых сточных вод и образующихся твердых отходов возрастают (табл. 1).

Таблица 1
Воздействие угольной промышленности на окружающую среду [1]

Характер воздействия на окружающую среду	По годам		
	2002	2003	2004
Выброс загрязняющих веществ в атмосферный воздух, тыс.т.	819,5 (5,0%)*	763,9 (4,8%)	757,3 (4,5%)
Сброс загрязненных сточных вод в поверхностные водоемы, млн. м ³	394,6 (6,3%)	371,5 (6,3%)	413,8 (7,3%)
Образование отходов, млн. т.	1053,7 (52,9%)	1243,4 (48,3%)	1442,9 (55,5%)

Примечание: в скобках представлена доля от суммарного показателя для промышленности РФ в целом.

Геоэкологические проблемы при разработке угольных месторождений связаны с извлечением на поверхность значительных объемов подземных вод, больших масс углесодержащих пород и с выделением газов из разраба-

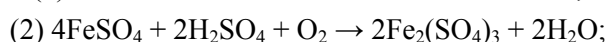
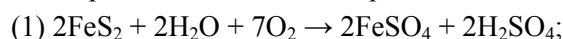
тываемого массива. За счет постоянного и интенсивного сброса шахтных вод загрязняются поверхностные водоемы, при этом изменяется минерализация воды, жесткость и состав компонентов, преимущественно увеличивается содержание сульфатов и железа. Ниже по течению стока шахтных вод речные воды приобретают сульфатный железисто-алюминиевый состав при минерализации от 0,64 до 6,0 г/л и более. Содержание сульфатов может составлять до 3,7 г/л, железа – до 0,9 г/л, алюминия – до 0,16 г/л при pH 2,5-2,9 [2].

Угли многих месторождений отличаются по составу и свойствам, в том числе и по содержанию серы и микрокомпонентов. В частности, каменные угли Кизеловского бассейна гумусовые, плотные, характеризуются высокой зольностью (25-36%) и выходом летучих компонентов (36-47%), относятся к высокосернистым. Содержание серы в углях составляет 5,5-6%, иногда достигает 10%. Большое количество вскрышных пород извлекается на поверхность и складировается в отвалы. При добыче каждой тысячи тонн угля шахтным способом на поверхность поступает в среднем 100-115 м³ породы, а при карьерной добыче требуют размещения 3,6 тыс. м³ вскрышных пород [4].

За счет проходки выработок образуется около 52% вскрышных пород. Они складированы вблизи стволов шахт в виде терриконов высотой до 60-80 м и отвалов хребтовидной формы (92%), а также плоских отвалов (8%). Отвалы состоят на 60-80% из обломков аргиллитов, алевролитов 10-30%, песчаников 4-10%, известняков до 6%. В их составе присутствуют включения угля (6-20%) и пирита до 7%. Отвалы вскрышных пород, образующиеся при проходке и переработке угля, становятся вторичными источниками загрязнения окружающей среды. Даже после закрытия шахт они продолжают оказывать значительное техногенное воздействие.

Загрязнение атмосферы токсичными газами происходит при горении отвалов, когда в воздух поступают соединения серы, оксиды углерода, канцерогенные углеводороды, сажа и другие токсичные компоненты. Их воздействие прослеживается на расстоянии 2,5-3,0 км от источника. Концентрации диоксида углерода и оксидов серы на расстоянии 300 м от горящего отвала могут достигать 125 мг/м³ и 1,65 мг/м³ соответственно. Максимальный уровень загрязнения отмечен в радиусе до 500 м.

Выведенные на дневную поверхность вскрышные породы претерпевают существенные изменения за счет протекающих физико-химических процессов. Под действием кислорода воздуха и атмосферных осадков породы подвергаются выветриванию. Для горнодобывающей промышленности, особенно связанной с разработкой сульфидных месторождений и угледобычей, характерна техногенная разновидность сернокислого выветривания. Породы, содержащие пирит, подвергаются окислению. Физико-химическая модель сернокислотного выветривания может быть представлена в следующем виде:



Считается, что реакция (1) осуществляется в основном чисто химическим путем. В сильноокислой среде с участием тионовых бактерий образуется сульфат окиси железа, который действует на пирит как сильный окислитель. В процессе окисления образуется большое количество свободной серной кислоты, обеспечивающей формирование сернокислых обстановок. В связи с этим воздействие продуктов окисления на породы отвалов вызывает специфический сернокислый гидролиз первичных минералов, их разложение и трансформацию. В результате протекающих процессов в породах отвалов накапливаются большое количество подвижных соединений и водорастворимых солей, содержание которых может достигать 2% и более.

Дождевые и талые воды, стекая по поверхности отвалов и фильтруясь через толщу пород, обогащаются геохимически активными продуктами выветривания, в том числе и водорастворимыми солями, преимущественно сульфатами. Стоки с отвалов характеризуются низкой кислотностью (рН=1-3), преобладанием сульфат-ионов (до 30 г/л), железа (около 8-10 г/л), повышенной минерализацией, достигающей 30-40 г/л (табл. 2).

Таблица 2

Химический состав грунтов с отвалов шахт Кизеловского бассейна [2]

Наименование шахты	рН	SO ₄ ²⁻	СГ	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Fe ³⁺	Fe ²⁺	М, мг/л
1989-1991								
Ключевская	2,77	2065,3	117,3	160,3	60,8	217,0	40,0	3157,9
Центральная	2,35	9905,6	17,7	248,5	253,3	0,0	874,9	11280,0
Серова	1,79	29971,9	106,4	200,4	151,9	302,0	7348,0	42283,4
2006								
Тажная	2,75	3430,8	35,4	300,6	91,1	0,0	237,3	4635,6
Шумихинская	1,99	26427,5	69,4	340,6	279,5	1745	3351,0	34935,5
Центральная	2,87	2786,9	99,2	140,2	85,0	0,0	96,3	3711,4

Наибольшему воздействию атмосферных агентов подвергается поверхностная часть отвалов вскрышных пород. Общая минерализация формирующихся растворов зависит от состава вскрышных пород, в частности, содержания сульфидов, и времени их отсыпки. Ее величина определяется интенсивностью протекающих процессов. В отвалах старой отсыпки, породы которых в течение длительного времени подвергались процессу выветривания, в поверхностных слоях массива содержание водорастворимых солей составляет 0,014-0,041%, в то время как для других, более «молодых» отвалов минерализация достигает 1,36-2,13%. Для всех отвалов вскрышных пород, содержащих пирит, характерным является повышение кислотности по глубине массива, и связанное с этим, увеличение содержания водорастворимых солей и общей серы (табл. 3).

Таблица 3

**Изменение содержания компонентов в отвалах
в зависимости от времени отсыпки пород (с сокращениями) [3]**

Название шахты или № разреза. (Время после отсыпки пород, годы)	Глубина отбора, см	pH	S _{общ.} , %	Сухой остаток, %
Шахта «Григорий»; р. 528 (50 лет)	с поверхности	2,94	5,48	0,014
	0 – 10	3,32	4,81	0,028
	30 – 40	3,03	6,23	0,041
	180 – 200	1,56	6,86	2,38
Шахта «Жонес»; р. 519 (30 лет)	0 – 15	2,84	5,15	0,041
	50 – 60	2,51	5,72	0,89
	220 – 250	2,28	6,46	1,51
Шахта № 40; р. 504 (20 лет)	0 – 15	3,04	5,54	1,36
	15 – 30	2,00	6,12	2,13
Шахта № 32; р. 529 (10 лет)	0 – 20	2,08	5,21	1,78
Шахта № 38; р. 601 (5 лет)	с поверхности	2,02	5,54	2,13

Это подчеркивает, что в большей степени процессу выветривания подвержены породы верхних слоев массива отвалов, а общая минерализация пород отвалов и формирующихся за счет дождевых и талых вод поверхностных стоков зависит от возраста отвалов.

В то же время минерализация фильтрационных вод и подотвальных стоков не зависит от времени отсыпки и может достигать 54-67 г/л. Поступление фильтрационных вод в подземные воды способствует их загрязнению и изменению химического состава. Воздействие агрессивных растворов приводит к растворению и трансформации первичных минералов, выносу растворимых соединений, что способствует, в свою очередь, изменению состава и физико-механических свойств грунтов, в том числе повышению их фильтрационной способности.

С водными поверхностными стоками с отвалов в почвы поступает большое количество взвесей в виде дисперсных частиц и коллоидов, формируя, так называемые техногенно-геохимические наносы. Химический состав твердой части этих стоков достаточно разнообразен и изменяется во времени. В твердой части наносов кроме водорастворимых солей присутствуют различные микроэлементы, содержание которых также зависит от интенсивности протекающих процессов и времени воздействия атмосферных агентов на породы отвалов (табл. 4).

Наибольшее количество железа, марганца, меди и других микроэлементов характерно для участков, расположенных вблизи отвалов, где отмечается высокая кислотность (pH=1,5-1,8) и значительная минерализация пород. В породах отвалов старой отсыпки и поверхностных стоках содержание микроэлементов уменьшается в 30-50 раз по сравнению с более «молодыми» отвалами, для которых содержание железа колеблется от 840 мг/л до 9600 мг/л.

Таблица 4

Содержание микроэлементов во вторичных потоках, поступающих от отвалов вскрышных пород (с сокращением) [3]

Название шахты, (Время после отсыпки пород, годы)	Микроэлементы, мг/л							
	Mn	Cu	Zn	Ni	Co	Cd	Cr	Pb
Шахта «Жонес» (30 лет)	3,5– 2,6	0,08– 0,14	0,20	0,28– 0,36	0,3	0,018	н.о.	0,54– 0,14
Шахта № 38 (5 лет)	95– 113	14,6– 23,3	0,8– 23,0	1,88– 14,8	14,0– 2,30	0,52– 0,04	1,15– 0,9	–

Поверхностные стоки поступают в почвы и способствуют их загрязнению. Наиболее интенсивному воздействию подвергается поверхностный слой почв. Более крупные механические примеси задерживаются частицами почвы, а водорастворимые соединения и микроэлементы распространяются вниз по профилю. Накопление водорастворимых солей приводит к повышению величины сухого остатка до 0,22-0,76 г/л. При этом формируются техногенно-литохимические аномалии, отличающиеся высокой кислотностью (рН=2,3-3,8), повышенным содержанием железа (14,5-55,0%), алюминия (4,8-9,48%) и некоторых микроэлементов, в том числе и в подвижной форме (табл. 5).

Таблица 5

Химический состав техногенных литохимических потоков, поступающих в почвы с отвалов вскрышных пород (с сокращением) [3]

Отвал шахты	Общее содержание					Подвижные формы				
	Fe	Al	Mn	Cu	Zn	Fe	Al	Mn	Cu	Zn
	%		н·10 ⁻³ , %			%		н·10 ⁻³ , %		
№ 38 (0-25 см)	14,5–	4,8–	17,0–	3,0–	5,0–	3,2–	0,12–	5,0–	0,7–	0,7–
	55,0	9,48	40,0	13,0	10,0	39,6	0,46	23,0	2,8	2,8
Григорий (0-30 см)	4,06–	6,52–	30,0–	4,0–	8,0	0,95–	0,08–	2,4–	0,4–	1,3–
	5,20	11,6	50,0	5,0		1,5	0,75	8,5	2,4	7,3

Примечание: в скобках указана глубина отбора проб.

Поступление загрязненных стоков кислого состава в почвы существенно изменяет их состав. При этом степень и характер изменения зависят от времени отсыпки отвалов, в зоне влияния которых расположены почвы. Для верхних горизонтов профиля почв отмечается кислая реакция среды, высокие концентрации сульфатов железа и марганца. Изменяется поглощенный комплекс почв и состав обменных катионов. Увеличивается количество поглощенного алюминия и водорода. Наиболее низкими показателями рН= 2,4-2,8, повышенным содержанием серы (3,9-2,84%) и железа (20,88-7,16%), в том числе в подвижной форме (6,7-2,3%) отличаются почвы, расположенные в районе воздействия отвалов недавней отсыпки (№38). Характерным для ис-

следованных почв является повышение рН с глубиной по разрезу, при этом значительно снижается содержание серы и железа. С глубиной по профилю в обменном комплексе повышается присутствие Ca^{2+} , снижается количество обменного H^+ до 0,05 мг-экв/100 г грунта, но преобладающим катионом в обменном комплексе остается Al^{3+} , содержание которого может составлять около 55-70% от величины емкости обмена.

Таким образом, угледобывающая промышленность является одной из ведущих отраслей промышленности, оказывающей значительное техногенное воздействие на окружающую среду. Промышленные отходы, в виде отвалов вскрышных пород становятся вторичными источниками загрязнения всех компонентов окружающей среды. В целях снижения или предотвращения их техногенного воздействия на окружающую среду возникает необходимость разработки технологий и применения их для создания техногенно-геохимических барьеров.

Литература

1. Государственный доклад «О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2005 году». – М.: Министерство природных ресурсов РФ, 2006. – 495 с.
2. Максимович Н.Г., Хайрулина Е.А. Геохимические барьеры и охрана окружающей среды. – Пермь: Пермский государственный университет, 2011. – 248 с.
3. Солнцева Н.П., Никифорова Е.М. Влияние техногенных потоков на геохимию лесных почв (в связи с угледобычей) // Добыча полезных ископаемых и геохимия природных систем. – М.: Наука, 1982. – 277 с.
4. Тютюнова Ф.И. Гидрогеохимия техногенеза. – М.: Наука, 1987. – 335 с.

ОЦЕНКА ОПАСНОСТИ ХВОСТОХРАНИЛИЩ ГОРНО-ОБОГАТИТЕЛЬНЫХ ФАБРИК ВОЛЬФРАМО-МОЛИБДЕНОВЫХ РУД НА ТЕРРИТОРИИ РОССИИ

И.В. Мальнева

ФГУП ВСЕГИНГЕО, Московская обл., пос. Зеленый. E-mail: malnir@mail.ru

В последнее десятилетие неуклонно растет количество катастрофических событий как в мире в целом, так и в отдельных странах. Многие катастрофические события связаны с проявлением опасных геологических процессов – оползней, селей и др. Изменилась активность экзогенных процессов, наиболее чувствительных к погодным условиям. Вторым глобальным процессом, обуславливающим рост природных катастроф, следует считать техногенез, связанный с ростом индустриализации общества, увеличением по-

требления природных ресурсов [5]. Наиболее опасные природные катастрофы в настоящее время могут носить природно-техногенный характер.

На территории России возможны катастрофы, связанные с хвостохранилищами горно-обогатительных фабрик, из которых в первую очередь следует обратить внимание на крупнейшие, практически закрытые, комбинаты по добыче и переработке вольфрамо-молибденовых руд на Северном Кавказе (Тырныауз) и в республике Бурятия (Закаменск).

Несмотря на то, что эти комбинаты расположены очень далеко друг от друга, их территория характеризуется сходными показателями по степени опасности экзогенных геологических процессов (оползней, селей и др.), которые увеличивают вероятность катастрофы в регионе. При разрушении этих хвостохранилищ в первом случае пострадает весь Северный Кавказ, во втором – озеро Байкал.

Хвостохранилище – это комплекс специальных сооружений и оборудования, предназначенный для хранения или захоронения радиоактивных, токсичных и других отвальных отходов обогащения полезных ископаемых, именуемых хвостами. На горно-обогатительных комбинатах (ГОК) из поступающей добытой руды получают концентрат, а отходы переработки перемещают в хвостохранилище. Из хвостов намывается дамба, которой огораживается хвостохранилище. Старые хвостохранилища, выполненные без учёта фильтрации и других факторов, нередко становятся источником экологической опасности, в том числе, источником загрязнения почвенных вод и атмосферы.

Вольфрамо-молибденовый комбинат на Северном Кавказе расположен около г. Тырныауза в Кабардино-Балкарии, а хвостохранилище расположено в бассейне р. Гижгит. Месторождение в г. Тырныаузе было открыто в 1934 г. В 1980х гг. возникший на базе месторождения крупнейший в России горно-металлургический комбинат покрывал до 80% союзной потребности в вольфрамо-молибденовом концентрате. Для складирования прошедшего обогащения сырья бывшего Тырныаузского горнообогатительного комбината (ТГМК) (пульпы) в 1966 г. была возведена плотина и сооружены различные объекты для направления отделяющейся от пульпы воды в русло р. Баксан.

Хвостохранилище в настоящее время переполнено, объем хвостов составляет более 110 млн м³. Жидкие отходы (хвосты), фильтруясь через земляную плотину и берега, загрязняют грунтовые воды и реки. В составе хвостов отмечается очень высокая концентрация ядовитых химических веществ. Их концентрация от 100 до 1000 раз превышает ПДК в грунтах, жидких и сухих отходах хвостохранилища [2].

Хвостохранилище в Бурятии расположено около г. Закаменск, история которого тесно связана с историей открытия и разработки месторождений вольфрама и молибдена в Джидинском рудном узле и производством вольфрамового и молибденового концентрата на Джидинском горно-обогатительном комбинате. Город находится на юго-западе Бурятии вблизи государственной границы с Монголией, в центральной части Джидинского хребта. Расположен в долине р. Модон-Куль – правого притока р. Джиды.

Высота днища горной долины около 1100 м над уровнем моря, вплотную к городу примыкают средневысотные горы с абсолютными отметками 1300–1400 м.

Начало строительству Джидинского вольфрамо-молибденового комбината было положено в 1934 г. Во время Великой отечественной войны Тырныаузский горно-обогатительный комбинат оказался оккупирован, в результате чего местный комбинат стал основным поставщиком вольфрама в стране. В 1990-е гг. производство вольфрама резко снизилось. Цены на мировом рынке снизились на треть, реализация сократилась в 2,2 раза. 26 февраля 1998 г. Джидинский вольфрамо-молибденовый комбинат прекратил своё существование.

Основными источниками загрязнения в районе Закаменска являются пески хвостохранилищ – отходов работы обогатительных фабрик закрывшегося комбината. Всего за период работы Джидинского вольфрамо-молибденового комбината образовалось более 40 млн тонн отходов. На территории самого города Закаменск отмечено загрязнение химическими элементами Cu, Zn, As, Pb, Mo, W, Cd, Sb.

Горные территории, где расположены хвостохранилища, характеризуются высокой опасностью экзогенных геологических процессов. Это, прежде всего, сели, а также парагенетически связанные с ними оползни и эрозия. Активность селей и связанных с ними оползней и эрозии, и, соответственно, высокая вероятность природно-техногенной катастрофы, обусловлена инженерно-геологическими условиями развития этих процессов и основными быстроизменяющимися факторами, определяющими их активизацию.

Для оценки опасности территории целесообразно обратиться к «Карте оценки интенсивности проявления современных геологических процессов и геологических опасностей освоения территории масштаба 1:2 500000», составленной во ВСЕГИНГЕО в 2010 г. [1]. В соответствии с основными положениями, по которым дается оценка опасности, приводится сравнительная характеристика территории, на которой расположены хвостохранилища. В обоих случаях возможно развитие опасных геологических процессов, которые могут создавать большую опасность на конкретной территории. Преобладают парагенетические комплексы, для которых характерно преимущественное развитие селей, оползней, эрозии, а также осыпей, лавин, обвалов. На указанной карте степень опасности территории определяется как 5С1Эр, 4С3О, 2С1О в районе Тырныауза и 5С2О1Эр, 4С2О1Эр, 2О1Эр в Бурятии (С – сели, О – оползни, Эр – эрозия.). При этом 5 – это чрезвычайно опасные территории, 4 – весьма опасные.

На Северном Кавказе ряд мелких притоков реки Гижгит являются селеносными. Сели подпитываются за счет подрезки склонов и русловой отмытости и могут сформировать вынос от 10 до 100 тыс. м³ грязекаменной массы [4]. Возможный прорыв плотины хвостохранилища неизбежно приведет к формированию колоссального селевого потока. Последствия такой катастрофы могут быть во много раз больше, чем паводка 2002 г.

В районе г. Закаменск сведений о проявлении селей не имеется, однако, имеется возможность их формирования при соответствующих условиях.

Основные быстроизменяющиеся факторы формирования селей и других опасных геологических процессов – прежде всего гидрометеорологические условия – количество осадков за год, за летний период, за селеопасный сезон и т.д.

На Северном Кавказе метеорологические наблюдения ведутся достаточно далеко от р. Гижгит. Качественные метеорологические наблюдения ведутся на метеостанции Терскол, но она расположена более чем на 500 м выше. На основании анализа всех имеющихся метеорологических данных можно отметить, что ситуации, подобные июню 2002 г., когда была высокая вероятность прорыва плотины хвостохранилища, наступают одновременно во всем регионе. 21 июня 2002 г., когда возникла опасность прорыва плотины, по данным метеостанции Терскол выпало 40,6 мм осадков (обеспеченность менее 10%). По метеорологическим условиям 2002 г. на Северном Кавказе был аномальным с самого начала. 20–21 июня прошли сильные дожди, охватившие весь Северный Кавказ. Предположительно, во всех районах Северного Кавказа выпали осадки 1% обеспеченности. Сильные дожди ливневого характера вызвали дождевые паводки на реках, подтопление населенных пунктов. Максимальные селевые выносы могут сформироваться во время экстремальных ливней (по продолжительности и интенсивности). Очень большая опасность была и в мае 2014 г. при обильных осадках и наводнении в среднегорной и низкогорной территории Кабардино-Балкарии.

Метеорологические условия в районе г. Закаменск, с одной стороны, существенно отличаются от условий в бассейне р. Гижгит. С другой стороны при очень малом количестве осадков за год (250–400 мм) здесь возможны ливни с количеством осадков 30–40 мм, что вполне достаточно для формирования селей и размыва ими материала хвостохранилищ. На территории г. Закаменск недостаточно также и метеорологической информации. На ближайшей метеостанции Цакир наблюдения ведутся только с 2009 г.

Условия, способствующие созданию оптимального режима увлажнения для активизации опасных природных процессов, можно количественно выразить числом дней с определенными типами атмосферной циркуляции, элементарными циркуляционными механизмами (ЭЦМ) по типизации Б.Л. Дзердзеевского, при которых погода на данной территории соответствует указанным условиям. Так в июне 2002 г. отмечено 18 дней с ЭЦМ 13 л., при нем на Кавказе наиболее вероятны суточные осадки более 30 и даже 50 мм.

Во многих публикациях неоднократно отмечалось, что наиболее опасная погода на Северном Кавказе связана с ЭЦМ 13л, 12а, 9а и некоторыми другими [3]. Наиболее значительные осадки по данным метеостанции Цакир, также связаны с ЭЦМ 13л, 12а, 9а.

При указанных макроциркуляционных процессах наблюдается как выход южных циклонов на территорию Прибайкалья и Северного Кавказа, где расположены исследуемые территории, так и блокирующие процессы.

С 1999 г. рост продолжительности южных циклонов сменяется увеличением суммарной годовой продолжительности блокирующих процессов и длительного существования устойчивых антициклонов на континентах зимой и летом. Главной особенностью погоды в ближайшие годы будет ее неустойчивость, возможны экстремальные засухи и наводнения. Увеличение суммарной годовой продолжительности макроциркуляционных процессов, обеспечивающих межширотный обмен воздушных масс, приводит к возрастанию экстремальных осадков в разных секторах Северного полушария, в том числе и на территории России, что в свою очередь ведет к росту наводнений и опасных экзогенных процессов. Как на Северном Кавказе, так и в Сибири данная ситуация может привести к увеличению опасности размыва материала хвостохранилищ и прорыва дамбы.

В настоящее время в КБР предложен проект рекультивации хвостохранилища ТГОК. Многие специалисты на основании многолетних наблюдений предлагают варианты предотвращения прорыва плотины и улучшения экологического состояния территории. Однако существенных мер до сих пор никем не принято.

Вопрос о разработке материалов хвостохранилищ поставлен также в Закаменске. В 2010 г. вопрос о ликвидации хвостохранилища власти республики внесли в качестве предложения в Федеральную целевую программу «Охрана озера Байкал и социально-экономическое развитие Байкальской природной территории».

Для получения более достоверных результатов необходимы режимные наблюдения на территории, где расположены хвостохранилища, за метеорологическими факторами формирования селей, расходами и мутностью рек, влажностью грунтов, размываемостью поверхностных отложений как естественного происхождения, так и техногенных. Особенно большое значение будут иметь прогнозы опасных геологических процессов, которые невозможно составить без режимных наблюдений за процессами и гидрометеорологическими, сейсмическими и др. факторами, их обуславливающими. При этом необходимы как долговременные прогнозы (заблаговременностью 10–15 лет), так и краткосрочные, а также оперативные прогнозы, которые требуется регулярно передавать в МЧС для обеспечения безопасности.

Литература

1. *Круподеров В. С., Крестин Б. М., Мальнева И. В., Дьяконова В. И.* Карта геологических опасностей России масштаба 1 : 2 500 000 // Разведка и охрана недр. – 2011. – № 9. – С. 49-52.
2. *Курбанов С.О., Ахматов М.А.* Прогноз и предотвращение чрезвычайной ситуации на хвостохранилище ТВМК, в ущелье р. Баксан // Труды Всероссийской конференции по селям: 26-28 октября 2005 г. / Под ред. М.Ч. Залиханова. – Изд-во ЛКИ, 2008. – С. 374-376.
3. *Мальнева И. В., Кононова Н. К.* Активность селей на территории России и ближнего зарубежья в XXI веке // ГеоРиск. – 2012. – № 4. – С. 48-54.

4. Мальнева И.В., Сейнова И.Б. Изучение режима селей, формирующихся на отвалах горных выработок // Изучение режима экзогенных геологических процессов в районах интенсивного хозяйственного освоения: сб. науч. тр. – М.: ВСЕГИНГЕО, 1988. – С. 84-88.

5. Осипов В. И. Природные катастрофы: анализ развития и пути минимизации последствий // Науч.-практ. журн. «Проблемы анализа риска». – 2015. – Т. 12. – С. 84-93.

ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ РАЗМЕЩЕНИЯ ОТХОДОВ ТОПЛИВНО-ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА

С.К. Николаева¹, Е.Н. Огородникова²

¹ МГУ им. М. В. Ломоносова. Геологический факультет. 119899, Москва, Ленинские горы.
E-mail: sk.niko@geol.msu.ru

² РУДН, Экологический факультет. 117198, Москва, ул. Миклухо-Маклая, д. 6

Отходами топливно-энергетического комплекса являются, в том числе, отходы добычи, обогащения и переработки твердого топлива. Различные виды твердого топлива – торф, бурые и каменные угли, горючие сланцы, – в разной степени использовались в энергетической промышленности страны на протяжении двадцатого века и продолжают использоваться поныне. На каждой стадии производства формируются отходы, количество, состав и свойства которых определяются видом исходного сырья, технологиями его добычи и обогащения, зависят от целей и способа переработки.

По данным Госдоклада 88,7% от общего объема образующихся отходов приходится на добычу полезных ископаемых, из них на добычу топливно-энергетических полезных ископаемых – 58,7% [3]. Наибольшее количество отходов угольной промышленности образуется на стадии добычи твердого топлива. Отходами добычи являются **вскрышные и вмещающие породы**. В зависимости от способа добычи – открытого или подземного, – они формируют отвалы или терриконы соответственно. При добыче угля открытым способом разработка грунта, выемка его, транспортировка и укладка могут осуществляться различными методами: механическим и гидромеханическим. Соответственно, твердые отходы накапливаются на поверхности Земли в виде отсыпанных или намывных отвалов или гидроотвалов. Они сложены обычно перемещенными песчаными и глинистыми породами четвертичного возраста (вскрышными) и дочетвертичными породами (вмещающими угольные пласты), причем нарушенного сложения. При шахтной добыче формируются отвалы конусообразной формы – терриконы, в которых перемещенные обломочные породы содержат значительное количество угля, что способствует развитию термических процессов, приводящих к горению терриконов, обжигу и ошлакованию пород и др.

Влияние открытых и подземных горных разработок на «качество ресурса геологического пространства», его существенную трансформацию убедительно показано В.Т. Трофимовым с соавторами [2]. Происходят сокращение полезных площадей за счет расширения горных отводов, активизация геодинамических процессов вследствие формирования техногенного рельефа с большим перепадом высот, сдвигание пород над выработанным подземным пространством, изменения гидрогеологических, гидрологических и геокриологических условий, геофизических и геохимических полей и др.

Обогащение углей производится гравитационными методами и флотацией. Конечными продуктами обогащения являются концентрат (или беспородная масса) и отходы обогащения (**угольные шламы**). Отходы обогащения углей накапливаются в хвостохранилищах (шламонакопителях). В зависимости от необходимых объемов для размещения складированных отходов и наличия земельных ресурсов, размеры хвостохранилищ могут быть различными. Вследствие длительной и интенсивной угледобычи в Украине в 74 шламонакопителях 62 обогатительных фабрик накоплено 62,5 млн. м³ угольных шламов – отходов технологии углеобогащения, занимающих площадь более 1500 га. Существует необходимость переработки этих отходов с целью доизвлечения полезного сырья и рекультивации земель [6].

Угольные шламы являются сложными полиминеральными образованиями и состоят из частиц разнообразной формы и крупности. Литологический состав отходов обогащения (по различным бассейнам) неоднороден. Различия в составе и свойствах определяются высокой зольностью извлекаемого при обогащении угля, его «маркой», характеризующей его горючую массу. Шламы имеют относительно высокую дисперсность, так как твердая фаза на 70% и более представлена частицами мельче 74 мкм. При такой дисперсности и отсутствии связности, шламы легко размываются в откосах дамб накопителей и разносятся ветром с поверхностей пляжей в бывших зонах сброса пульпы. Возможны повреждения и прорывы дамб шламонакопителей с последующим разливом жидкообразных отходов (пульпы) с прямым ущербом для прилегающих территорий.

Около 40% добычи угля используется для обеспечения топливом объектов энергетики. С этой целью применяется в основном недефицитный уголь, непригодный для производства кокса и другого технологического использования. Этот уголь имеет повышенную зольность и содержание серы, подвержен быстрому окислению. При сжигании углей их минеральные компоненты образуют **золошлаковые отходы**, которые содержат некоторое количество несгоревшего угля – недожога. В настоящее время на всех ТЭЦ и ГРЭС используется в основном гидравлический способ удаления отходов: зола и шлак по системе пульпопроводов перекачиваются насосами в гидроотвал. По данным А.М. Гальперина в пределах бывшего СССР ежегодно складировалось около 150 млн. т золы, из них утилизировалось, в целом, не более 2-4 % [1]. Только в Тульской области накоплено более 132 млн.т. отходов ТЭЦ и ГРЭС.

Процесс подземной газификации позволяет получать энергетические и технологические газы в естественных пластах на месте их залегания, то есть использовать энергию топлива без выемки его на поверхность. На месте угольного пласта в выгоревшем пространстве образуются в результате газификации зола и шлак, а толща вмещающих пород под действием высоких температур обжигается.

На территории Российской Федерации выделяются четыре зоны различной интенсивности образования техногенных грунтов – отходов угольной промышленности. К районам очень высокой интенсивности накопления этих отходов ($>100 \text{ м}^3/\text{км}^2$ в год) отнесены: Центральный регион ($108,4 \text{ м}^3/\text{км}^2$ в год), Уральский регион ($134,7 \text{ м}^3/\text{км}^2$ в год) и Западно-Сибирский регион ($328 \text{ м}^3/\text{км}^2$ в год), где около 80-90 % объемов техногенных грунтов образовано в процессе добычи угля открытым способом.

Регионами высокоинтенсивного ($10-100 \text{ м}^3/\text{км}^2$ в год) образования отходов угольной промышленности являются Северо-Кавказский, Восточно-Сибирский и Дальневосточный (соответственно $41,4$; $44,7$; $37,6 \text{ м}^3/\text{км}^2$ в год). В этих регионах более 90% отходов образуется в процессе добычи и обогащения углей.

Регионом средней ($1-10 \text{ м}^3/\text{км}^2$ в год) интенсивности образования отходов угольной промышленности является Северный экономический регион ($9,4 \text{ м}^3/\text{км}^2$ в год), где большой объем отходов накапливается за счет подземной добычи угля.

Северо-Западный, Волго-Вятский, Центрально-Черноземный и Поволжский регионы характеризуются низкой ($<1 \text{ м}^3/\text{км}^2$ в год) интенсивностью накопления (соответственно $0,53$; $0,46$; $0,23$; $0,34 \text{ м}^3/\text{км}^2$ в год). В этих районах отходы образуются лишь в теплоэнергетике, при сжигании угля на ТЭЦ, ТЭС и ГРЭС [4].

В результате сжигания при различных тепловых и фазовых превращениях твердого топлива образуются три вида отходов: зола-унос, зола топлива и шлак. В отечественной энергетике основным способом удаления золы и шлака является гидравлический способ с расходом около 30 м^3 воды на каждую тонну удаляемых отходов, что приводит к накоплению массивов золошлакоотвалов. Золошлакоотвал (накопитель) представляет собой массив техногенного грунта, в котором зола и шлак распределены в зависимости от способа удаления и технологии намыва. В системе гидрозолоудаления золоотвал является элементом, оказывающим наибольшее влияние на природную систему, поскольку в этом гидротехническом сооружении осуществляется непосредственный контакт золошлаковых отходов с окружающей средой. Химический состав золошлаков от сжигания энергетических топлив зависит в первую очередь от химического и минерального состава вмещающих горных пород. Так, например, в золах и шлаках донецких углей преобладают оксиды кремния и алюминия, содержание которых может соответственно находиться в пределах 35-65% и 12-30%. Зола этих углей содержит также самое высокое количество щелочей ($\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$) до 6% и не полностью сгоревшего углерода (20-25%) [5].

Для золошлаков от сжигания каменных углей Кузнецкого бассейна характерно высокое содержание кремнезема (до 60%) и низкое содержание оксидов железа (менее 10%). Самое высокое количество кремнезема и глинозема содержат золошлаки от сжигания топлива Экибастузского угольного бассейна. Суммарное содержание их может достигать величин 80-90%. Для этих золошлаков характерно низкое содержание оксида кальция и щелочных компонентов (менее 1%). Экибастузские золы характеризуются чрезвычайно высокой дисперсностью и абразивностью. Один из крупнейших бурогольных бассейнов – Канско-Ачинский, – является источником получения золошлаков, которые отличаются специфическим составом, характерным для карбонатных пород: высоким содержанием оксида кальция (до 40%). Золы и шлаки от разного исходного топлива содержат значительное количество микрокомпонентов, в том числе, тяжелых металлов, радиоактивных и пр.

В процессе складирования пульпы, ее накопления на золоотвале и последующих процессов взаимодействия активных компонентов между собой, а также с газами атмосферы и природными водами золы и шлаки претерпевают литогенетические преобразования. Для всех типов зол характерно уплотнение и обезвоживание во времени, что приводит к изменению их физических и физико-механических свойств. Для активных зол возможны процессы, формирующие кристаллические новообразования, цементирующие зольные и шлаковые частицы, в результате чего раздельнозернистая структура трансформируется в кристаллизационную. Следует подчеркнуть, что массивы золошлакоотвалов являются источниками загрязнения окружающей среды, причем миграция загрязняющих веществ может происходить за счет ветрового переноса (пыления), плоскостного смыва, временных потоков, с подотвальными водами.

Еще с середины прошлого века известны примеры использования зол и шлаков ТЭС для извлечения алюминия, возведения дамб наращивания на отвалах, для производства шлакоблоков, в промышленном и гражданском строительстве для сооружения насыпей, подсыпок и обратных засыпок, фундаментов, в дорожном строительстве для укрепления грунтов.

В последнее время интерес к использованию золошлаковых отходов проявляется вновь. Одним из примеров может служить применение золы Каширской ГРЭС для строительства транспортной развязки автомобильной и железной дорог на участке перегона Михнево-Жилево в Подмосковье.

Подытоживая, можно выделить следующие основные и до сих пор еще не решенные проблемы размещения отходов топливно-энергетического комплекса: 1) снижение высокой землеемкости горнодобывающих работ и переработки твердого топлива; 2) рекультивация нарушенных участков в пределах земельных отводов, особенно уже не действующих предприятий; 3) организация мониторинга геодинамических процессов и принятие необходимых мер для предотвращения аварийных ситуаций; 4) организация мониторинга геохимической миграции элементов с целью разработки мероприятий по

предотвращению распространения загрязнений; 5) разработка технологий по утилизации и использованию накопленных отходов с целью восстановления качества ресурса геологического пространства.

Литература

1. Гальперин А.М., В. Фёрстер В., Шеф Х.-Ю. Техногенные массивы и охрана природных ресурсов. Т. 1: Насыпные и намывные массивы. – М.: Изд-во Московского Горного университета, 2006. – 391 с.
2. Геологическое пространство как экологический ресурс и его трансформация под влиянием техногенеза / Под ред. В.Т. Трофимова. – М.: Изд-во «Академическая наука» – Гео-маркетинг, 2014. – 566 с.
3. Государственный доклад о состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2012 году. <https://yandex.ru/search>. Обращение 2.02.1016.
4. Огородникова Е.Н., Николаева С.К. Техногенные грунты. – М.: Изд-во Московского ун-та, 2004. – 250 с.
5. Огородникова Е.Н., Николаева С.К., Ван Чин, Чэнь Хуэйэ, Чжан Цзе, Хоу Синь. Намывные грунты и управление их свойствами. – М.: РУДН, 2014. – 368 с.
6. Серегин А.И., Горлов Е.Г. Разработка технологических схем переработки угольных шламов в Товарную продукцию // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2009. – № 10.

ОСНОВЫ ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ РАЗРАБОТКЕ РУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

А.М. Плюснин

Геологический институт СО РАН, 670047, г. Улан-Удэ, ул. Сахьяновой, д. 6а.
E-mail: plyusnin@gin.bscnet.ru

Введение. В горнорудном производстве из недр извлекается огромное количество горных пород. После извлечения полезных компонентов практически вся масса горных пород складывается для длительного хранения. В настоящее время в Российской Федерации, так или иначе, переходят в отходы 90–99% извлекаемых из недр пород. Накопленная масса отходов превышает сто миллиардов тонн [8]. Твердые отходы делятся на две группы: отходы добычи – вскрышные породы и отходы переработки – хвосты. Оба вида отходов содержат в своем составе неустойчивые в приповерхностных условиях минералы. Горные породы издроблены в технологическом процессе, рудная минерализация доступна воздействию воды, кислорода и др. агентов выветривания. Жидкие отходы представлены двумя типами: шахтными (рудничными) водами и сточными водами обогатительных фабрик. При разработке месторождений многие компоненты, изначально находившиеся в твердом состоя-

нии, растворяются и попадают в подземные и поверхностные воды, загрязняют почву, растительность, атмосферу окружающих территорий [1, 4, 7, 10].

Применяемые способы утилизации. Для утилизации отходов в Российской Федерации было выработано несколько направлений, которые предполагают использование вскрышных пород и отходов обогащения при производстве строительных материалов, удобрений для сельского хозяйства, флюсов металлургической промышленности и др. [8]. Но до сих пор рост объемов образующихся отходов опережает рост их использования. Это связано со значительными затратами на транспортировку отходов, т.к. они часто располагаются вдали от строительной базы и других потребителей. Поэтому, вероятно, отходы горнодобывающего производства будут продолжать накапливаться, поэтому необходимо научиться их хранить с минимальной угрозой экологическому состоянию окружающей территории.

Как показывает опыт разработки рудных месторождений, вскрышные породы складированы недалеко от мест извлечения их из недр, а хвосты переработки размещаются в специально создаваемых хранилищах. Отходы добычи стараются размещать вдали от водных объектов, за их состоянием организуется мониторинг и больше никаких мероприятий по их утилизации не проводится. Считается, что, если они не используются для извлечения полезного компонента, значит, они не могут оказывать влияние на окружающую среду. Для хранения хвостов применяются хранилища двух типов: насыпные и наливные. Насыпные никак не отделяются от окружающей среды, наливные оборудуются системой физической защиты – ограждаются дамбой. При разработке рудных месторождений чаще применяются хвостохранилища наливного типа. Типичное строение хвостохранилища наливного типа не предусматривает дренаж, заключенной в нем воды. Предполагается, что вся вода, поступающая вместе с хвостами, после отстаивания удаляется в пруды-накопители и направляется для повторного использования в технологическом процессе по извлечению полезного компонента. Между тем, как показывает практика, хвосты остаются насыщенными водой, дамба не является препятствием для этих, загрязненных продуктами разложения рудной минерализацией, подземных вод. Для их перехвата за дамбой оборудуются пруды, собирающие просочившуюся воду, откуда она перекачивается обратно в хвостохранилище. В последние годы применяются методы изоляции хвостохранилищ от подземных и поверхностных вод с помощью различных полимерных материалов. При рекультивации хвосты переработки засеваются растительностью, что снижает их проницаемость для атмосферных вод. [2, 5, 6, 9, 11]. В направлении применения физической защиты имеются определенные достижения, в частности имеются примеры полной изоляции отходов от воздействия агентов выветривания. В 1980-х годах в США на медно-свинцово-цинковом месторождении Пекос проведены работы по рекультивации отходов разработки этого месторождения. Отходы производства были полностью изолированы от воздействия поверхностных и подземных вод. Для недопущения воздействия грунтовых вод была применена физическая защита, путем установки металлических щитов до коренных пород (высота стенки 10 м), все

вскрышные породы и хвосты переработки перекрыты непроницаемой пленкой и засыпаны слоем грунта мощностью 50-100 см, засеяны травянистой растительностью. Для осушения песков в хвостохранилище сооружены дренажные каналы, которые используются и для пропусков воды в период паводков. Всего здесь заскладировано 3 млн. т хвостов и 4 млн. т вскрышных пород. Затраты на рекультивацию составили 25 млн. долларов. По оценкам специалистов, если бы эти работы проводились в настоящее время, то затраты бы были в 3-4 раза больше [5]. Такие расходы на рекультивацию не выдержит ни одна горно-добывающая компания, даже при поддержке государства. Кроме этого нужно констатировать, что физическая защита предполагает постоянные затраты на поддержание ее в рабочем состоянии.

Пути решения проблемы. Сейчас отходы производства рассматриваются как техногенные месторождения, которые могут разрабатываться с целью извлечения присутствующих в них полезных ископаемых. Многие связывают решение проблемы экологически безопасного хранения отходов с этой вторичной переработкой. Действительно имеются проекты доизвлечения полезных ископаемых, в связи с усовершенствованием технологии. Промышленников привлекает вторичная переработка хвостов, несмотря на относительно низкие содержания полезного компонента, в связи с экономией на транспортные расходы, дробление руды и др. Но, как показали опытные работы, в частности по переработке вольфрамовых руд Джидинского и Бом-Горхонского техногенных месторождений, при добыче возникают две проблемы. Первая проблема связана с очень быстрым закислением вод, использующихся для промывки. Это связано с тем, что сульфидная минерализация, находящаяся в песках, при хранении в значительной степени окислилась. В песках повсеместно сформированы сульфатные, гидросульфатные, оксидные минералы, а поровые воды содержат в большом количестве серную кислоту. При добавлении к пескам воды, pH растворов, почти мгновенно, достигает значений 1,8-2,0 [3]. В прудах-накопителях, сооруженных для промывных вод на фабриках по вторичной переработке руд, pH составляет 2,8-3,2. Такой кислой среды не выдерживает технологическое оборудование, в частности, выходят из строя металлические детали насосов, трубопроводов, снижается эффективность извлечения вольфрамита, возникают другие проблемы. Все это приводит к удорожанию извлечения полезного компонента, добыча может стать нерентабельной. Кроме того, при вторичной переработке руд накапливаются большие объемы агрессивных кислых вод, которые представляют угрозу окружающей среде. Вторая проблема связана с тем, что фабрики извлекают только вольфрамит (гюбнерит), а другие полезные компоненты, в особенности, находящиеся в растворе, производственников не интересуют. Таким образом, проблема экологически безопасного хранения отходов, при таком подходе к вторичной переработке, не решается, а даже и усугубляется, так как формируются пруды-накопители с кислыми растворами, в которых присутствуют в большом количестве токсичные элементы [3].

По нашему мнению, экологическая безопасность при разработке рудных месторождений может быть достигнута только при коренной переоценке

отношения к горной деятельности – отходы этого производства должны рассматриваться как техногенные образования длительного (вечного) хранения. Должна измениться вся идеология взаимоотношения недропользователя и власти, ведь от этого зависит, сможем ли мы обеспечить экологически безопасное нахождение отходов в природе без участия человека уже после завершения производственной деятельности по разработке месторождений. Это может быть, достигнуто при реализации комплекса организационных и технических мероприятий.

Работа в этом направлении должна начаться на стадии составления лицензионного соглашения с горнодобывающей компанией. До начала разработки месторождения компания должна сформировать фонд на проведение рекультивационных работ, средства фонда помещаются на отдельный счет в банке. Сумма финансирования на рекультивацию рассчитывается совместно представителями компании и муниципалитетов, на территории которых находится месторождение и которые отвечают за её экологическое состояние. Денежные средства из фонда могут быть потрачены только с разрешения муниципалитета. До начала разработки месторождения составляется план рекультивационных работ, увязанный с этапами разработки месторождения. Приоритет на проведение рекультивационных работ имеет добывающая компания, но при некачественном выполнении обязательств муниципалитет может использовать этот фонд на конкурсной основе с привлечением исполнителя работ со стороны. Рекультивация проводится поэтапно, по мере отработки месторождения, поэтому добросовестность ее выполнения и затраты на ее проведение можно контролировать. Такой опыт взаимодействия компаний с муниципалитетами имеется на западе. Для его реализации необходимо принять соответствующие законы.

Технические мероприятия направлены на использование экологически безопасных и экономически эффективных способов хранения отходов. Применяемые мероприятия, по нашему мнению, должны использовать методы физической и геохимической защиты окружающей среды. Если мы не можем полностью изолировать отходы, то должны запустить механизм очистки, который будет протекать в дальнейшем без нашего участия.

Необходимо в корне изменить отношение недропользователя к отходам добычи, нужно воспринимать их как объекты экологической напряженности. Они, обычно, формируются с крутыми склонами и представляют собой крупно глыбовый материал, который хорошо проницаем для атмосферных осадков, в нем происходит конденсация водяного пара в ночной период. В пределах отложений отвалов вскрышных пород формируют ресурсы постоянные и временные водотоки, которые интенсивно загрязняются растворимыми продуктами разложения рудной минерализации. Необходимо включить их в план рекультивационных работ, предусмотреть перекрывание отвалов вскрышных пород отложениями мелких фракций, по возможности почвами или органическими остатками. Это позволит увеличить долю поверхностного стока и защитить находящуюся в них рудную минерализацию от разложения.

Ключевым объектом в системе безопасного хранения объектов должны стать хвостохранилища, куда собираются не только хвосты переработки, но и сточные воды. Проведенные нами экспериментальные работы по нейтрализации в лабораторных условиях поровых вод, находящихся в техногенных песках Джидинского хвостохранилища, показали, что для этого достаточно внесения известняка в количестве 3-5% от массы песков. Его нужно разместить в виде хорошо проницаемого для воды слоя. Кислотность растворов на этом барьере постепенно изменяется от pH 2,8 до 7,5. Из растворов удаляются токсичные элементы. На основании полученных результатов предложен новый тип хвостохранилища, заполнение которого производят мокрым способом, а хранение отходов в сухом виде. Хвостохранилище разделяют на секции ограждающими перемычками, в которых поочередно производят размещение отходов переработки. Дно секции заполняют крошкой известняка, измельченного до размерности 3-10 мм. Слой измельченного известняка укладывают на прочную водонепроницаемую пленку. Каждую секцию оборудуют дренажными колодцами, по которым растворы из песков сливаются в слой известняка. Для сбора воды, профильтровавшейся через слой известняка, у внешней стороны дамбы сооружается пруд-отстойник, он предназначен для отделения взвешенных веществ от жидкой фазы. Из пруда-отстойника осветленную воду сбрасывают в принимающий водный объект.

Решение проблемы оздоровления экологической обстановки, актуальной для всей горнодобывающей промышленности, можно увязать с сопутствующим извлечением из хвостохранилищ растворенных редкоземельных, благородных, цветных металлов, концентрации которых в поровых водах хвостов переработки превышают фоновые содержания на пять и более математических порядков. Эти компоненты из растворов можно высаживать в определенных местах хвостохранилища, с перспективой их последующего извлечения.

Литература

1. *Бортникова С.Б., Бортникова С.П., Шевко Е.П., Алехин Ю.В., Фяйзуллина Р.В.* Газовый перенос элементов из сульфидных хвостохранилищ. Геологическая эволюция взаимодействия воды с горными породами: материалы второй всероссийской конференции с международным участием. – Владивосток: Изд-во Дальнаука, 2015. – С. 450-453.
2. *Корельский Д.С.* Изоляция высокотоксичных техногенных массивов предприятий минерально-сырьевого комплекса // Недропользование. – 2011. – № 10. – С. 259.
3. *Плюснин А.М., Дамтилова Б.В., Жамбалова Д.И.* Проблемы хранения и вторичной переработки отходов разработки рудных месторождений. Ресурсовоспроизводящие, малоотходные и природоохранные технологии освоения недр: материалы XIII Международной конференции. – М.: РУДН, 2014. – С. 28-30.
4. *Плюснин А.М., Жамбалова Д.И., Дабаева В.В.* Миграция токсичных элементов в толще намывного хвостохранилища Джидинского ГОКа. Минералогия и геохимия ландшафта горнорудных территорий. Рациональное природопользование. Современное минералообразование: труды V Всероссийского симпозиума и XII Всероссийских чтений памяти акад. А.Е. Ферсмана. – Чита: Поиск, 2014. – С. 54-59.

5. *Робинсон П.* Пекос, Штат Нью-Мехико, США, «Хвосты с обогатительной фабрики по производству свинца и цинка: В поисках оптимального решения проблемы отходов после закрытия шахты» // Материалы семинара по проведению рекультивации и утилизации шахтных отходов. – Бухарест, Румыния, 21-23 апреля, 2004.

6. *Рыбаков Ю.С.* Применение химической рекультивации для защиты водных объектов от техногенного загрязнения // Электронный журнал. URL: <http://uigps.ru/content/nauchnyy-zhurnal> 2015. – № 7.

7. *Рыбникова Л.С., Рыбников П.А.* Шахтные воды затопленных медноколчеданных рудников Урала: техногенные месторождения или жидкие отходы? Ресурсовоспроизводящие, малоотходные и природоохранные технологии освоения недр: материалы XIII Международной конференции. – М.: РУДН, 2014. – С. 33-35.

8. *Умнов В.А.* Управление отходами в горной промышленности // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 1995. – Вып. 5. – С. 99-106.

9. *Ханчук А.Н., Кемкина Р.А., Кемкин И.В., Зверева В.П.* Минералого-геохимическое обоснование переработки лежалых песков хвостохранилищ Солнечного ГОКа (Комсомольский район, Хабаровский край) // Вестник Крануц. Науки о Земле. – 2012. – № 1. – Вып. 19.

10. *Юргенсон Г.А., Смирнова О.К., Солодухина М.А., Филенко Р.А.* Геохимические особенности руд и техноземов хвостохранилища золото-молибденового рудника Давенда в Восточном Забайкалье // Литосфера. – 2016. – № 2. – С. 91-106.

11. *Kossoff D. et al.* Mine tailings dams: Characteristics, failure, environmental impacts, and remediation // Applied Geochemistry. – 2014. – № 51. – P. 229-245.

ВОЗДЕЙСТВИЕ НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ ХВОСТОХРАНИЛИЩ БЫВШЕГО ПОЛИМЕТАЛЛИЧЕСКОГО РУДНИКА СУМСАР

И.А. Торгоев¹, Ю.Г. Алёшин¹, П. Стегнар²

¹ Научно-инженерный центр «ГЕОПРИБОР» НАН КР, 720017, Бишкек, ул. Медерова 98.
E-mail: isakbektor@mail.ru

² Институт им. Йозефа Штефана, Словения, Любляна. E-mail: stegnar@gmail.com

Отработанное Сумсарское месторождение полиметаллических руд находится на северном борту Ферганской впадины, в среднем течении долины трансграничной реки Сумсар, являющейся правым притоком р. Сырдарья.

Рудный комплекс по добыче и переработке свинцово-цинковых (Pb-Zn) руд эксплуатировался в Сумсаре в период с 1951 по 1978 гг. Добыча руды осуществлялась до 1960 г. открытым, а затем подземным способом. За весь период деятельности Сумсарского рудника было получено 72 тыс. тонн свинца и 16 тыс. тонн цинка.

В результате многолетней деятельности Сумсарского рудника образовались отходы переработки и обогащения полиметаллических руд общим объёмом около 3 млн. м³, сосредоточенные в трёх хвостохранилищах № 1-3, которые были размещены в сложной по рельефу горной местности, с превышением до 70-90 м над тальвегом долины трансграничной р. Сумсар. В рас-

смагриваемом районе имеются хвостохранилища как намывного (№ 1-2), так и наливного (№ 3) типов. Следует отметить, что в сложных горно-геологических условиях Кыргызстана намывные хвостохранилища оказались уязвимыми по отношению к землетрясениям и экстремальным атмосферным осадкам, что проявилось в Сумсаре в виде постепенной эрозии и разрушения дамбы хвостохранилища № 1. Обрушение дамбы этого хранилища сопровождалось прорывом токсичных хвостов в р. Сумсар с рассеянием токсичных хвостов, содержащих тяжёлые металлы, на её конусе выноса в Узбекистане [1].

Одной из особенностей воздействия горнорудной промышленности на окружающую среду является ввод в биосферу значительного количества элементов и соединений, многие из которых являются экотоксикантами, поллютантами, оказывающими негативное влияние не только на окружающую среду, но и на здоровье населения, проживающего на территории шахтёрских городов.

Аналитические исследования химического состава хвостовых материалов Сумсара, выполненные в лаборатории Словенского института им. Штефана, свидетельствуют о том, что опробованные хвосты содержат довольно высокие концентрации свинца (Pb) 1930-2380 мг/кг, цинка (Zn) 1880-2600 мг/кг, марганца (Mn) 3030-4050 мг/кг, бария (Ba) 7420-11300 мг/кг, железа (Fe) 9190-10750 мг/кг, а также мышьяк (As) 21,3-57,2 мг/кг, кадмий (Cd) 8,38-13,7 мг/кг, стронций (Sr) 409-491 мг/кг, медь (Cu) 14,3-17,7 мг/кг, кобальт (Co) 4,3-12,7 мг/кг, что связано с минералогическими особенностями руд Сумсарского месторождения.



Рис. 1. Хвостохранилище №3 в Сумсаре
Овалом показана зона сдвига массива горных работ

К настоящему времени из-за неадекватного содержания хвостохранилищ, деградации и выхода из строя их защитных и гидротехнических сооружений (дренажных систем, отводных каналов) разрушилась удерживающая дамба хвостохранилища № 1. Наблюдается сильная эрозия ограждающей дамбы и поток загрязнённых вод, фильтрующихся через тело хвостохранилища № 2. Нерекультивированное хвостохранилище № 3 с большой по площади пылящей поверхностью (рис. 1) оказалось в зоне сдвижения массива горных пород над выработанным подземным пространством, что вызвало образование трещин в теле ограждающей дамбы. По указанным причинам все хвостохранилища являются источниками систематического загрязнения окружающей среды в долине р. Сумсар.

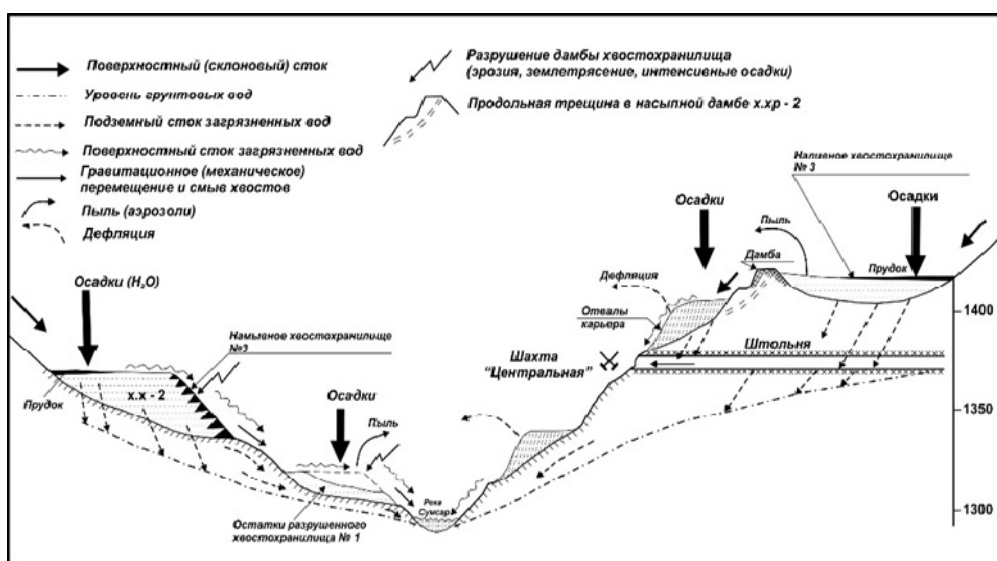


Рис.2. Основные источники и пути загрязнения окружающей среды в районе Сумсарского рудника

Загрязнение окружающей среды в рассматриваемом районе происходит несколькими путями (рис. 2):

→ за счёт непосредственного смыва мелкодисперсных хвостовых материалов атмосферными осадками и талыми водами, механического и гидравлического перемещения отходов из хвостохранилищ № 1, 2 в русло р. Сумсар;

→ за счёт пыления с поверхности нерекультивированных хвостохранилищ № 1, 3 осуществляется дефляционный перенос мелкодисперсных частиц хвостовых материалов, содержащих тяжелые металлы, на селитебные зоны и сельхозугодья, расположенные в непосредственной близости от этих экологически опасных объектов;

→ за счёт геоморфологических особенностей местного горного рельефа, осуществляется перенос (миграция) тяжелых металлов водами реки Сумсар и горно-долинными ветрами на нижележащие участки густонаселённой Ферганской долины, где они аккумулируются на конусе выноса реки в Узбекистане.

Для технико-экономического обоснования проекта рекультивации Сумсарских хвостохранилищ была выполнена оценка рисков по каждому из трёх объектов с рассмотрением таких процессов, которые могут представлять потенциальный риск для окружающей среды и населения. Результаты проведённой рейтинговой оценки рисков по каждому из хвостохранилищ представлены в табл. 1.

Таблица 1

**Оценка рисков от хвостохранилищ Сумсара без учёта проведения
превентивных рекультивационных мероприятий**

Риски	Хвостохранилища		
	№ 1 (останцы)	№ 2	№ 3
Человеческое вмешательство	Высокий	Высокий	Средний
Загрязнение воды, донных отложений реки Сумсар	Высокий	Средний	Низкий
Загрязнение атмосферы	Высокий	Низкий	Высокий
Загрязнение биоты (биосферы)	Высокий	Низкий	Высокий
Разрушение при стихийных бедствиях (землетрясениях, оползнях и селях)	Высокий (разрушено)	Низкий	Средний
Эрозия ограждающих дамб	Высокий	Высокий	Средний
Деградация дренажной системы	Высокий (разрушена)	Средний	Средний
Совокупный риск	Высокий	Низкий	Высокий

Индивидуальный риск, который представляют собой хвостохранилища в долине р. Сумсар отчётливо проявляется на участке останцев разрушенного хвостохранилища № 1. Этот риск связан с выносом и рассеянием токсичных «хвостов» и, связанных с ними загрязнений, вниз по течению реки. В рассматриваемом районе наиболее важным агентом рассеяния токсичных отходов являются воды р. Сумсар, особенно паводки и селевые потоки, часто проходящие по ней. Причём транспортировка токсичных загрязнителей по руслу реки Сумсар неминуемо осуществляется через жилую зону посёлков Сумсар, Шекафтар (бывший урановый рудник) и другие населённые пункты на территории Кыргызстана и соседнего Узбекистана. Вначале воздействию загрязнений подвергаются воды и донные отложения р. Сумсар. Загрязнённая вода и речные отложения распространяются вниз по течению в зависимости от расхода воды в реке с разной скоростью. Наиболее сильное прямое воздействие скажется на населении, проживающем в пос. Шекафтар, где люди,

во-первых, пьют воду из водозабора, расположенного в бассейне р. Сумсар, ниже хвостохранилищ № 1-3. Во-вторых, они используют речную воду для полива своих огородов и садов.

В целях изучения влияния загрязнителей окружающей среды на здоровье местного населения были проведены исследования содержания микроэлементов в крови жителей разного возраста, проживающих в пос. Сумсар. В табл.2 приведены концентрации некоторых микроэлементов в образцах крови местного населения в сравнении с аналогичным показателем для жителей, проживающих в незагрязнённом контрольном районе.

Таблица 2

**Концентрация микроэлементов в крови жителей Сумсара
и контрольном районе**

Элемент	п. Сумсар, среднее значение (нг/г)	Контрольный район, среднее значение (нг/г)
Свинец (Pb)	30,0	20,0
Цинк (Zn)	5036	6000
Медь (Cu)	873	800
Мышьяк (As)	2,43	1,7
Селен (Se)	117,8	90
Марганец (Mn)	14,4	8-10
Кадмий (Cd)	0,65	0,3
Ртуть (Hg)	1,0	0,14

Как видно из табл. 2, в крови жителей Сумсара отмечаются более высокие концентрации свинца, мышьяка, селена и кадмия по сравнению с контрольным районом. Причём повышенные концентрации указанных элементов фиксировались в крови жителей, проживающих по долине как выше, так и ниже хвостохранилищ. Единственным объяснением этого факта может быть попадание указанных элементов Сумсарского спектра в организм человека через воздух за счёт ветровой деятельности, разносящей пыль с нерекультивированной поверхности хвостохранилищ. Очевидно, что при попадании загрязнителей через воду эффекты их влияния на организм человека отмечались бы лишь у жителей, проживающих ниже по течению от хвостохранилищ.

В ветровом режиме рассматриваемой территории характерно наличие переменной по направлению горно-долинной циркуляции (ГДЦ), ориентированной по оси долины реки Сумсар с северо-запада на юго-восток. Указанные особенности ветрового режима, в особенности ГДЦ по оси долины с горной составляющей ночью и долинной днём, неблагоприятны с точки зрения расположения нерекультивированного хвостохранилища №3 в пос. Сумсар. Суть в том, что в условиях сухого континентального климата района, особенно при частых и сильных ($V > 4$ м/с) горно-долинных ветрах, атмосферных и температурных инверсиях, мелкодисперсные частицы и пыль с хвосто-

хранилища № 3, распространяются по оси долины в обе стороны от него (вверх и вниз).

Таким образом, наиболее осязаемое вредное воздействие на здоровье местного населения оказывает пылевое загрязнение с поверхности некультивируемого хвостохранилища № 3. Поверхность пылящей чаши этого хвостохранилища имеет высотную отметку 1400 м с превышением в 100 м над дном плотно заселённой долины р. Сумсар. Общая площадь, занимаемая хвостами составляет 142 тыс. м², а общий объём – 1,8 млн. м³, т.е. как по площади, так и по объёму оно является самым большим хвостохранилищем в Сумсаре.

В целях минимизации риска, связанного с воздействием Сумсарских хвостохранилищ на местное население и окружающую среду, разработано технико-экономическое обоснование проекта рекультивации, включающего ликвидацию полуразрушенного хвостохранилища №1 с перемещением хвостов на хвостохранилище №3; а также реконструкцию и рекультивацию хвостохранилища № 3 с обустройством защитного покрытия мощностью до 1 м.

Литература

1. *Торгоев И.А., Алёшин Ю.Г.*, Геоэкология и отходы горнопромышленного комплекса Кыргызстана / Под ред. И.Т. Айтматова. – Бишкек: Илим, 2009. – С. 174-181.
2. *Torgoev I. and Jakubick A.*, Environmental Issues and Proposed Assessment of Feasibility of Remediation of the Legacy Mining and Milling Sites in the Area of Sumsar-Shekaftar in Kyrgyzstan // Merkel B.J and Arab A. (eds) Uranium Past and Future Challenges / Proceedings of the 7th International Conference on Uranium Mining and Hydrogeology. – Springer, 2014. – P. 147-154.

5. ПРОБЛЕМЫ ЗАГРЯЗНЕНИЯ И КОМПЛЕКСНЫЙ ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ ПРИРОДНОЙ СРЕДЫ В РАЙОНАХ РАЗРАБОТКИ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ ТЕРРИТОРИИ РОССОШИНСКОЙ ПЛОЩАДИ ВОЛГОГРАДСКОГО ПОДЗЕМНОГО ХРАНИЛИЩА ГАЗА И НЕОБХОДИМОСТЬ МОНИТОРИНГА ЭКОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Э.Я. Аюпова, М.А. Харькина, Е.Н. Самарин

Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, геологический факультет,
119234, Москва, Ленинские горы, д. 1. E-mail: ayupova.eliza@mail.ru, kharkina@mail.ru

Бесшахтные подземные резервуары для хранения газа сооружаются методом подземного растворения каменной соли через буровые скважины [3]. Подземное хранилище включает в себя выработку-емкость, где непосредственно располагается сырье для хранения и образующийся рассол, и эксплуатационную скважину, обеспечивающую закачку и выдачу продукта, а также транспортировку рассола в недра либо в рассолохранилище по прилегающим трубопроводам. В настоящий момент на территории Волгоградского подземного хранилища газа (ВПХГ) построено три резервуара и один находится в процессе размыва.

Геоэкологические условия Россошинской площади, определяемые особенностями геологического разреза, состоянием грунтов, донных осадков, подземных и поверхностных вод, а также состоянием растительности, являются удовлетворительными для размещения ВПХГ. Территория расположения подземного резервуара обладает благоприятными геологическими и гидрогеологическими условиями для организации подземного хранилища газа. Они заключаются, во-первых, в наличии соляных отложений ($P_{1к}$) мощностью 600 м, обладающих высокой герметичностью; во-вторых, в наличии водоносного горизонта (T_1), который может использоваться как источник технического водоснабжения для подземного растворения солей [1]. При этом мощная толща (150 м) нижнетриасовых глин практически изолирует гори-

зонты отбора технических вод и горизонт закачки высокоминерализованного рассола.

Имеющиеся ресурсы геологического пространства и отсутствие активных геологических разломов обуславливают герметичное размещение подземных резервуаров. Такие геодинамические процессы, как эрозия почв и частичное заболачивание, не препятствуют подземному строительству.

Лабораторные исследования проб грунтов показали наличие в них элементов-загрязнителей, относящихся к I и II классам опасности. Методом рентгенофлуоресцентного анализа выявлены повышенные содержания химических элементов по отношению к фоновым, за исключением цинка, содержания которого близки к фоновым значениям (табл. 1). Концентрации загрязнителей (Pb, Cd, Zn, Cu, Ni) не превышают установленные санитарные нормы (ПДК и ОДК) по валовому содержанию. Исключение составляет мышьяк, ПДК которого превышено в 6 раз. Предположительно, это связано с применением мышьяк содержащих удобрений, пестицидов, гербицидов, а также частичным естественным засолением.

По суммарному показателю загрязнения исследуемые грунты относятся к умеренно опасной категории загрязнения.

Содержание подвижных форм тяжелых металлов (Ni, Pb, Zn) в почвенных пробах не превышают ПДК (СП 11-102-97) по подвижным формам и имеют значения, близкие к фоновым.

Таблица 1

**Валовое содержание тяжелых металлов и мышьяка (мг/кг)
в грунтах территории ВПХГ**

№ пробы	Хим. элементы	Pb	As	Cd	Zn	Cu	Ni
Класс опасности		I				II	
1		7,65	9,20	0,1	2,79	23,80	33,64
2		н/о	8,48	0,95	4,23	38,89	51,09
3		н/о	8,34	0,01	2,14	31,54	40,88
4		25,73	12,42	0,97	4,02	20,55	31,32
5		2,95	9,19	0,13	2,32	36,52	49,06
6		7,11	9,13	0,03	4,42	33,47	41,79
7		19,09	10,99	0,94	4,92	10,05	15,99
Фон		7,10	3,9	0,09	4,91	6,21	8,11
ПДК ¹ для РФ		30	2	2	23	н/н	н/н
ОДК ² для РФ		130	10			132	80
Кларк в литосферы (Виноградов, 1962)		16	1,7	0,13	83	47	58

Примечания:

1 – СП 11-102-97; 2 – ГН 2.1.7.2511-09; обозначения: цветом показаны максимальные концентрации.

При сравнении концентраций химических элементов в пробах поверхностных вод с ПДК для хозяйственно-бытовых водоемов превышений зафиксировано не было (табл. 2). В целом, поверхностные воды относятся к пресным, за исключением пробы, отобранной в Россошинском пруду на створе западной границы с площадкой ВПХГ. Минерализация этой пробы равна 1,14 мг/л, что позволяет отнести данные воды к слабоминерализованным.

Таблица 2

Результаты определения тяжелых металлов в пробах поверхностных вод (мг/дм³) территории ВПХГ методом атомно-абсорбционного анализа

№ пробы	Хим.элементы	Pb	Cu	Zn	Ni
1		0,005	0,001	0,001	0,01
2		0,007	0,005	0,001	0,004
3		0,004	0,008	0,001	0,009
ПДК ¹ , для водоемов хозяйственно-бытовых		0,03	1	1	0,02

Примечания:

1 – ГН 2.1.5.1315-03; обозначения: цветом показаны максимальные концентрации.

Таблица 3

Соотношение замеренных концентраций токсикантов (мг/кг сухой массы) в тканях листьев Полыни полевой, отобранной на Россошинской площади ВПХГ, с осредненными концентрациями в тканях листьев растений

Элемент	Осредненная концентрация в тканях листьев растений по Кабата-Пендиас [2]			Максимальное обнаруженное значение концентрации в пробе
	Дефицит	Нормальная	Токсичная	
Pb	–	5-10	30-300	$\frac{16,82-32,53}{32,7}$
Cu	2-5	5-30	30-100	$\frac{6,93-131,17}{131,17}$
Ni	–	0,1-5	10-100	$\frac{39,43-59,92}{59,92}$
Co	–	0,02-1	15-50	н/о
As	–	1-1,7	5-20	$\frac{2,83-62,90}{62,90}$
Cd	–	0,05-0,2	5-30	$\frac{7,78-108,97}{32,7}$

Примечание: $\frac{\text{интервал содержаний}}{\text{максимальная концентрация}}$.

Полынь полевая (лат. *Artemisiacampéstris*) является накопителем тяжелых металлов и мышьяка. В исследуемых образцах (табл. 3) были выявлены токсические содержания свинца, меди, никеля, мышьяка и кадмия.

В настоящий момент в рамках мониторинга окружающей среды сотрудниками ООО «Газпром геотехнологии» ведутся наблюдения за состоянием грунтов и поверхностных вод зоны техногенного воздействия ВПХГ. Необходимость организации мониторинга в ходе эксплуатации ВПХГ связана возможными утечками высокоминерализованного рассола при размыве солей для создания новых подземных резервуаров. Вероятность этого доказана анализом водной вытяжки, свидетельствующей о засолении грунтов (табл. 4).

Таблица 4

**Результаты определения легкорастворимых солей
в пробах почв территории ВПХГ**

№ проб	рН	Сухой остаток, %	В процентах на воздушно-сухую почву							
			Анионы				Катионы			
			CO ₃ ²⁻	HCO ₃ ⁻	Cl	SO ₄ ²⁻	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺
1	7,8	0,074	–	0,014	0,003	0,020	0,006	0,008	0,003	0,009
2	8,6	0,074	0,001	0,016	0,004	0,019	0,007	0,009	0,002	0,008
3	8,6	0,080	0,001	0,020	0,006	0,019	0,005	0,005	0,001	0,018
4	8,6	0,090	0,001	0,028	0,003	0,014	0,008	0,007	0,002	0,020
5	8,7	0,902	0,001	0,020	0,259	0,292	0,009	0,010	0,002	0,300
6	8,7	0,078	0,001	0,016	0,004	0,029	0,008	0,007	0,001	0,012
7	8,3	0,088	–	0,014	0,003	0,032	0,006	0,014	0,033	0,005

Схема расположения точек отбора проб грунтов разработана с учетом местоположения основных источников загрязнения и путей миграции загрязняющих веществ. К обязательным пунктам контроля, при проведении мониторинга окружающей среды ВПХГ относятся промплощадки (компрессорные станции, водорассольный комплекс, рассолоотстойник), водозаборные, технологические и нагнетательные скважины. Также выполняется отбор проб на территории вне зоны техногенного воздействия – на фоновой площадке. Отбор производится один раз в год (сентябрь-октябрь), методом конверта с двух глубин (0-5 см, 5-15 см). Впоследствии проводят анализ водной вытяжки из грунтов, определяют количество нефтепродуктов, валовые и подвижные формы тяжелых металлов и мышьяка.

К водным объектам потенциально подвергающимся техногенному воздействию при строительстве и эксплуатации ВПХГ относятся: р. Россошка, пруд Россошинский, ручей Безымянный. Прямого воздействия на эти объекты строительство и эксплуатация хранилища не оказывают: отсутствует использование поверхностных вод в технологических нуждах, сброс неочищенных стоков не осуществляется. В рамках мониторинга окружающей среды

осуществляется отбор проб поверхностных вод раз в год (сентябрь-октябрь). Определяется макро- и микрокомпонентный состав отобранных проб.

В соответствии с требованиями СП 47.13330.2012 существующая система мониторинга окружающей среды нуждается в совершенствовании. В состав инженерно-экологических изысканий (п. 8.1.2) кроме опробования и оценки загрязнения почв, грунтов, поверхностных и подземных вод, входят флористические и геоботанические исследования. Предлагаем оптимизировать существующую сеть мониторинга и увязать результаты необходимого фитомониторинга (п. 8.4.23) с состоянием абиотических компонентов среды, осуществляя тем самым мониторинг экологических систем.

Мониторинг экологических систем – система целенаправленных постоянных наблюдений за экосистемами, оценка их состояния, прогноз развития и выработка экологически обоснованных управленческих решений для оптимизации функционирования этих систем.

Для совершенствования существующей системы мониторинга к имеющимся наблюдениям за состоянием грунтов, почв и вод необходимо добавить наблюдения за состоянием полыни, являющейся фитоиндикатором вблизи источников техногенного воздействия. Именно в этом случае, когда будут вестись наблюдения, оценка, прогноз и управление состоянием растительности и абиотической среды, можно говорить о переходе к мониторингу экосистем, охватывающему оценку состояния её биотической (фитоценозы) и абиотической (поверхностная гидросфера, литосфера и педосферы) частей. Необходимость этого шага доказывают сопоставления замеренных концентраций элементов в растительности с осредненными концентрациями в тканях листьев растений [2], показывающие, что во всех пробах обнаружены токсические содержания Pb, Cu, Cd, Co, Ni, As (табл. 3).

Для оптимизации существующей сети мониторинга следует изучить основные пути миграции химических соединений и элементов, учитывая ландшафтно-геохимический подход.

Литература

1. Бутковский Ю. М., Грицаенко В. Г., Журавлева Т. Ю. и др. Инженерно-геологические условия создания Волгоградского ПХГ // Газовая промышленность. – 1999. – № 11. – С. 56-57.
2. Кабата-Пендиас А., Пендиас Х. Микроэлементы в почвах и растениях / Пер. с англ. – М.: Мир, 1989. – 439 с.
3. Хлопцов В. Г. Подземное хранение газа // Газовая промышленность. – 2012. – № 684. – С. 98-99.

КОНЦЕПЦИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА ОБЪЕКТОВ НЕФТЕГАЗОВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

А.П. Белоусова

Институт водных проблем РАН, Москва, ул. Губкина, 3. E-mail: anabel@iwp.ru

В Федеральном Законе РФ «Об охране окружающей среды» (от 10 января 2002 г. № 7-ФЗ) дано следующее определение мониторинга: «Мониторинг окружающей среды (экологический мониторинг) – комплексная система наблюдений за состоянием окружающей среды, оценки и прогноза изменений состояния окружающей среды под воздействием природных и антропогенных факторов», которым и будем пользоваться в своих исследованиях.

Рассмотрим примеры формирования структуры комплексного экологического мониторинга, выполняющего функции ведомственного (регионального) мониторинга – мониторинга объектов нефтегазового комплекса и атомных станций, причем мониторинг нефтегазового комплекса будем рассматривать как от точечного источника загрязнения, а мониторинг атомных станций, рассмотрим с позиций влияния их на экологическое состояние окружающей среды в случае аварийных ситуаций как от диффузного источника загрязнения.

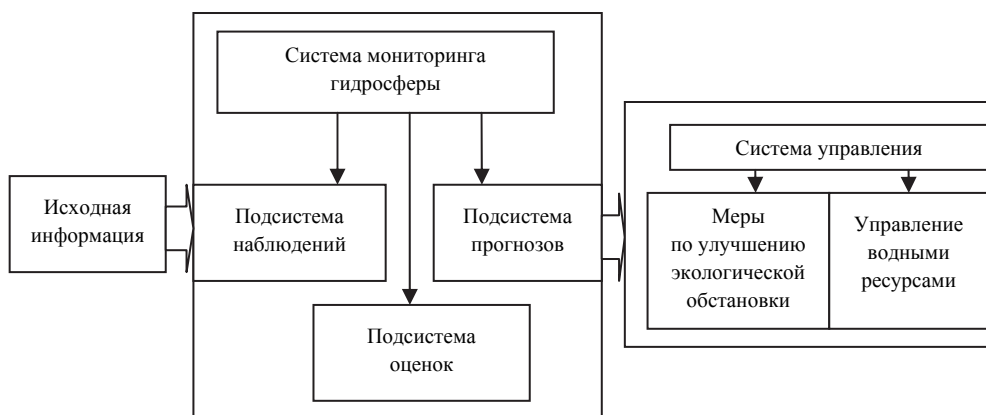


Рис. 1. Структура мониторинга гидросферы

Проблемы охраны окружающей среды в районах расположения АЭС и на территории радиоактивного следа от аварии на ЧАЭС [1, 3], на территориях нефтегазового комплекса [2] решаются с помощью функционирования системы комплексного экологического мониторинга, включающего взаимосвязанные подсистемы мониторинга гидросферы (МГС), атмосферы, лито-

сферы и техносферы. Предмет дальнейшего рассмотрения – подсистема мониторинга гидросферы как сфера деятельности гидрогеологов.

На основе ранее разработанной (после аварии на ЧАЭС) концепции мониторинга атомных станций, системного подхода и законодательства о мониторинге выбрана следующая структура МГС (рис. 1): вход в систему – исходная информация о текущем состоянии системы; система МГС, состоящая из трех подсистем – наблюдений (режима), оценок и прогноза; выход из системы – мероприятия по улучшению природно-технической обстановки (выход из системы МГС является входом в систему управления водными ресурсами).

Предложенная структура МГС является общей для всех точечных источников загрязнения, к которым можно отнести и объекты нефтегазового комплекса, и атомные станции.

Экологические аспекты эксплуатации объектов нефтегазового комплекса

Добыча нефти и газа сопровождается извлечением пластовых вод, газоконденсата, попутного газа. В самих нефтедобывающих скважинах происходит кольматаж рабочей части скважины и продуктивного пласта вблизи скважины механическими частицами из бурового раствора, химическими соединениями и веществами, содержащимися в добываемых продуктах и реагентах, используемых при добыче. При добыче нефти происходят негативные изменения окружающей среды: атмосферы, поверхностных вод, почв и пород зоны аэрации и подземных вод. Ухудшение состояние атмосферы вызывается сжиганием попутного газа в факелах, находящихся на территории месторождений. Загрязнение нефтью сосредоточено в пределах участков, на которых расположены продуктивные скважины, нефтесборные пункты и другие сооружения; а также при прорывах нефтепроводов на территории месторождения; при этом становятся отравленными почвы и породы, поверхностные и подземные воды. Попадание пластовых вод – высокоминерализованных рассолов в пресные подземные воды имеет место на участках расположения скважин, а также при порывах водоводов, отводящих эти сточные воды в систему законтурного обводнения или на участки их захоронения. Следствием разливов высокоминерализованных рассолов является загрязнение и засоление почв и пород зоны аэрации, поверхностных и подземных вод.

Специфика эксплуатации нефтяных и газовых месторождений диктует необходимость постановки и решения двух первоочередных задач:

- оптимизация процесса добычи полезных ископаемых с использованием современных технологий;

- обеспечение устойчивости экологического состояния окружающей среды в пределах нефтяного месторождения и в зоне его влияния.

Эти задачи взаимосвязаны, и решение одной из них не должно приводить к отрицательным последствиям при решении другой.

Последовательность геолого-гидрогеологического изучения нефтяного (или газового) месторождения для решения указанных задач представлена на схеме 1 и заключается в следующем:

- выделяют все технологические объекты, подлежащие исследованию – продуктивные скважины и объекты, вызывающие загрязнение окружающей среды (нефте-газосборные системы, нефте-газопроводы, водоводы, система законтурного заводнения, система захоронения сточных вод и др.);

- устанавливают добываемые продукты: нефть, газ, попутный газ, газоконденсат, пластовые воды (которые являются и загрязняющими веществами (ЗВ); также к ним следует отнести и техногенные ЗВ, используемые при добыче нефти и газа (буровые растворы, реагенты);

- определяют природно-техногенные объекты, а также границы зоны их воздействия (в нее входят территория месторождения и прилегающая к ней зона, на которую распространяется негативное влияние эксплуатации месторождения или другого объекта (нефте-газопровод и пр.), обычно это связано с атмосферным переносом ЗВ и выпадением кислых атмосферных осадков за пределами месторождения;

- исследуют природно–техногенные объекты по следующим видам изученности: геологической, геофизической, тектонической, геоморфологической, гидрологической, гидрогеологической, климатической, гидрогеохимической, почвенной;

- выполняют работы в локальном и региональном масштабах:

- локальные исследования скважин включают в себя геохимические методы изучения, направленные на установление состава и типов загрязняющих и кольматирующих веществ, и опробование (опытное) рекомендованных химических веществ и соединений, используемых для увеличения нефтеотдачи скважин; моделирование геохимических процессов загрязнения и кольматации скважин с целью выбора оптимальных методов очистки призабойной зоны продуктивных скважин; прогнозирование развития процессов загрязнения, кольматации и очистки скважин с целью оптимизации технологических решений; оценку ущербов от этих процессов с целью экономической оптимизации технологического цикла; организацию и ведение мониторинга за техническим состоянием скважин и их влиянием на окружающую среду, на основе которого разрабатываются рекомендации по увеличению нефтеотдачи скважин и улучшению их эколого-технологического состояния. Базируясь на вышеперечисленных исследованиях, осуществляется управление негативными процессами и оптимизацией добычи нефти и газа путем разработки и применения современных технологий добычи;

- региональные исследования экологического состояния на месторождении и прилегающих к нему территориях включают наблюдения за почвами и породами зоны аэрации, поверхностными и пресными подземными водами и за атмосферным воздухом и заключаются в следующем: модельно–картографический метод исследований, позволяющий оценить степень естественной защищенности и уязвимости подземных вод и защитной зоны (почв и пород зоны аэрации) к загрязнению и истощению, а также оценить устой-

чивость окружающей среды к негативным антропогенным воздействиям с использованием индикаторов и индексов устойчивости отдельных ее компонентов; геохимические исследования процессов загрязнения всех компонентов природной среды, включая лабораторные и полевые методы; моделирование процессов загрязнения и истощения природных ресурсов; прогнозирование изменения состояния природной среды под действием негативных факторов и при проведении разрабатываемых мероприятий, улучшающих состояние окружающей среды. Все вышеперечисленные исследования являются элементами мониторинга окружающей среды на территории нефтяного или газового месторождения (включая мониторинг продуктивных скважин), для ведения которого на базе этих исследований проектируется и сооружается наблюдательная сеть и устанавливаются границы зон наблюдений. Выход из системы мониторинга является входом в систему управления состоянием окружающей среды и включает в себя только мероприятия по ее улучшению и природосберегающие технологии по оптимизации и повышению нефтеотдачи продуктивных скважин и в целом – добычи нефти и газа на месторождениях.

Структура МГС на объектах нефтегазового комплекса

Специфика эксплуатации объектов нефтегазового комплекса состоит в том, что они оказывают влияние на окружающую среду в целом, поэтому мониторинг этих объектов по сути своей должен быть комплексным, включающим наблюдения за всеми компонентами окружающей среды (атмосфера, литосфера, гидросфера, биосфера, а также техносфера).

Система МГС включает в себя блоки, приведенные на рис. 1.

Исходная информация (вход в систему МГС) должна обеспечить функционирование всех подсистем или мониторинга гидросферы. Эффективная работа подсистемы наблюдений находится в прямой зависимости от научной обоснованности проектирования, оптимизации и строительства режимной сети. Подсистема оценок делает возможным функционирование подсистемы прогнозов, а подсистема прогнозов связана с построением математической модели, адекватной природно-техногенной обстановке.

Подсистема наблюдений включает в себя наблюдения за всеми компонентами окружающей среды. Для наблюдений оборудуется режимная наблюдательная сеть, являющаяся основным инструментом МГС. Особенности проектирования режимной сети должны учитывать технологическое состояние объектов мониторинга (действующие или проектируемые). Подсистема наблюдений сети включает в себя несколько уровней: первый – специальная режимная сеть для наблюдения за источниками загрязнения; второй – региональная режимная сеть для наблюдений за атмосферой; третий – региональная режимная сеть для наблюдений за поверхностными водами, почвами, породами зоны аэрации, растительным и животным миром и четвертый – региональная режимная сеть для наблюдений за подземными водами. Проектирование режимной сети осуществляется в два этапа: проектирование «иде-

альной» режимной сети на базе природно-техногенных факторов и оптимизация сети – создание реальной режимной сети с учетом экономических и технических ограничений. После проектирования следует сооружение режимной сети, ее апробация, определение периодичности и состава наблюдений, создание автоматизированной системы наблюдений.

Подсистема оценок является связующим звеном между подсистемами наблюдений и прогноза. Подсистема оценок включает в себя блоки исходной, динамической и оперативной информации, с помощью которых устанавливаются индикаторы и индексы устойчивости состояния компонентов окружающей среды и подземной гидросферы в частности, проводится оценка опасности, рисков и ущербов компонентам окружающей среды, оценка степени защищенности и уязвимости подземных вод к загрязнению по разработанной методике [4].

Подсистема прогнозов представляет собой автоматизированную структуру, состоящую из информационной системы (банков данных и программного обеспечения для их обработки), постоянно действующей модели и блока прогнозов (включая сценарии аварий и чрезвычайных ситуаций различной сложности), способствующих корректировке режимной сети. Эта подсистема должна обеспечить проектирование и проведение «кризисного» мониторинга в случае возникновения чрезвычайных природных и антропогенных ситуаций. Целесообразно на основе оценки защищенности подземных вод к загрязнению осуществлять предварительный прогноз развития загрязнения подземных вод нефтепродуктами и рассолами, что позволит корректировать наблюдательную сеть мониторинга.

Выход из системы МГС представляет собой разработку мероприятий (технологических, гидрологических, биохимических, гидрогеологических, гидрогеохимических), улучшающих экологическое состояние окружающей среды в целом и подземной гидросферы в частности, на объектах мониторинга. Кроме этого необходима разработка и усовершенствование нормативных документов и правовых основ экологического законодательства.

Литература

1. Белоусова А.П., Захарова Т.В., Швец В.М. Мониторинг гидросферы в районах расположения АЭС // Водные ресурсы. – 1992. – № 3. – С. 127-134.
2. Белоусова А.П. Мониторинг подземных вод на объектах нефтегазового комплекса // Водные ресурсы. – 2005. – № 6. – С. 727-738.
3. Белоусова А.П. Мониторинг подземных вод в районах расположения АЭС // Разведка и охрана недр. – 2015. – № 4. – С. 65-71.
4. Белоусова А.П. Основные принципы и рекомендации по оценке и картированию защищенности подземных вод от загрязнения // Водные ресурсы. – 2003. – Т. 30. – № 6. – С. 677-677.

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВКЛАДА КАТАСТРОФИЧЕСКИХ
ГЕОМОРФОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В РАСПРОСТРАНЕНИЕ
РАДИОАКТИВНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПОСЛЕ РАЗРАБОТКИ
ЛОВЧОРРИТОВЫХ РУД В ДОЛИНЕ ГАКМАНА, ХИБИНЫ,
КОЛЬСКИЙ П-ОВ**

**Е.В. Гаранкина, В.Р. Беляев, А.Л. Гуринов, Л.В. Добрыднева,
М.М. Иванов, Н.В. Кузьменкова, Ф.А. Романенко, Е.Д. Туляков**

Географический факультет, Московский государственный университет имени
М.В.Ломоносова, 119991, Ленинские горы, д.1. E-mail: evgarankina@gmail.com

Разработка месторождений рудных полезных ископаемых сопряжена с извлечением горной массы с высоким содержанием полезного компонента, часть которого не доходит до непосредственного производства и накапливается в отвалах. Если такие отвалы изолированы от ландшафтных процессов массо-энергопереноса либо рекультивируются, то они не представляют существенной экологической угрозы. Однако, если отработанный материал с высоким содержанием определённых компонентов, в особенности радиоактивных, оказывается вовлечённым в высоко динамичную природную обстановку, то возникает риск экологических последствий. Изучение этих последствий может нести в себе большую научную ценность, позволяя расширять методическую базу по изучению как миграции искоемых загрязнителей, так и процессов, задающих динамику вмещающей их среды.

В рамках нашего исследования рассмотрен рудник «Ловчоррпут» в долине Гакмана, расположенной в южной части Хибинского горного массива на Кольском полуострове. Открытие месторождения и добыча радиоактивной руды, где главными полезными компонентами служили оксиды редких металлов и тория-232, пришлись на 30-е годы XX века. Ловчорритовый рудник был устроен на правом борту долины в среднем течении одноименного ручья, где по зоне сгущения тектонической трещиноватости в эгиринроговообманковые гнейсовидные рихторриты внедрились пегматитовые эгирин-полевошпатовые ловчоррит-ринколитоносные жилы. Главный рудный минерал ловчоррит – фторсодержащий титаносиликат кальция, натрия и редких земель, стекловатая или мелкокристаллическая разновидность ринколита, средняя проба которого на одном из участков здесь достигала 6,5 % [6]. Однако в силу сложных условий проведения работ (суровые климатические условия, активное развитие экзогенных геоморфологических процессов), отсутствия стабильных показателей концентрации ловчоррита в добываемой руде и чрезвычайной сложности технологического процесса обогащения, рудник был законсервирован в 1939 г., и добыча более не возобновлялась. Но до наших дней на правом борте долины сохранились рудные отвалы, обладающие высоким содержанием ^{232}Th и его дочерних радионуклидов.

В природных соединениях ^{232}Th имеет лишь одно состояние окисления IV, которое проявляет в своих ионных и ковалентных соединениях. Для тория не характерна миграция в растворенном состоянии. Почти все его минералы устойчивы к всевозможным природным воздействиям, и поэтому химические процессы не влияют на переотложение тория и не приводят к его концентрации в виде вторичных минералов [9]. Торий в горной тундре – наиболее инертный мигрант, хотя при этом не исключена и частичная водная миграция его изотопов [10]. Наблюдения в бассейне р. Илыч (Приполярный Урал) и лабораторные эксперименты [11, 12] показали, что под воздействием воды может выщелачиваться не более 20 % (в среднем около 2-3%) от содержания ^{232}Th в породе. В силу этого единственный значимый механизм его миграции – это механическое перемещение торий-содержащих частиц в процессе морфолитогенеза.

Хибинский горный массив – один из самых известных очагов катастрофических природных процессов в Субарктике [1, 8]. В ходе проведенных работ было детально изучено геоморфологическое строение долины Гакмана, уточнены границы распространения петрографических комплексов и созданы подробные морфометрические и морфодинамические карты и профили для определения условий и основных факторов перемещения рыхлого материала в пределах бассейна. Долину Гакмана окружают платообразные горы и гребни абсолютной высотой 800-1000 м (отроги Большого Юкспорра), возвышаясь над ее дном на 150-350 м. Она названа А.Е. Ферсманом в 1921 г. [5] в честь финского петрографа Виктора Акселя Гакмана (1869-1941 гг.), участника экспедиции Вильгельма Рамзая на Кольский полуостров в 1891-1892 гг. Верхняя часть ее водосбора лежит в области распространения трахитоидных фойяитов, частично ороговикованных [3, 4]. Ниже долина последовательно пересекает полосы гнейсовидных и массивных рихчорритов, вмещающих жилы и дайки щелочных габброидов и базальтоидов, апатито-нефелиновых руд, приконтактовую зону ийолит-уртитов в устьевой части.

Ручей Гакмана имеет длину около 5 км и уклон около 100 м/км (10 ‰). Верховья представляют собой типичный эрозионный врез от U- до V-образной формы (рис. 1); в средней части долина резко поворачивает, в ней появляется широкое дно. Выше оно выстлано преимущественно селевыми отложениями грубого песчано-валунно-глыбового состава, а ниже дно вновь V-образной долины заполнено комплексом мощных ледниковых (моренные валунные пески и супеси, водноледниковые пески с валунами и озёрно-ледниковые песчано-алевритовые осадки с ленточноподобной слоистостью), селевых и склоновых толщ. Нижнее течение полностью потеряло естественный облик за долгие годы обустройства сооружений рудника Расвумчорр (начал работу в середине 1950-х гг.) и при строительстве противоселевых плотин для его защиты.

Крутые борта и значительный уклон дна превращают долину Гакмана в арену действия интенсивных экзогенных процессов, среди которых гравитационные (осыпи и обвалы), эрозия (речная и склоновая), солифлюкция, дефляция, а особенно – периодически проходящие по долине катастро-

фические по мощности водоснежные потоки (ВСП). Эта разновидность селей [7], наряду с лавинами, является наиболее опасным современным явлением в регионе, с точки зрения наносимого ими материального ущерба. Перерабатывая отвалы рудника на протяжении последних 80 лет, этот комплекс процессов может перераспределять содержащиеся в них радионуклиды между разными фациями рыхлых отложений, что может стать причиной радиоактивного загрязнения долины. Ее сравнительно небольшие размеры и обособленность позволяют рассмотреть процесс миграции радионуклидов при наличии антропогенного вмешательства.

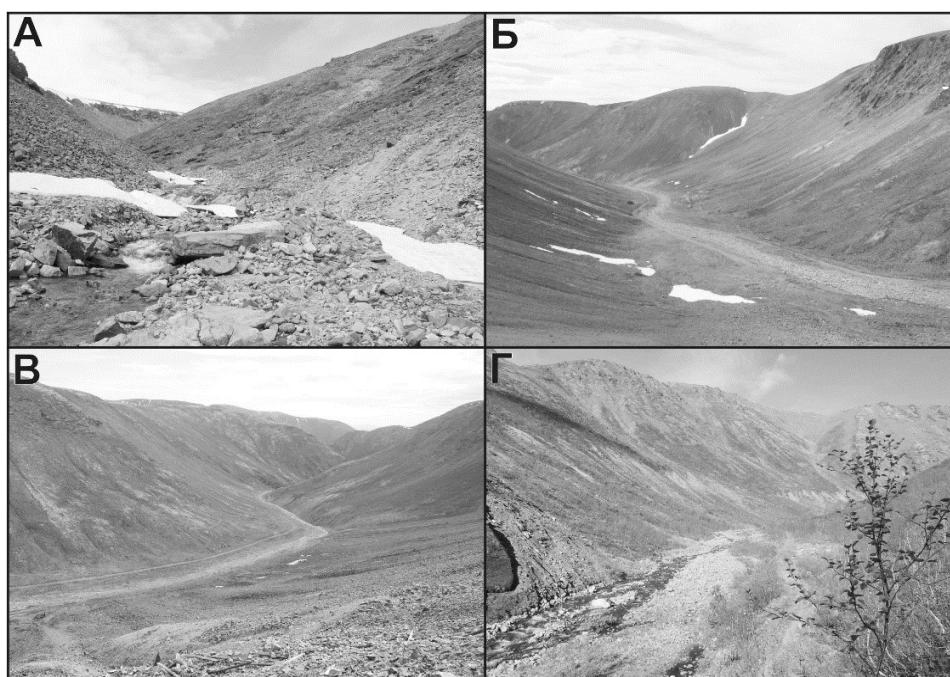


Рис. 1. Исследованные участки в долине Гакмана:

А – верховья; *Б, В* – выше и ниже рудных отвалов «Ловчоррпута»; *Г* – устьевая зона

ВСП зарождаются весной в периоды активного снеготаяния в результате пересыщения водой снежной массы в удобных для этого геоморфологических условиях и ее срыва с прохождением по склонам и днищу бассейна. В отличие от типичных лавин и селей ВСП обладают относительно низким (не более 12%) содержанием обломочного материала [3]. Катастрофические сходы ВСП в долине Гакмана зафиксированы в 1951 или 1952, 1977, 1987 и в начале 1990-х гг. Участки аккумуляции ВСП по облику похожи на конусы выноса временных водотоков. Они имеют конусообразную форму, если образуются в месте выхода потока на участки с меньшими уклонами, или валооб-

разно вытянуты вдоль русла, если, находясь на перегибе продольного профиля, оказываются зажатыми между скальными стенками. Значительная мощность и довольно высокая повторяемость ВСП в долине Гакмана (раз в одно-два десятилетия), обуславливают практическое отсутствие чисто русловых форм и препятствуют развитию нормального флювиального процесса, что позволяет рассматривать ВСП как ведущий рельефообразующий процесс и основной агент перераспределения материала в днище.

Для оценки степени воздействия антропогенного радиоактивного «сигнала» на современное распределение радиоизотопов ториевого ряда в бассейне Гакмана следовало решить три основные задачи:

1. Оценить силу «сигнала», сопоставив удельное содержание радионуклидов в рудных отвалах с их содержанием в склоновом чехле на участках распространения разных геологических комплексов в долине;

2. Определить рубежи зон отсутствия и потенциального воздействия «сигнала», с помощью крупномасштабной геоморфологической съёмки устанавливая положение морфолитодинамических зон и выбирая контрольные участки отбора образцов для лабораторного анализа;

3. На основе полученных данных оценить влияние отвалов ловчорритового рудника на радиоактивную обстановку в долине Гакмана.

В основе предлагаемой методики лежит использование неоднородности геологического строения селевых бассейнов, то есть наличия в их пределах участков распространения горных пород с существенно различным содержанием этих изотопов. Фактически, это адаптация классического метода определения питающих провинций для малых водосборных бассейнов путем оценки вариабельности радиоизотопного состава отложений зон сноса и аккумуляции.

В результате двухлетних работ отобрано более 70 образцов поверхностного рыхлого (относительно тонкие фракции – преимущественно гравий, дресва, песок и алевроито-глинистая составляющая) и более 20 образцов скального грунта по поперечным профилям с бортов (коренных выступов, денудационных и аккумулятивных частей склонов) и днищ долин (подмываемых берегов и русел водотоков, конусов выноса малых эрозионных форм) в разных зонах (зарождения селевых потоков, транзита и аккумуляции). В лаборатории на полупроводниковом гамма-спектрометре СКС-07П(09П)_Г_Р измерена их гамма-активность для дочерних радиоизотопов ^{232}Th : актиния – 228: (^{228}Ac) и свинца – 212 (^{212}Pb), проведен гранулометрический анализ проб. Дополнительно для изучения возможности иных путей миграции радиоизотопов (химической при выщелачивании пород водным потоком и т.д.) опробована вода из русла, буровых скважин и снежников и определены ее химические свойства и потенциальная способность к выщелачиванию.

На текущем этапе проведённые исследования показали, что в долине ручья Гакмана поступление со склонов дочерних гамма-детектируемых радиоизотопов ториевого радиоактивного ряда контролируется не только наличием рудника, но высокой естественной радиоактивностью пород, слагаю-

щих главным образом правый борт долины в её среднем течении. Роль ВСП заключается в эпизодическом мощном выносе материала по долине и его постоянном перемешивании, что подтверждается соотношением содержания радионуклидов в отложениях днища и прилегающих склонов. Деятельность постоянного водотока в днище сводится к вымыванию тонких фракций рыхлого материала, который, как показали первые результаты пофракционного анализа склоновых отложений, вносит наиболее существенный вклад в общую радиоактивность проб.

Анализ содержания радиоизотопов в разных фациях отложений на выбранных участках позволяет проследить распределение радиоактивного сигнала по долине и определить вклад рудника «Ловчоррпут» в изменения радиационной обстановки по сравнению с естественным фоном. Таким образом, представляется возможным оценить экологические риски в районах добычи радиоактивных торий-содержащих пород в горных условиях Субарктики. А также подобные радиоизотопные исследования могут позволить проникнуть глубже в понимание соотношения флювиальных процессов и деятельности ВСП при формировании рельефа днищ и склонов субарктических горных долин в низкогорьях. Подтвержден потенциал использования дочерних изотопов ^{232}Th в качестве трассера при решении литодинамических и геоморфологических задач при реконструкции интенсивности перемещения рыхлого материала экзогенными процессами.

Работы выполнены по теме госзадания АААА-А16-11632810089-5 «Эволюция природной среды, динамика рельефа и геоморфологическая безопасность природопользования» при поддержке проектов РФФИ №14-05-00549 и №17-05-00630.

Литература

1. Беляев Ю.Р., Бредихин А.В., Лукашов А.А. Эколого-геоморфологическая безопасность проектируемых промышленных автодорог в Хибинах // Геориск. – 2015. – № 2. – С. 50-57.
2. Водоснежные потоки Хибин / Под ред. А.Н. Божинского, С.М. Мягкова. – М.: Географический факультет МГУ, 2001. – 167 с.
3. Геология рудных районов Мурманской области / Пожиленко В.И., Гавриленко Б.В., Жиров Д.В., Жабин С.В. – Апатиты: Кольский научный центра РАН, 2002. – 359 с.
4. Зак С.И., Каменев Е.А., Минаков Ф.В., Арманд А.Л., Михеичев А.С., Петерсилье И.А. Хибинский щелочной массив. – Л.: Недра, 1972. – 176 с.
5. Кошечкин Б.И. Тундра хранит след. – Мурманск: Мурманское книжное изд-во, 1979. – 152 с.
6. Красоткин И.С., Лесков А.Л., Войтеховский Ю.Л., Шпаченко А.К. Бурное прошлое ущелья Гакмана // Петрология и минерагения Кольского региона. Труды V Всероссийской Ферсмановской научной сессии, посвященной 90-летию со дня рождения д.г.-м.н. Е.К. Козлова. – Апатиты: Изд-во Кольского научного центра РАН, 2008. – С. 44-48.
7. Перов В.Ф. Селевые потоки Хибинского горного массива // Вестник Московского университета. Сер. геогр. – 1966. – № 1. – С. 106-110.

8. Романенко Ф.А., Лукашов А.А., Шилова О.С. Катастрофические гравитационные процессы на севере Европейской России и опыт их абсолютного датирования // Геоморфология. – № 1. – 2011. – С. 87-94.

9. Рябчиков Д. И., Гольбрайх Е. К. Аналитическая химия тория. – М.: Изд-во Академии наук СССР, 1960. – 297 с.

10. Титаева Н. А. Ядерная геохимия. – М.: Изд-во МГУ, 2000. – 336 с.

11. Титаева Н.А., Таскаев А.И. Миграция тяжёлых естественных радионуклидов в условиях гумидной зоны. – Л.: Наука, 1983. – 232 с.

12. Титаева Н.А., Филонов В.А., Овченков В.Я., Векслер Т.И., Орлова А.В., Тырина А.С. Поведение изотопов урана и тория в системе кристаллические породы – поверхностные воды в условиях холодного гумидного климата // Геохимия. – 1973. – № 10. – С. 1522-1527.

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ПОТЕНЦИАЛЬНО ТОКСИЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ В ПРОФИЛЕ ПОЧВ РЕКУЛЬТИВИРОВАННЫХ ТЕРРИТОРИЙ ХРАНИЛИЩ ОТХОДОВ ОБОГАЩЕНИЯ СУЛЬФИДНО- ВОЛЬФРАМОВЫХ РУД

С.Г. Дорошкевич, О.К. Смирнова

Геологический институт Сибирского отделения Российской академии наук,
ул. Сахьяновой, д. 6а, г. Улан-Удэ, 670047 Россия. E-mail: sv-dorosh@mail.ru

Джидинский вольфрамо-молибденовый комбинат (ДВМК), перерабатывавший молибденитовые и сульфидно-гюбнеритовые руды месторождений Джидинского рудного поля, более 60 лет был одним из ведущих предприятий горнодобывающей промышленности нашей страны. В 1997 г. производство было законсервировано без проведения каких-либо работ по рекультивации «нарушенных» земель. На территории, граничащей с г. Закаменск, остались отходы обогащения руд – это насыпное, аварийное и намывное хвостохранилища, а также «дельтовая залежь» реки Модонкуль, сформированная при аварийных прорывах дамбы насыпного и намывного хвостохранилища. Общая масса отходов обогащения руд составляет ориентировочно 50 млн т. Эти образования, в том числе самое крупное намывное хранилище отходов обогатительных фабрик, поверхность которого высохла, стали основными источниками загрязнения окружающей среды потенциально токсичными элементами [3]. В 2011-2012 гг. были проведены мероприятия по устранению негативных воздействий на г. Закаменск производственной деятельности бывшего ДВМК. На массив намывного хвостохранилища было перемещено 3,2 млн т лежалых отходов обогащения руд насыпного и аварийного хранилищ. На освободившейся территории проведены агротехнические мероприятия: планировка поверхности, нанесение плодородного слоя почвы. На дельтовой залежи выполнена корректировка ландшафта и землевание смесью потенциально плодородной почвы с отходами разработки гюбнеритовой россыпи (эфелями)

слоем 20-25 см. Территория бывшего аварийного хвостохранилища и поверхность дельтовой залежи засеяна многолетними травами; на площади бывшего насыпного хвостохранилища организованы лесополосы из зональных видов растений (лиственница, береза, тополь, жимолость, спирея, акация).

Настоящее исследование проведено с целью изучения распределения потенциально токсичных химических элементов в профиле аллювиальных почв, длительное время перекрытых отходами обогащения руд насыпного и аварийного хвостохранилищ и грунтов дельтовой залежи.

Классификация почв дана по [1]. Отбор проб почв и грунтов для определения их химического состава проводился по генетическим горизонтам. Содержание химических элементов определялось рентгенофлуоресцентным методом на спектрометре ARL Perform'x-4200 в лаборатории инструментальных методов анализа ГИН СО РАН.

Лежалые отходы обогащения руд или техногенные пески (ТП) насыпного и аварийного хвостохранилищ, более 70 лет перекрывавшие аллювиальные болотные почвы, имеют сильноокислую реакцию среды и разнообразный гранулометрический состав: от илистого, пылеватого до мелко- и крупнозернистого. Основные минералы ТП – это кварц и полевошпат. Из рудных минералов преобладает пирит (среднее 0,3 %), в единичных зернах присутствует гюбнерит, халькопирит, галенит, сфалерит, молибденит, шеелит и блеклая руда; из нерудных – флюорит и берилл [4].

АБП в верхней части почвенного профиля имеют темно-серый перегнойный горизонт (Апер.) мощностью до 30 см с содержанием органического вещества 47-52% высокой степени разложения. Нижележащие горизонты (А1, В, С) представлены минеральной толщей разной степени оглеения. Реакция почв – сильноокислая-кислая в верхней части и кислая в нижней части профиля.

Содержание большинства элементов (Fe, S, As, Zn, Cd, Pb, Cu, Mo, Mn, W, U) в профиле почв рекультивированной территории насыпного хвостохранилища отходов обогащения сульфидно-вольфрамовых руд колеблется в достаточно широких пределах (табл. 1), что, вероятно, связано с разнообразием химического состава перекрывавших их техногенных песков. Для ТП характерно высокое содержание S, As, Zn, Pb, Mo, W, Bi; для погребенного перегнойного горизонта (А пер. погр.) – Fe, S, As, Zn, Cd, Pb, Cu, Mo, Mn, W, U; для погребенного гумусового горизонта (А1 погр.) – Fe, S, Zn, Cd, Cu; для нижележащих минеральных горизонтов (Bg, BG, BCG, CG) – Fe, Zn, Cd, Pb, Cu.

Средние содержания потенциально токсичных элементов (в том числе и их максимальные количества) по профилю почв рекультивированных территорий аварийного хвостохранилища отходов обогащения сульфидно-вольфрамовых руд и «дельтовой залежи» (табл. 2) заметно ниже таковых в профиле почв рекультивированной площади насыпного хвостохранилища (см. табл. 1). Не так широк и спектр химических элементов с их высокими содержаниями для территории бывшего аварийного хвостохранилища: в ТП – S, Pb, Mo, W, Bi; в погребенном гумусовом горизонте – Zn, Cd, Pb, Ni, Cu, U;

в нижележащих минеральных горизонтах – Zn, Pb, W; для площади дельтовой залежи: в ТП – Pb, Cu, Mo, W, Bi.

Повышенное содержание таких химических элементов как S, Zn, Pb, Cu, W, Bi и U в привозном гумусовом горизонте на рекультивированных территориях насыпного и аварийного хвостохранилищ (по сравнению с рекультивированной площадью дельтовой залежи) связано с «примешиванием» не полностью вывезенных ТП при проведении агротехнических мероприятий на данных территориях. Эти элементы характерны для горнопромышленных ландшафтов, как рудные элементы и их спутники, что было отмечено в ранее проведенных исследованиях [2, 3].

Таблица 1

Пределы колебаний (числитель) и среднее содержание (знаменатель) потенциально токсичных элементов в профиле почв рекультивированной территории насыпного хранилища отходов обогащения сульфидно-вольфрамовых руд

Элемент	Ед. изм.	Горизонт				
		A1 прив.	ТП	Апер. погр.	A1 погр.	Bg, BG, CG
Fe	%	<u>4,53-5,52</u>	<u>0,56-5,59</u>	<u>3,07-10,42</u>	<u>3,22-12,72</u>	<u>1,69-12,7</u>
		5,12	1,95	5,55	6,04	5,22
S	%	<u>0,1-0,55</u>	<u>0,24-3</u>	<u>0,1-5,3</u>	<u>0,1-5,6</u>	<u>0,1-5,6</u>
		0,33	1,05	1,46	1,37	0,63
As	г/т	<u>8-22</u>	<u>8-101</u>	<u>6-170</u>	<u>3-70</u>	<u>6-75</u>
		16,8	37,9	49,4	24,5	16,2
Zn	г/т	<u>260-484</u>	<u>58-1930</u>	<u>66-6000</u>	<u>87-4677</u>	<u>54-1250</u>
		453	421	1627	1470	470
Cd	г/т	<u>3,2-8,8</u>	<u>0,75-29</u>	<u>0,75-114</u>	<u>0,75-69</u>	<u>1-50</u>
		6,38	7,23	40,4	31	10,1
Pb	г/т	<u>180-508</u>	<u>50-3390</u>	<u>26-289</u>	<u>23-143</u>	<u>21-2440</u>
		308	1099	110	50,5	205
Ni	г/т	<u>37-52</u>	<u>1-53</u>	<u>14-133</u>	<u>22-70</u>	<u>6,6-63</u>
		44,3	18,6	50,9	51	47,1
Cu	г/т	<u>125-982</u>	<u>14-713</u>	<u>454-15690</u>	<u>48-9560</u>	<u>31-3100</u>
		564	259	3623	1938	568
Mo	г/т	<u>6-54</u>	<u>1-9500</u>	<u>1-912</u>	<u>0,3-259</u>	<u>0,3-116</u>
		25,8	1296	238	60,2	39,8
Mn	г/т	<u>673-1326</u>	<u>317-712</u>	<u>333-2632</u>	<u>519-1393</u>	<u>565-1161</u>
		1006	512	859	884	808
W	г/т	<u>56-137</u>	<u>2-1000</u>	<u>2,5-1940</u>	<u>1,4-113</u>	<u>1,4-26</u>
		106	323	461	21,2	6,17
Bi	г/т	<u>6-28</u>	<u>0,5-1037</u>	<u>0,6-28</u>	<u>1-14</u>	<u>1-21</u>
		12,5	181	7,56	4,02	3,86
U	г/т	<u>3,2-90</u>	<u>1-24</u>	<u>4-350</u>	<u>2,3-130</u>	<u>1-95</u>
		31,1	7,6	89	39,9	17,3

Таблица 2

**Пределы колебаний (числитель) и среднее содержание (знаменатель)
потенциально токсичных элементов в профиле почв рекультивированных
территорий аварийного хранилища отходов обогащения сульфидно-
вольфрамовых руд и «дельтовой залежи»**

Эле- мент	Ед. изм.	Аварийное хвостохранилище				Дельтовая залежь	
		Горизонт					
		А1 прив.	ТП	Апер. погр.	Вг, ВГ, СГ	А1 прив.	ТП
Fe	%	<u>2,87-5,24</u> 4,19	<u>0,98-2,17</u> 1,44	<u>2,73-4,51</u> 3,80	<u>2,94-4,51</u> 3,51	<u>4,33-4,89</u> 4,56	<u>0,77-1,89</u> 1,07
S		<u>0,1-1,7</u> 0,91	<u>0,88-2,3</u> 1,42	<u>0,1-1,54</u> 0,71	<u>0,12-1,9</u> 0,86	<u>0,09-0,26</u> 0,18	<u>0,13-1,11</u> 0,65
As	г/т	<u>7-23</u> 13,5	<u>9-22</u> 14,7	<u>2,5-22</u> 13,8	<u>6-79</u> 36	<u>7-14</u> 9,4	<u>8-20</u> 11,4
Zn		<u>83-523</u> 224	<u>166-208</u> 191	<u>66-3814</u> 1411	<u>112-659</u> 332	<u>74-121</u> 90,8	<u>53-356</u> 133
Cd		<u>0,75-16,5</u> 4,56	<u>0,75-3,4</u> 1,63	<u>0,75-72</u> 25,3	<u>0,75-4,1</u> 3,28	<u>0,75-3</u> 1,2	<u>0,75-9,8</u> 2,15
Pb		<u>29-344</u> 125	<u>376-642</u> 473	<u>18-842</u> 307	<u>10-1374</u> 546	<u>19-72</u> 42,8	<u>38-703</u> 308
Ni		<u>12-70</u> 47,3	<u>3,3-10</u> 5,97	<u>44-110</u> 72,7	<u>11-39</u> 29	<u>39-46</u> 43	<u>1,9-43</u> 5,94
Cu		<u>40-333</u> 146	<u>45-101</u> 71,7	<u>51-2740</u> 954	<u>52-373</u> 190	<u>37-45</u> 40,2	<u>13-213</u> 45,3
Mo		<u>3,5-159</u> 49	<u>113-196</u> 164	<u>3-237</u> 95,3	<u>10-156</u> 102	<u>0,3-32</u> 7,94	<u>1,3-429</u> 185,5
Mn		<u>557-1045</u> 792	<u>511-789</u> 624	<u>573-851</u> 733	<u>542-774</u> 697	<u>1238-1300</u> 1265	<u>379-913</u> 830
W		<u>11-170</u> 63,8	<u>270-446</u> 373	<u>2,5-430</u> 145	<u>15-1130</u> 436	<u>3,3-36</u> 22,9	<u>17-380</u> 234
Bi		<u>0,6-28</u> 10,6	<u>42-78</u> 54,7	<u>1,0-36</u> 13,1	<u>2,1-49</u> 24,7	<u>1,2-10</u> 4,62	<u>4,5-136</u> 65,4
U		<u>2-37</u> 15,2	<u>2,5-4,6</u> 3,5	<u>1,6-440</u> 154	<u>1,6-16</u> 9,53	<u>0,5-2,1</u> 0,82	<u>0,5-40</u> 5,8

На характер распределения элементов по вертикальному профилю почв оказывают влияние такие факторы, как гранулометрический состав, содержание органического вещества, кислотно-щелочная реакция среды, а также другие геохимические барьеры. Так, в аллювиальной болотной почве, перекрытой отходами обогащения руд на территории бывшего насыпного хвостохранилища (рис.) максимальные количества Mo, Zn, Bi, Pb, S и As приурочены к десятисантиметровой илистой прослойке в толще мелкозернистых техногенных песков; W и Mn – к «подшве» мелкозернистых песков; Cu, As, Ni, U, Fe и S – к погребенному перегнойному горизонту; Mn и Fe – к глеевому горизонту погребенной почвы.

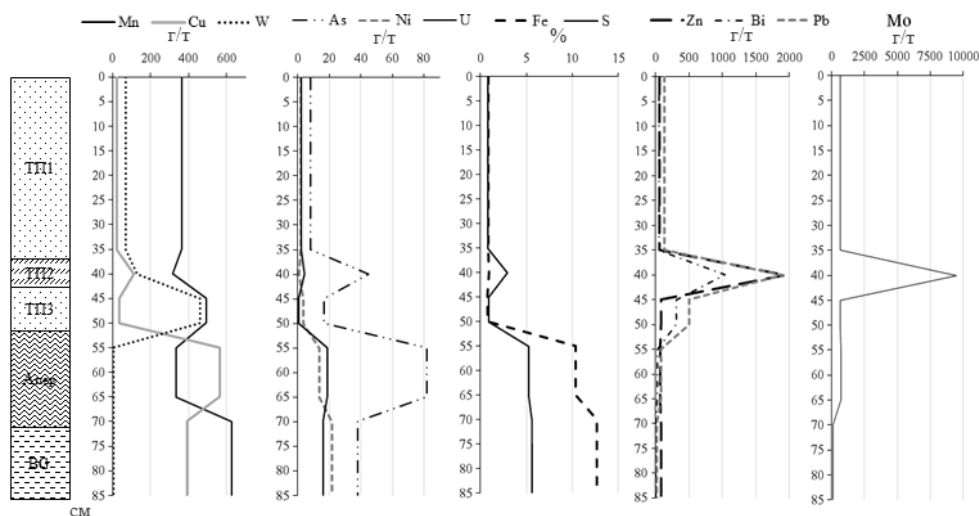


Рис. Распределение химических элементов по профилю аллювиальной болотной почвы, погребенной под отходами обогащения сульфидно-вольфрамовых руд на территории бывшего насыпного хвостохранилища

Работа выполнена при поддержке РФФИ, грант № 16-05-01041.

Литература

1. Классификация и диагностика почв СССР. – М.: Колос, 1977.
2. Кошелева Н.Е., Касимов Н.С., Тимофеев И.В. Геохимия поверхностных горизонтов почв в горнопромышленных ландшафтах (г. Закаменск, Забайкалье) // Геоэкология. Инженерная геология. Гидрогеология. Геоэкология. – 2016. – № 4. – С. 335-352.
3. Смирнова О.К., Плюснин А.М. Джидинский рудный район (проблемы, состояние окружающей среды). – Улан-Удэ: Изд-во БНЦ СО РАН, 2013.
4. Ходанович П.Ю. Лежалые отходы обогащения Джидинского вольфромомолибденового комбината, как комплексные техногенные месторождения // Состояние и перспективы развития минерально-сырьевого и горнодобывающего комплексов Республики Бурятия. – Улан-Удэ: Изд-во БНЦ СО РАН, 1999. – С. 142-151.

КОМПЛЕКСНЫЙ МОНИТОРИНГ РАЙОНА УРАНОВЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПРОИЗВОДСТВЕННОГО ОБЪЕДИНЕНИЯ «АЛМАЗ» (СТАВРОПОЛЬСКИЙ КРАЙ)

М.Ю. Евдокимова, Ю.Б. Осипов

Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе,
117997 Москва ул. Миклухо-Маклая, д. 23. E-mail: office@mgri-rggu.ru

Необходимость проведения геоэкологического мониторинга определена законами РФ «Об охране окружающей среды» №7-ФЗ от 10.01.2002, «О санитарно-эпидемиологическом благополучии населения» № 52-ФЗ от 30.03.1999, «О радиационной безопасности населения» № 3-ФЗ от 09.01.1996, «Водным кодексом РФ» и др [1].

Мониторинг рекультивированных объектов бывшего госпредприятия «Алмаз» разрабатывается на 5-летний период после завершения рекультивационных работ. Объектами мониторинга являются подземные и поверхностные воды, а также шахтные отвалы в зоне потенциального влияния объектов бывшего госпредприятия «Алмаз» – рудника №1 г. Бештау, рудника № 2 г. Бык и хвостохранилища гидрометаллургического завода (далее ГМЗ). Территория объекта расположена в пределах региона Кавказские Минеральные Воды Ставропольского края.

Основной задачей гидрогеологического мониторинга является обеспечение информацией о состоянии подземных вод в районах потенциального влияния объектов бывшего госпредприятия «Алмаз» в пострекультивационный период. Гидрогеологический мониторинг рекультивированных объектов разрабатывается на 5-летний период после завершения рекультивационных работ.

Обоснование местоположения пунктов наблюдательной сети

В результате продолжительной разработки Бештаугорского и Быкогорского месторождений урана экологическая ситуация на территории региона КМВ осложнилась в связи с поступлением на поверхность штольневых вод, образованием отвалов высокорadioактивных пород, накоплением радиоактивных донных осадков по ручьям и в водоемах, переработкой уранового сырья и складированием в хвостохранилище отходов производства.

По результатам проведенных рекогносцировочных работ и анализа материалов предшествующих исследований, определены как рекультивируемые объекты, так и зоны их влияния на окружающую среду, в пределах которых проектом предусматривается организация режимных наблюдений по гидрологическому и гидрогеологическому мониторингу.

Лермонтовское производственное объединение «Алмаз» (ЛПО «Алмаз») расположено на юге Ставропольского края Российской Федерации.

В состав объединения до 1991 г. входили два уранодобывающих рудника на горах Бештау (рудник № 1) и Бык (рудник № 2) и рудоперерабатывающий гидromеталлургический завод (ГМЗ) с комплексом хвостового хозяйства.

Вскрытие месторождений осуществлялось подземным способом, системой горизонтальных горных выработок (штолен), используемых для транспортировки горной массы и вентиляции. Добытая руда транспортировалась по железной дороге (рудник 1, гора Бештау) и автомобильным транспортом (рудник 2, гора Бык) для переработки на гидromеталлургический завод (ГМЗ). Пустая порода и забалансовые руды складировались в отвалах в районе устья штолен. Отходы гидromеталлургического завода транспортировались в хвостохранилище по пульпопроводу. Переработка руды осуществлялась кислотным способом с последующим извлечением ценных компонентов по сорбционно-экстрактной схеме.

После завершения в 1991 г. переработки радиоактивных руд гидromеталлургический завод был перепрофилирован на производство фосфорных удобрений. Рудник № 1 (г. Бештау) был закрыт в 1975 г., рудник № 2 – в 1990 г. Распоряжением Госкомимущества РФ от 19.09.1997 г. ЛПО «Алмаз» реорганизовано в форме выделения из его состава государственных предприятий: «Гидromеталлургический завод», «Электромеханический завод», «Совхоз Горный».

Полноценной реабилитации территорий горных предприятий после их закрытия не было произведено, остались неликвидированными отдельные штольни, шахты, здания и другие строения.

Бештаугорское месторождение урана разрабатывалось системой горизонтальных горных выработок (штолен) без закладки выработанного пространства, пройденные горные выработки образовали систему дренажа массива г. Бештау, в них происходила разгрузка подземных вод. Для упорядочения сброса дренируемых шахтных вод было принято решение все сильно загрязненные воды сдренировать на один горизонт с тем, чтобы они поступали на очистные сооружения

За период эксплуатации предприятия «Алмаз» на хвостохранилище было складировано 12 млн.м³ (14 млн.т) хвостового материала, содержащих природный уран и продукты его распада.

Кроме того, в пределах промплощадок хвостохранилища, расположенных по периферии карт, заскладировано технологическое оборудование и строительные материалы, вывезенные в результате реконструкции ГМЗ и создающие контрастные аномалии радиоактивности.

До 1985 года избыточные воды хвостохранилища после известкования сбрасывались в местную гидрографическую сеть – реку Горькуша, правый приток реки Кума. После сооружения в 1985 г. резервной емкости (пруда), избыточная вода в гидрографическую сеть не сбрасывается. Фильтрационные воды разгружаются в трубчатый дренаж, расположенный в подошве низового откоса и далее перекачивается в технологический цикл предприятия, частично отводятся в карту № 6- прудок-накопитель.

В основании хвостохранилища залегают мергели плотные, зеленовато-серые. Наблюдения показали, что грунтовые воды в толще мергелей циркулируют лишь в трещиноватых зонах. Так как трещинные грунтовые воды имеют большую минерализацию, результаты исследований позволили заключить, что воды в трещинах носят застойный характер, при этом длительная работа подземных вод не влечет за собой образования карстовых явлений. В зоне, не захватываемой выветриванием, мергели практически водонепроницаемы и устойчивы.

Организация гидрогеологического мониторинга

Учитывая условия формирования запасов и минерального состава подземных вод, а также характер загрязнений предлагается создать следующую систему мониторинга.

Режимная сеть из наблюдательных скважин, должна охватить территорию от источников загрязнения (шахт и штолен) до жилых районов и промышленных зон. Сеть предлагается прокладывать в виде радиально расходящихся створов наблюдательных скважин (от горных выработок к базису эрозии), с целью получения параметров водоносных горизонтов, уточнения границ выклинивания и скорости фильтрации содержания токсичных элементов и радионуклидов.

Наблюдения за состоянием подземных вод предусматривается проводить по скважинам, оборудованным на первый от поверхности водоносный горизонт. При этом скважины предлагается разместить как по створам, ориентированным по потоку, так и по площади, на участках локального загрязнения.

Наблюдательную сеть целесообразно распределить по отдельным наблюдательным участкам в следующем порядке:

1. Бештаугорский участок наблюдений – территория подвергшаяся воздействию техногенных объектов рудника № 1 (Бештаугорское месторождение).

2. Быкогорский участок наблюдений – территория подвергшаяся воздействию техногенных объектов рудника № 2 (Быкогорское месторождение).

3. Лермонтовский участок наблюдений – территория подвергшаяся воздействию хвостохранилища, пульпопровода, промплощадок ГМЗ.

В пределах каждого участка проектом мониторинга будет предусмотрено создание пунктов наблюдений за подземными водами – скважин и пунктов наблюдений за поверхностными водами – гидрогеологических постов.

Все пробуренные скважины по Бештаугорскому, Быкогорскому и Лермонтовскому участкам будут включены в общую систему гидрогеологического мониторинга.

Таким образом, состав наблюдательной сети гидрогеологического мониторинга будет состоять из 62 скважин, в том числе: 48 вновь пробуренных скважин и 14 скважин существующей сети мониторинга хвостохранилища ГМЗ.

В состав работ по мониторингу подземных вод включается:

- измерения уровня воды – ежемесячно, в паводковый период (апрель, май) – ежедекадно;
- отбор проб воды на радиохимический анализ (U^{238} , Ra^{226}) – 1 раз в квартал;
- отбор проб воды на расширенный радиохимический анализ (Th^{230} , Th^{232} , Pb^{210} , Po^{210}) – 1 раз в год;
- отбор проб воды на химический анализ (азот аммонийный, нитрат-ион, бериллий, кадмий) из скважин в районе хвостохранилища – 1 раз в квартал;
- отбор проб воды на химический анализ (бериллий, кадмий) за исключением скважин в районе хвостохранилища – 1 раз в квартал;
- измерение удельной альфа-радиоактивности илового остатка проб – 1 раз в квартал.

Мониторинг состояния вод родников и поверхностных вод зон влияния рекультивированных объектов

Для изучения режима поверхностных вод, взаимосвязи подземных и поверхностных вод и оценки воздействия на них техногенных объектов (рудника №1 г. Бештау, рудника №2 г. Бык, хвостохранилища ГМЗ) предусматривается устройство каптажей на родниках, гидрометрических створов на водотоках, водомерных постов на водоёмах и прудах-отстойниках. Гидрометрические створы, будут оборудованы с учетом расположения техногенных объектов (выше и ниже источника загрязнения). Водомерные посты предусматривается оборудовать на водоемах и прудах отстойниках.

При проведении мониторинга предусматривается выполнение следующего комплекса работ:

- Наблюдения за режимом и состоянием вод родников на каптажах.
- Наблюдения за режимом и состоянием поверхностных вод на гидрометрических створах и водомерных постах.
- Метеорологические наблюдения на автоматической метеостанции.
- Лабораторные исследования проб воды, взвешенных и донных наносов.
- Обработка результатов мониторинга и составление годового отчета.

Наблюдения за режимом и состоянием вод родников будут проводиться в пределах территорий Бештаугорского участка наблюдений (рудник 1) и Быкогорского участка наблюдений (рудник 2), а за режимом и состоянием поверхностных вод – на этих участках и на Лермонтовском участке наблюдений (хвостохранилище), в границах выделенных зон влияния рекультивированных объектов.

Родники нисходящие, безнапорные. В процессе устройства каптажа предусматривается очистка и углубление днища родника с устройством приемной камеры каптажа. Для каждого родника размеры приемной камеры

принимаются по месту. Днище приемной камеры уплотняется, утрамбовывается и отсыпается гравийной смесью. Приемная стенка каптажа также отсыпается гравийной смесью. Боковые стенки приемной камеры уплотняются и сужаются по направлению стока воды.

Для проведения химического, радиохимического анализа вод родников предусматривается отбор проб воды на оборудованных для этих целей каптажах. Опробование включает:

- отбор проб воды на радиохимический анализ (U^{238} , Ra^{226}) – 1 раз в квартал;
- отбор проб воды на радиохимический анализ (Th^{230} , Th^{232} , Pb^{210} , Po^{210}) – 1 раз в год;
- отбор проб воды на химический анализ (азот аммонийный, нитрат-ион, бериллий, кадмий) – 1 раз в квартал;
- измерение удельной альфа-радиоактивности илового остатка проб – 1 раз в квартал.

Наблюдения за режимом и состоянием поверхностных вод проводятся на гидрометрических створах и водомерных постах, при этом на гидрометрических створах замеряется расход воды, а на водомерном посту – положение уровня воды водоема или пруда отстойника. Обследованию подлежат как естественные водотоки, так и водотоки, образованные за счет сброса на поверхность шахтных вод, а также водоемы и пруды отстойники, расположенные в пределах зон влияния рекультивированных объектов.

В процессе наблюдений проводятся замеры температуры воды и производится отбор проб воды на лабораторные исследования.

Предусматривается выполнение следующих видов полевых работ:

- Рекогносцировочное маршрутное обследование территории зон влияния рекультивированных объектов.
- Устройство гидрометрических створов и водомерных постов.
- Наблюдения за режимом и температурой вод на гидрометрических створах и водомерных постах.
- Отбор проб вод, взвешенных и донных наносов на лабораторные исследования.

Мониторинг физического состояния рекультивируемых объектов

Радиационный мониторинг за состоянием поверхности рекультивируемых отвалов будет проводиться в границах всех объектов рудника 1, рудника 2 и хвостохранилища с целью выявления аномальных зон со значениями МЭД гамма-излучения более 0,6 мкЗв/ч, которые могут образоваться в границах отвалов за счет развития эрозионных и денудационных процессов.

Мониторинг за состоянием приустьевых участков горных выработок будет проводиться с целью контроля целостности защитных сооружений, обеспечивающих предотвращение проникновения местного населения и животных с риском для жизни в горные выработки.

Мониторинг за количеством и качеством подземных вод, выклинивающихся из затампонированных штолен, будет проводиться с целью выявления возможных водопроявлений из затампонированных штолен в пострекультивационный период, способных оказать негативное воздействие на состояние окружающей природной среды.

Для контроля в пострекультивационный период радиоактивного загрязнения почв и грунтов предусматривается их опробование в зонах возможного влияния рекультивируемых объектов на ближайшие населенные пункты. К таким населенным пунктам в зонах возможного влияния рудника 1 относятся города Лермонтов и Пятигорск и п. Иноземцево. В зону возможного влияния рудника 2 попадает п. Быкогорка.

Предусмотренный комплекс работ по гидрогеологическому и гидрологическому мониторингу, мониторингу физического состояния рекультивируемых объектов госпредприятия «Алмаз» достаточен для обеспечения радиационной безопасности населения и окружающей природной среды в соответствии с требованиями действующих нормативных документов.

Литература

1. Глинский М.Л., А.В. Глаголев, Е.Г. Дрожко и др. Методические рекомендации по ведению объектного мониторинга состояния недр на предприятиях Госкорпорации «Росатом». – М., 2010.

2. Королёв И.Б., Терещенко Л.А. и др. Разработка проекта мониторинга рекультивированных объектов бывшего госпредприятия «Алмаз, (г. Лермонтов, Ставропольский край)». – Ессентуки, 2014.

КОМПЛЕКСНЫЙ МОНИТОРИНГ РАЙОНОВ ОСВОЕНИЯ МОРСКИХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

И.М. Ефремкин, Е.М. Снопина, М.А. Холмянский

ООО НП «ЦИТ», 190000, г. Санкт-Петербург, ул. Б. Морская д. 56-27.
E-mail: holm936@rambler.ru

На всех этапах проведения геоэкологических работ в системе рационального освоения морских нефтегазовых и россыпных месторождений, одним из важнейших их видов является геоэкологический мониторинг. На прогнозной и поисковой стадии освоения проводится общий мониторинг регионально-локального уровня. Полигоны для его проведения на акватории морей выбираются исходя из геоморфологической, литологофациальной, литодинамической и геокриологической обстановки.

В соответствии с действующим природоохранным законодательством, недропользователи обязаны создавать систему регулярных наблюдений за

состоянием окружающей природной среды (воды, донные осадки, геокриозона, атмосферный воздух).

В этой связи рациональное недропользование в области промышленного освоения нефтегазовых месторождений требует создания регламента экологического мониторинга лицензионных участков.

В качестве основных задач локального мониторинга для лицензионных участков, в рамках такого регламента следует выделить:

- контроль состояния окружающей природной среды шельфа по физическим, химическим и биологическим параметрам с целью определения уровня загрязнения, выявления основных источников загрязнения и регламентации основных природоохранных мероприятий, планируемых на разных стадиях освоения месторождений;

- обеспечение контролирующими и природоохранными органами систематическими данными об уровне загрязнения окружающей среды, прогнозом их изменения и, на стадии промышленного освоения, экстренной информацией – в случае резких повышений уровня загрязнения вышеуказанных сред.

Создание системы локального экологического мониторинга лицензионного участка предусматривает три стадии:

- паспортизацию;
- осуществление экологического мониторинга;
- формирование геоэкологических управляющих решений.

На стадии эксплуатации морских месторождений производится инвентаризация источников загрязнения, в результате которой составляются электронные карты основных экологически опасных техногенных объектов, нарушенных ландшафтов.

Экологический мониторинг территорий лицензионных участков представляет собой комплекс взаимосвязанных, синхронизированных во времени и территориально совмещенных работ по отслеживанию состояния окружающей среды, в том числе, факторов загрязнения и миграции загрязняющих веществ, что и кладется в основу составления ОВОС.

На основании исследований, выполненных на лицензионных участках можно определить основные элементы построения мониторинговой системы.

В их числе:

- количество и местоположение пунктов контроля природных сред;
- перечень определяемых показателей качества природных сред;
- периодичность проведения контроля для различных сред и показателей.

На основании мониторинга составляются сводные ежеквартальные данные о состоянии окружающей среды.

Дадим краткую характеристику комплексного экологического мониторинга и экологического контроля при освоении морских нефтегазовых месторождений, составленную на основании концепции принятой специалистами Газпрома [2, 3], наших собственных исследований и зарубежного опыта в этой области [1, 4, 5].

Экологический мониторинг, как система регулярных наблюдений за состоянием окружающей среды, с целью выявления потенциальных опасностей и негативных последствий антропогенного характера и принятия управляющих решений по обеспечению природоохранных мер, отличается широким спектром различных вариантов его реализации.

В настоящее время в экологической литературе используется данное нами определение: «Мониторинг окружающей природной среды – это геоинформационная интеллектуальная система с широким набором разнообразных модулей, обеспечивающая сбор и обработку информации, полученной в выбранном пространственно-временном поле, дальнейшую интерпретацию материала, моделирование, прогноз и принятие управляющих решений» [1].

Оптимальная методология мониторинговых наблюдений, в этом случае, строится на основе применения комплекса геофизических, геологических, биологических методов измерений в режиме *in-situ* и химико-аналитических лабораторных исследований.

Предложенные нами идеи создания интеллектуальных информационных систем, включающих само проведение мониторинговых работ, обработку данных, введение дополнительной информации и формирование управляющих решений, в последние годы интенсивно развивается.

Одной из задач производственно-экологического контроля, который будет проводиться при установке, обустройстве, а также эксплуатации морских ледостойких платформ в Арктике, заключается в обеспечении контроля за техническим состоянием и соблюдением правил эксплуатации всех видов устройств, работа которых сопровождается воздействием на окружающую среду.

Для повышения представительности результатов мониторинга и сокращения сроков проведения работ, применяемые методы должны обеспечивать следующее:

- максимальное использование инструментальных измерений;
- широкое использование дистанционных методов исследований с оперативным выводом информации на электронные носители;
- возможность компьютерной обработки результатов исследований, в частности, с использованием технологий географических информационных систем (ГИС).

Контроль и мониторинг на стадии эксплуатации платформы проводится в два этапа:

- проведение первичной съемки (в том числе, камеральная обработка информации);
- проведение повторных наблюдений (в том числе, камеральная обработка информации).

Оба этапа сопровождаются анализом результатов.

Для выявления возможных изменений в развитии экосистем в районах поисково-оценочных работ на лицензионных участках проводится регулярный долгосрочный комплексный экологический мониторинг на основе разра-

ботанной концепции и специализированной информационно-измерительной системы.

Достижимые при этом цели мониторинга состоят в:

- выявлении потенциальной опасности деградации окружающей среды;
- определении степени вреда, причиняемого биоресурсам бассейна;
- определении уровня деградации всей экосистемы, включая оценку её загрязнения;
- оценке эффективности мер, применяемых для уменьшения антропогенной нагрузки.

Программа мониторинга (режим, сетка станций, измеряемые параметры) стандартизирована в соответствии с российской и международной практикой подобных исследований и согласовывается со специально уполномоченными государственными органами по охране окружающей среды.

Проведение буровых работ находится под постоянным контролем представителей природоохранных и рыбохозяйственных органов. Синхронно с процессом бурения выполняется дополнительная мониторинговая съёмка. Её основной задачей является обеспечение экологической безопасности буровых работ.

В основе выбора контролируемых при экологическом мониторинге параметров окружающей среды лежат результаты ранее выполненных ОВОС и экологического мониторинга поисково-оценочных работ, включая предшествующую фоновую экологическую съёмку. В первую очередь ведётся наблюдение за коротко циклическими компонентами экосистемы, вносящими основной вклад в продукционные процессы и деструкцию органического вещества. Это не только коротко циклические формы планктона, но и бентоса, поскольку последние быстро реагируют на эвтрофикацию, изменения газового режима и состава донных осадков. Особое внимание обращается на исследования бентоса, что связано с неизбежными нарушениями структуры и переотложением донных осадков.

Биологические наблюдения осуществляются одновременно со сбором информации о термохалинной структуре вод, так как особенности развития стратификации в значительной мере определяют ход биопродукционного процесса. Данные о водных массах, наряду с характеристиками грунта (гранулометрический состав, содержание органического вещества и др.) определяют видовой (фунистический) состав и количественное распределение бентоса, структуру его сообществ. Одновременно проводится также мониторинг загрязнений вод и донных осадков.

При выборе показателей состояния окружающей среды используются отечественные программы мониторинга, и учитывается международный опыт (GESAMP, 1995; HELCOM, 1996; AMAP, 1997; ICES, 2000; OSPAR, 2000; FINISH CENTR OF MONITORING, 2002; NORTHERN DIMENSION, 2003 и др.)

В качестве основных контролируемых параметров комплексного экологического мониторинга поисково-оценочных работ используются:

– стандартные метеорологические (температура и влажность воздуха, направление и скорость ветра и т.д.);

– стандартные гидрологические (температура и солёность воды, скорость и направление течений, волнение и т.д.);

– геохимические параметры (седиментология: визуальное описание поверхности осадков, гранулометрический состав, цвет, запах, общее содержание органического углерода (ТОС), окислительно-восстановительный потенциал (Eh); углеводороды: общее содержание (ТНС), нафталин, фенатрен/антрацен, дибензтиофен и их С₃алкилгомологи (NPD), бициклические алифатические углеводороды типа деколоны, соотношение n-C₁₇/пристан к n-C₁₈/фитан, 2-6-ти циклические ароматические углеводороды; металлы (барий Ba, кадмий Cd, медь Cu, цинк Zn, ртуть Hg, железо Fe, кобальт Co, никель Ni, ванадий V, хром Cr, стронций Sr, алюминий Al);

– биологические параметры (зообентос: количество видов на единицу площади или в единице объёма осадка, количество и биомасса индивидуумов каждого вида; рыбы (ТНС, NPD, биоциклические углеводороды в мышцах и печени, возраст и размеры каждого исследуемого индивидуума, размерная выборка и статистический анализ); ракообразные (ТНС, NPD, биоциклические углеводороды в тканях, возраст и размеры каждого исследуемого индивидуума).

В случае возникновения аварийных ситуаций на лицензионных участках следует предусматривать развёртывание оперативной мониторинговой сети.

На основании мониторинга в последующем формируется сеть долгосрочных наблюдений.

Проведение мониторинга на арктическом шельфе накладывает дополнительные проблемы и факторы состояния экосистемы:

- изменение состояния многолетней мерзлоты;
- резкие колебания температур донных осадков, воды и атмосферного воздуха;
- изменение режима льдообразования;
- более короткий срок проведения мониторинговых наблюдений;
- более сложные условия отбора проб воды и донных осадков;
- необходимость использования специальных судов ледового класса.

К настоящему времени авторами по заданию компании «Газфлот» составлены программы проведения комплексного мониторинга на арктических месторождениях Приразломное, Долгинское, Каменномысское – море и других.

Литература

1. Ефремкин И.М., Холмянский М.А. Геоэкологическое сопровождение освоения нефтегазовых месторождений арктического шельфа. – СПб.: Недра, 2008. – 316 с.
2. Карцев А.Ю. О некоторых требованиях к комплексному экологическому мониторингу в районах морской нефтедобывающей деятельности. – СПб.: СЗНИИ Наследия, 2001. – 38 с.

3. Проблемы экологии при освоении газовых и нефтяных месторождений Крайнего Севера. – М.: ВНИИГАЗ, 1995. – 243 с.

4. Холмянский М.А., Опекунов А.Ю., Черкашёв Г.А. Концептуальные основы мониторинга геологической среды континентального шельфа // Концептуальные проблемы геоэкологического изучения шельфа. – СПб. ВНИИОкеангеология, 2000. – С. 96-101.

5. Pilon J., Burgess M., Judge A., Allen V., MacLines K. Norman Wells to Zama oil pipeline and terrain research and monitoring program: site establishment report, GSC open file report № 2044, 1993.

ОБЕСПЕЧЕНИЕ ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ТЕРРИТОРИЙ МЕСТОРОЖДЕНИЙ УГЛЕВОДОРОДНОГО СЫРЬЯ

М.В. Кнатько¹, Д.Ю. Здобин², С.Ю. Жабриков¹

¹ ООО «НТЦ «Технологии XXI века», Лермонтовский пр., д. 7, лит. А, г. Санкт-Петербург, 190068, Россия. E-mail: office@nw-tech.ru

² Санкт-Петербургский государственный университет, Институт Наук о Земле, Университетская наб. 7/9, Санкт-Петербург, Россия. E-mail: zdobin_soil@mail.ru

Введение. Минимизация негативного техногенного воздействия на гидро- и литосферу сопряженного со строительством и эксплуатацией объектов обустройства нефтяных и газовых месторождений, в первую очередь наземных объектов технологического комплекса добычи, сбора, транспорта и подготовки нефти и газа, в условиях необходимости разведки и добычи углеводородов в труднодоступных и Арктических регионах нашей страны, обладающих широким биоразнообразием и уникальным, но в тоже время хрупким, экологическим балансом, неуклонно растет. Наиболее распространенным и опасным видом загрязнения, сопутствующим технологическому циклу добычи углеводородных энергоносителей, является утечки или проливы нефти и нефтепродуктов. При этом характер загрязнения носит ярко выраженный кумулятивный характер с эффектом отложенного систематически возрастающего негативного воздействия на окружающую среду в процессе эксплуатации территории месторождения. Основным реципиентом неблагоприятного техногенного воздействия и областью поступления экотоксикантов является литосфера, ввиду непосредственного поступления в процессе эксплуатации месторождения экотоксикантов в почвенный покров, нижележащие грунтовые массы и гидросферу. Негативные процессы усугубляются образованием в полосе колебания уровня грунтовых вод (УГВ) и выше линз нефтепродуктов, с дальнейшей диффузией экотоксикантов из них в водную среду.

Основные подходы к ремедиации. Все применяемые на сегодня технологии ремедиации загрязненных участков литосферы можно разделить на две условные группы по признаку локализации этого технологического про-

цесса, а именно in-situ технологии, связанные с детоксикацией загрязненных грунтов непосредственно в массиве их естественного или техногенного сложения без выемки и замены грунтов, и ex-situ технологии, предусматривающие извлечение и замену загрязненных грунтов с детоксикацией последних на внешней специализированной выделенной площадке.

К технологиям первой группы относятся главным образом методы биологической ремедиации территорий, основанные на использовании метаболического потенциала биологических (растений, грибов, насекомых, червей и т.п.), а также микробиологических объектов [1]. К основным недостаткам данных методик можно отнести существенную продолжительность процесса детоксикации, избирательность, с точки зрения целевого воздействия на те или иные виды экотоксикантов, и прямую зависимость степени их жизненной активности от условий аэрации и увлажнения грунта, степени и вида загрязнителей грунта, наличием в нем элементов роста, а также от климатических и сезонных факторов. Так, например, в случае ремедиации территории с использованием микробиологических объектов условие их жизнедеятельности требует аэрации грунтов, что ограничивает толщину очищаемого слоя грунтов (почвенных покровов) толщинами 0,2-0,4 м. С учетом глубины залегания линз нефтепродуктов, затрудненности аэрации грунтов на этих глубинах и большой концентрацией нефтепродуктов в линзе можно говорить о крайне низкой эффективности применения таких методов.

К группе технологий in-situ также относятся методики очистки грунтов с применением активных моющих реагентов различного генезиса. Основной недостаток реагентного подхода к санации грунтовых массивов заключается в невозможности контроля распространения чистящего раствора в условиях реально сложившегося вариативного гидродинамического режима территории. Поступление чистящих растворов и продуктов их взаимодействия с экотоксикантами в грунтовые воды (особенно залповое) может привести к значительно большим негативным последствиям для экологической безопасности среды, чем фоновое влияние существующего загрязнения грунтов.

Технологии ремедиации территорий группы ex-situ связаны с необходимостью единовременной выемки и замены всего массива загрязненных грунтов или его частей с обязательным гидро- и химическим экранированием чистых грунтов с целью исключения возможности их повторного загрязнения. В условиях сложившейся на территории месторождения существующей застройки, обширной инженерной инфраструктуры снабжения коммунальным ресурсом, развитой системы сетей связи, управления и автоматизации, а также функционального размещения объектов обустройства практически не представляется возможным реализовать эту группу технологий.

Предлагаемая концепция. Основой предлагаемого подхода к ремедиации грунтов нефтегазовых месторождений является интеграция современных технических и технологических решений в области производства строительно-монтажных работ нулевого цикла по созданию специальных подземных объемных несущих конструкций с использованием геокомпозитов и геополимеров, а также накопленных знаний в области геоэкологии, эколо-

гической геологии и физико-химических основ генерации высокоёмких сорбентов на основе нативных алюмосиликатных соединений [8].

Первый этап. Первый этап предусматривает перевод санируемой территории на замкнутый гидродинамический режим функционирования. Данная задача решается путем организации по периметру территории гидрозащесы путем сооружения водонепроницаемой стены в грунте с основанием на 3-4 м ниже УГВ или входящим в условный водоупор на глубину 0,5-1,0 м. Эта стена в грунте выполняет функцию отсекающего геохимического барьера и пресекающей дальнейшее распространение загрязнителей в геосферу. В качестве материала конструкции используются геополимеры и геокомпозиты, полученные путем модификации местных грунтов метастабильными мелкодисперсными минеральными системами (добавками), выступающими в качестве активаторов процессов деструкции алюмосиликатных соединений и последующей регенерацией новой изостатической структурной матрицы, являющейся долговечной основой синтезируемого материала [5]. Контроль над процессом образования геополимера и управляемость интенсивностью протекания физико-химических реакций трансформации грунтов позволяет целенаправленно варьировать целевые физико-механические характеристики конечного материала с достижением последними заданных (расчетных) значений [4]. Для производства строительного материала используются специализированная щитовая погружная сборно-разборная опалубка, позволяющая осуществлять возведение конструкции глубиной порядка 10 м., в том числе на территориях, сложенных слабыми с точки зрения несущей способности грунтами, что соответствует ожидаемой прогнозной глубине нахождения нижней границы горизонта грунтовых вод практически на всей территории России. Благодаря использованию в качестве строительного материала практически полного аналога, с точки зрения геоэкозащитных параметров, природным минералам, достигается максимальное снижение негативной техногенной нагрузки на лито- и гидросферу в зоне их взаимодействия с возводимым геотехническим объектом [2].

В тоже время, геохимический барьер по внешней стороне оснащается кольцевой дренажной системой, которая обеспечивает сохранение естественного гидрорежима окружающей территории, превращая санируемый участок в изолированный геотехнический объект и «невидимую» гидрозону, предотвращая баражные эффекты и подтопление территорий.

Второй этап. Второй этап предусматривает «промывку» загрязненного грунтового массива непосредственно в месте его естественного или техногенного сложения. Извлечение загрязнителей осуществляется путем циркуляции в грунтовом массиве сорбирующего раствора, обеспечивающего не только извлечение наиболее подвижных форм экотоксикантов, но и капсулирование (литификацию) менее агрессивных химических соединений и ионов токсичных тяжелых металлов, в структуре кристаллической решетки регенерируемой грунтовой матрицы, а также в естественных порах грунтового массива. Применяемые промывочные жидкости меняются от щелочных с добавками ПАВ сред на первых этапах очистки, до специальных сорбирующих

растворов. Сорбирующие растворы изготавливаются на основе гидролизованых кальцинированных и магнезированных природных алюмосиликатных минеральных систем, приобретающих в результате протекания экзотермических реакций сухого гидролиза и отсутствия с момента приготовления, жидкофазных процессов коагуляции, флокуляции и литификации коллоидно-дисперсных и золь-гелевых фаз и механо-химической активации аморфного SiO_2 с образованием соединений метасиликата кальция типа CaSiO_3 , а в присутствии в среде водяного пара и углерода – силикатов карбоната кальция типа $\text{CaCO}_3 \cdot \text{SiO}_2$, выполняющих функции дополнительных адсорбционно-активных центров, повышенную сорбционную емкость и комплексность протекания процесса сорбции (как топохимической, так и сквозьрастворной), обеспечивающей радикальное уменьшение зависимости эффективности процесса адсорбции от вида загрязнителя [3].

Циркуляция чистящих и сорбирующих растворов производится в системе попеременно меняющих свое функциональное назначение нагнетательных и заборных скважин. Организация сети скважин производится на основе инженерно-геологических и гидрологических данных конкретного санитаруемого участка, и располагается, в общем случае, в шахматном порядке по периметру изолированной ранее территории. Поступление и забор прошедшего грунтовый массив отработанного раствора из скважин осуществляется принудительно, с использованием погружного насосного оборудования. Частично осветленный (пройдя через локальные очистные сооружения) отработанный раствор вновь подается в технологический цикл санации, обеспечивая энергоэффективный оборот и рекуперацию реагентов.

Третий этап. После достижения установленных фокусных геоэкологических параметров санитаруемого грунтового массива производится консервация скважин с сохранением ряда регулировочных скважин для осуществления искусственного функционирования гидродинамического режима территории, предотвращающего ее подтопление.

Ремедиация подземной гидросферы. Комплексность действия сорбирующего раствора, применяемого на завершающих стадиях очистки грунтов и для очистки чистящих растворов, и его высокая геоэкозащитная эффективность обеспечивают высокую (до 99% и выше) степень очистки загрязненных вод без привязки процесса очистки к узкому диапазону pH. Это, в свою очередь, позволяет рекомендовать различные модификации данного сорбента для санации загрязненных непроточных водоемов и водных объектов с медленным течением на ремедируемой территории, а также для их применения в процессе очистки загрязненных промышленных, оборотных и ливневых вод.

Геоэкозащитная комплексность сорбирующего действия, вносимого в загрязненную воду минерального сорбента-осадителя обеспечивается следующими сорбционно-активными фазами [6]:

- коллоидно-дисперсная и золь-гелевые фазы в виде глинозема, кремнегеля, геля гидроксида железа и т.д.;

- взвешенность частиц твердой фазы алюмосиликатов глинистых пород, составляющих твердую фазу минеральной матрицы;
- коллоидно-дисперсной и золь-гелевой органических веществ, содержащихся в глинистых породах;
- молекулярно- и ионнорастворимой фазы способствующей процессам комплексобразования и сорбции различных ингредиентов дисперсной среды и т.д.

При этом коллоидно-дисперсная и золь-гелевая, и молекулярно- и ионнорастворимые фазы сорбента выполняют свою функцию во всем объеме очищаемой жидкости (т.е. сквозьрастворно), а твердая фаза (взвешенные частицы) – топохимически, т.е. контактным действием за счет наличия на их поверхностях свободных энергетических связей, разбалансированных кристаллических решеток глинистых минералов в результате кислотно-щелочного гидролиза.

Выводы. Предлагаемый комплексный подход к вопросу ремедиации грунтов территорий месторождений углеводородов и санации загрязненных объектов гидросферы, позволяет объединить передовые теоретические и эмпирические данные, инновационные геотехнические и геоэкозащитные технологии, опирающиеся на такие активно развивающиеся в настоящее время области знаний как геоэкология и техническая мелиорация грунтов. Подобный синтез технологических и конструктивных решений способен обеспечить высокие геоэкозащитные показатели комплексного подхода в целом и обеспечить прогрессивный экологический эффект, обусловленный существенным снижением негативной техногенной нагрузки загрязненных территорий на компоненты окружающей среды.

Литература

1. *Анопин В.Н.* Методы решения экологических проблем городских земель, нарушенных при строительстве // Сборник материалов и научных трудов инженеров-экологов «Проблемы охраны производственной и окружающей среды». – Волгоград, 2010. – С. 8-14.
2. *Жабриков С.Ю.* Строительный материал как результат переработки отходов бурения по ИММ-технологии // Теоретические и прикладные аспекты современной науки. – 2014. – № 2-2. – С. 190-199.
3. *Кнатъко В.М., Кнатъко М.В., Щербакова Е.В.* Способ получения щелочного алюмосиликатного сорбента. Патент на изобретение RUS 2409417 02.11.2006.
4. *Кнатъко М.В., Жабриков С.Ю., Бойцов Э.Л.* Применение геополимера «Грунт укрепленный техногенный» для возведения ограждающих конструкций котлованов // Вестник гражданских инженеров. – 2016. – № 4 (57). – С. 76-84.
5. *Пастухова В.А., Подлипский И.И., Жабриков С.Ю.* Оценка устойчивости литифицированных по интеграционной минерально-матричной технологии образцов укрепленного техногенного грунта // Сергеевские чтения. Инженерная геология и геоэкология. Фундаментальные проблемы и прикладные задачи Юбилейная конференция, посвященная 25-летию образования ИГЭ РАН. Ответственный редактор В.И. Осипов. – М.: РУДН, 2016. – С. 401-405.
6. *Щербакова Е.В., Кнатъко В.М., Щербаков К.В.* минерально-матричная нанотехнология очистки загрязненных вод с использованием глинистых сорбентов: монография /

Е.В. Щербакова, В.М. Кнатько, К.В. Щербаков; Министерство образования Российской Федерации. – СПб.: Санкт-Петербургский гос. ун-т, 2012.

7. *Popovic S., Vukanic S., Komatina D., Alihodzic-Jasarevic E., Makashov N.V.* The role of a landscape architect in reconstruction and reprofiling of abandoned quarries // Строительство уникальных зданий и сооружений. – 2015. – № 4 (31). – С. 108-121.

8. *Davidovits J.* Geopolymer chemistry and sustainable development. The Poly(sialate) terminology: a very useful and simple model for the promotion and understanding of green-chemistry // proceeding of the world congress Geopolymer 2005. – France, Saint-Quentin, 2005. – P. 9-15.

РЕГУЛИРОВАНИЕ ЗАРЯДА ГЛИНИСТЫХ ЧАСТИЦ В СВЯЗИ С ТЕХНОЛОГИЯМИ СОЗДАНИЯ ЗАЩИТНЫХ ЭКРАНОВ

В.А. Королёв, Д.С. Нестеров, М.С. Чернов

Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, геологический факультет, кафедра инженерной и экологической геологии, г. Москва. E-mail: doktorfosch@mail.ru

Введение. Развитие добычи полезных ископаемых приводит к загрязнению окружающей среды, неизбежно проявляющемуся при разработке месторождений и складировании токсичных отходов производства. Одним из методов экологической защиты природной среды при этом является создание защитных сорбционных глинистых экранов, которые располагают на пути миграции загрязняющих веществ. С целью повышения их эффективности авторами выполнены исследования по регулированию электрического заряда глинистых частиц, от которого зависит поглотительная способность и буферные свойства глин, применяемых для создания защитных экранов [1-4]. Путем регулирования величины и знака заряда глинистых частиц можно обеспечить сорбцию токсикантов в широком диапазоне рН.

Исследование проводилось на глинах каолинитового, гидрослюдистого и монтмориллонитового составов. Цель работы состояла в определении заряда частиц глин разного состава и установлении возможности их перезарядки в широком диапазоне рН для регулирования поглотительной способности глины. Для этого необходимо было решить следующие задачи: 1) определить заряд частиц каолинитовых, иллитовой и монтмориллонитовых глин при различных значениях рН; 2) определить значения точки нулевого заряда данных глин.

Объекты и методика исследований. Для исследований были выбраны следующие глины: положский и глуховецкий (Na- и Ca-формы) каолины, биясалинская гидрослюдистая глина, кировый и огланлинский монтмориллониты.

У частиц указанных глин был измерен ζ -потенциал при различных значениях рН порового раствора методом микроэлектрофореза на приборе Horiba SZ-100, а также определены значения рН точки нулевого заряда мето-

дом потенциометрического титрования при 3 ионных силах буферного раствора на приборе рН 150-М. Величина рН равновесных растворов и суспензий изучаемых глин определялась на приборе рН-061. Кроме того, проводились определения содержания равновесных растворов на приборе НМ Digital COM-80 и кондуктометре ММ34-04, а также величины окислительно-восстановительного потенциала (Eh) в них на приборе ОРР-169В.

Результаты и их обсуждение. Результаты определения ζ -потенциала и рН точки нулевого заряда представлены в табл. 1, 2.

Таблица 1

Зависимость ζ -потенциала (мВ) частиц изученных глин от рН

рН	Положский каолинит	Глуховецкий каолинит (Na-форма)	Биясалинская гидрослюда	Кировый монтмориллонит	Огланлинский монтмориллонит
3	+14,9	-30,8	-54,1	-41,7	-12,5
7	-11,3	-14	-13,2	-47,4	-67
11	-103,4	-55,8	-57	-108,3	-115,7

Таблица 2

Зависимость рН_{ТНЗ} изученных глин от концентрации буферного раствора

Концентрация буферного раствора NaNO ₃	Величина рН глин:				
	положский каолинит	глуховецкий каолинит (Na-форма)	биясалинская гидрослюда	кировский монтмориллонит	огланлинский монтмориллонит
0,1 н	7,3	6,8	8	8	4,6
0,01 н	7,5	6,8	8	8,9	4,8
0,001 н	7,8	6,8	8	9,5	4,8

Как видно из полученных данных в нейтральной среде частицы изученных глинистых минералов имеют отрицательный заряд. При увеличении рН порового раствора заряд увеличивается по модулю, а при снижении рН среды – как правило, уменьшается. Частицы положского каолина меняют знак заряда в кислой среде на противоположный и заряжаются положительно.

Наименьшее значение рН_{ТНЗ} характерно для огланлинского монтмориллонита, наибольшее – для кировой глины. В целом значение рН_{ТНЗ} увеличивается от каолиновых глин к монтмориллонитовым. Эту зависимость несколько осложняет наличие в глинах примесей неглинистых минералов. Так, глуховецкий каолинит и огланлинский монтмориллонит имеют более низкие значения точки нулевого заряда, чем их мономинеральные аналоги (см. табл. 2). Это связано с тем, что перезарядка частиц кварца, присутствующего в них в виде примеси, происходит при более низких рН, чем для глинистых частиц [1,2].

Результаты определения ζ -потенциала для Са-формы глуховецкого каолинита в широком диапазоне изменения рН представлены на рис. 1.

Из полученных данных следует, что зависимость $\zeta=f(\text{pH})$ для этой глины является нелинейной и характеризуется кривой с максимумом величины ζ -потенциала (+144,5 мВ) в кислой области (при рН=1,65) и минимумом ζ -потенциала (-83,5 мВ) в щелочной (при рН=9,79).

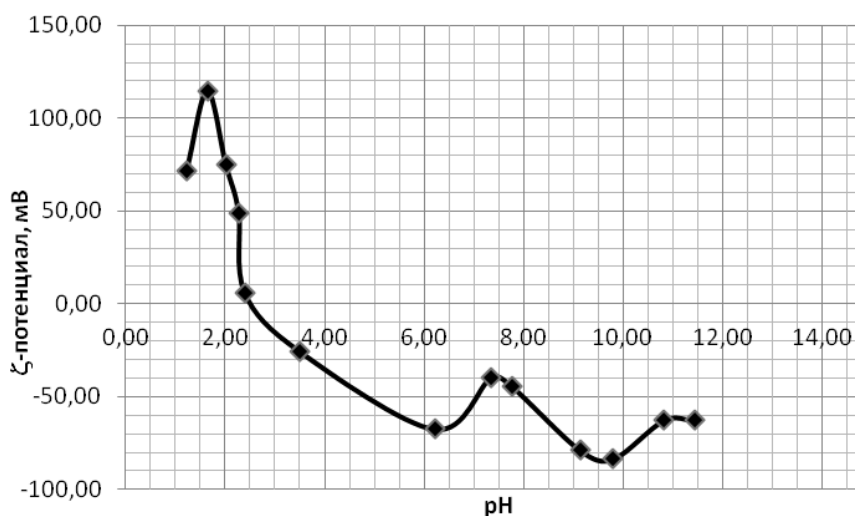


Рис. 1. Зависимость ζ -потенциала частиц Са-формы глуховецкого каолина от рН порового раствора

При значениях $\text{pH} < 1,65$ наблюдается некоторое уменьшение величины ζ -потенциала этой глины от +144,5 до +72 мВ. Аналогично при $\text{pH} > 9,79$ отрицательная величина ζ -потенциала возрастает от -83,5 до -62,7 мВ. Это вероятно связано с тем, что в сильнокислой и сильнощелочной среде изменяется и частично разрушается само кристаллическое ядро частиц. Кроме того, при этом происходит существенная агрегация глинистых частиц и практически полное сжатие диффузного слоя ДЭС, что ведёт к уменьшению соответствующего значения ζ -потенциала.

Из полученных данных также следует (см. рис.1), что наблюдается локальный максимум значений ζ -потенциала в диапазоне изменения величин $\text{pH}=6,21-9,13$. Это может быть связано с тем, что с увеличением концентрации $\text{Ca}(\text{OH})_2$, используемого для приготовления суспензий, в диапазоне $\text{pH}=6,21-7,34$ происходит дозаполнение обменного комплекса глуховецкого каолина ионами Ca^{2+} до ёмкости катионного обмена. Из-за этого в данном диапазоне наблюдается некоторое увеличение заряда.

Смена знака заряда частиц глуховецкого каолина происходит в кислой области. В целом перезарядка большинства каолининовых частиц происходит в интервале значений $pH=2,4-2,6$, т. е. в этом диапазоне находится точка нулевого заряда его частиц. Похожие значения ($pH=2,2-3,6$) были получены Дж.Чорвером и Г.Спозито для образцов бразильских тропических каолинов путём потенциометрического титрования при различных ионных силах раствора $LiCl$ (0,001-0,01 моль/кг) [3].

В силу неоднородности и полидисперсности глуховецкого каолина разные по размеру (и степени кристалличности) глинистые частицы заряжаются по разному: у одних электрический заряд может быть больше, у других меньше. Следует отметить, что вследствие особенностей применяемой методики определения ζ -потенциала (электрофоретический метод) нами фиксируется как бы «усредненный заряд» по всему спектру анализируемых частиц различного размера и кристаллохимических особенностей. Многочисленные повторные измерения ζ -потенциала показали, что при этом положительный заряд некоторых частиц с ростом щелочности сохраняется вплоть до $pH=7,34$, но в целом с увеличением pH доля положительно заряженных каолининовых частиц уменьшается. При $pH>7,34$ положительно заряженных каолининовых частиц не обнаруживается. Это согласуется с данными А.Криа и др., которые указывают, что положительный заряд каолининовых частиц образуется преимущественно на $Al-OH$ участках боковых сколов при $pH<7,5$ [4].

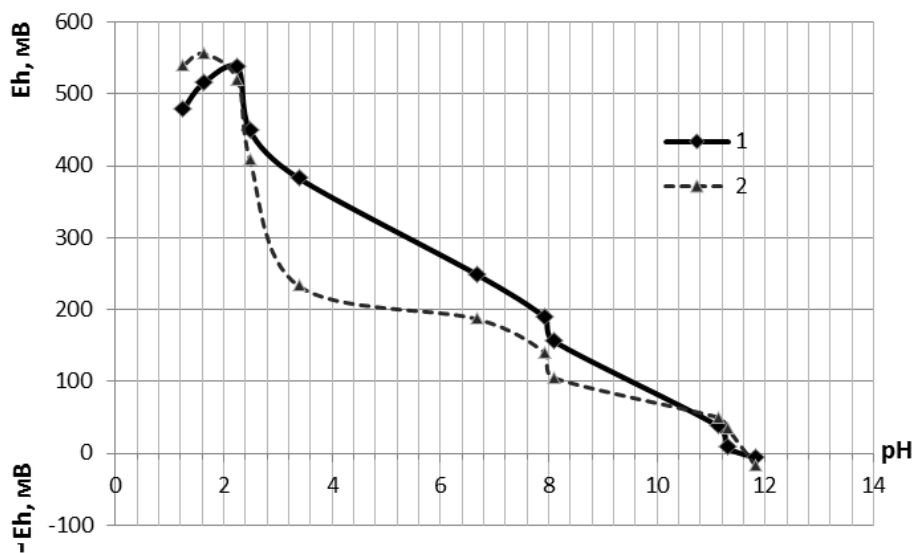


Рис. 2. Зависимость Eh от pH для каолина глуховецкого:
1 – буферный раствор; 2 – каолининовая суспензия

Результаты исследования зависимости окислительно-восстановительного потенциала (E_h или редокс-потенциала) суспензий глуховецкого каолина от величины рН для буферного и равновесного раствора представлены на рис.2. Как видно из полученных данных, в нейтральной области (при минимальной концентрации кислоты или щелочи и рН=6,5) величины E_h и в суспензии, и в буферном растворе положительные и составляют около 180-250 мВ. В кислой области они увеличиваются до 550-560 мВ, что свидетельствует о наличии окислительных условий, а в щелочной уменьшаются до -25 мВ, что характерно для сильно восстановительных условий. Смена знака величины E_h в глуховецком каолине происходит в щелочной области при концентрации щелочи около 0,035 н. и рН=11,5. В широком диапазоне рН (от 3 до 11,5) присутствие глины снижает E_h равновесного раствора по сравнению с свободным исходным раствором, т.е. глина способствует формированию восстановительных условий.

По результатам определения рН, а также солесодержания и E_h исходных растворов и суспензий глуховецкого каолина можно сделать вывод о том, что при рН<2,5 экран, изготовленный из этой глины, будет обладать защитными поглотительными свойствами по отношению к отрицательно заряженным токсикантам и их ионным комплексам, а при рН>2,5, напротив, по отношению к положительно заряженным токсикантам и их ионным комплексам. При этом максимальная защитная реакция к ним будет проявляться в диапазоне рН=9-10.

Выводы. В результате исследования можно дать следующие выводы:

1. Имеется возможность регулирования поглотительной способности и буферных защитных свойств глинистых экранов путем изменения величины и знака электрического заряда их частиц.

2. При рН ниже точки нулевого заряда глинистый экран будет поглощать в основном анионные токсиканты, а при рН выше ТНЗ – катионные. Для изученных грунтов при рН<6,5-8 экран будет обладать лучшими защитными свойствами и поглотительной способностью по отношению к щелочным токсикантам, а при рН>6,5-8 – по отношению к кислым.

3. Наибольшей поглотительной способностью по отношению к кислым или щелочным токсикантам защитный глинистый экран обладает при максимальных по модулю, соответственно, отрицательных или положительных значениях заряда частиц. Максимальная кислотнo-щелочная буферность проявляется у глин с наибольшей емкостью поглощения, т.е. монтмориллонитового состава.

Работа выполнена с использованием оборудования, приобретенного за счет средств «Программы развития Московского университета».

Литература

1. Злочевская Р.И., Королёв В.А. Электроповерхностные явления в глинистых породах. – М.: Изд-во МГУ, 1988. – 177 с.
2. Королёв В.А. Теория электроповерхностных явлений в грунтах и их применение. – М.: ООО «Сам полиграфист», 2015. – 468 с.
3. Chorover J., Sposito G. Surface charge characteristics of kaolinitic tropical soils // *Geochimica et Cosmochimica Acta*. – 1995. – Vol. 59. – № 5. – P. 875-884.
4. Kriaa A., Hamdi N., Srasra E. Proton adsorption and acid-base properties of Tunisian illites in aqueous solution // *Журнал структурной химии*. – 2009. – Т. 50. – № 5. – С. 288-301.

ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ОБСТАНОВКА В РАЙОНЕ ТЕХНОГЕННОГО ВЛИЯНИЯ КАРАБАШСКОГО ГОРНОРУДНОГО ПРЕДПРИЯТИЯ

**В.Г. Линник¹, В.Ю. Хорошавин², Т.М. Минкина³,
Т.В. Бауэр³, Д.Г. Невидомская³**

¹ Институт геохимии и аналитической химии им. В.И. Вернадского РАН, Москва, Россия, 117975, ГСП-1, ул. Косыгина, 19. E-mail: linnik@geokhi.ru

² Тюменский государственный университет. Институт наук о Земле. Червишевский тракт, ул., д. 13, г. Тюмень, 625008. E-mail: inzem@utmn.ru

³ Южный Федеральный университет, 344090, г. Ростов-на-Дону, просп. Стачки 194/1. E-mail: tminkina@mail.ru

ВВЕДЕНИЕ

Деградация природных ландшафтов, вызванная техногенным воздействием, в ряде районов России представляет серьезную экологическую проблему. К числу предприятий, которые наносят максимальный урон окружающей среде, относятся медеплавильные комбинаты, среди которых расположенный на Южном Урале комбинат Карабашмедь [4, 5, 7].

Масштабы и характер загрязнения окружающей среды медеплавильными комбинатами связаны с видом производства (технология выплавки меди, составом и объемом выбросов), атмосферными условиями рассеяния аэротехногенных примесей, ландшафтно-геохимическими условиями трансформации и миграции загрязняющих веществ.

За период времени активной работы Карабашского медеплавильного комбината (КМК), начиная с 1910 г. на окружающей территории сформировалась зона *техногенного бедленда* (ТБ) [6]. Зона ТБ включает территорию самого КМК, а также горную гряду Карабаша с прилегающими низкогорными участками. На этой территории полностью отсутствует растительный покров, почвенный покров также практически отсутствует вследствие интенсивного развития эрозионных процессов. В июле 2012 г. проводились работы по изучению современной геоэкологической обстановки в окрестностях г. Карабаш.

Согласно опубликованным данным [8], объемы поступления пыли, содержащей тяжелые металлы (ТМ) в окружающую среду в 1970 г. составляли 28,8 тыс. т, SO_2 – 364,5 тыс.т. В начале 1990-х гг. в связи с решением о репрофилировании производства на переработку вторичных цветных металлов выбросы техногенной пыли и SO_2 снизились соответственно до значений 0,2 тыс. т и 0,62 тыс. т в 1994 г.

Современные атмосферные выпадения техногенной пыли, поступающей в результате выбросов от Карабашского комбината, содержат аэрозольные фракции, принадлежащие двум фазам металлургического процесса: шахтной плавке (получение медного штейна – плавка Cu-Zn концентрата совместно с флюсующими добавками по технологии Ausmelt) и конвертирование медного штейна (выжигание избыточной серы и железа с добавками вторичного медного лома) [2].

Климатические условия территории КМК таковы, что на сектор, который образует массив г. Золотая, расположенный к востоку от комбината, приходится 60% повторяемости направления ветра. Следовательно, исходя из орографических особенностей данной территории, западный (наветренный) склон г. Золотая является классическим орографическим геохимическим барьером.

Характерной особенностью западного склона Золотой горы является интенсивное развитие эрозионных процессов (рис. 1), которые являются существенным механизмом перераспределения ТМ, поступивших в результате выбросов КМК на склоны Золотой горы.



Рис. 1. Наветренный склон Золотой горы, г. Карабаш)

На врезке представлен результат химического выветривания делювиальных отложений

Склоновая поверхность г. Золотой перекрыта элювиально-делювиальными каменистыми отложениями [5]. Расположенные на поверхности камни покрыты темным налетом, благодаря постоянному воздействию серной кислоты формируется своего рода «химический загар» (рис. 1).

Растворяясь в капельках дождя, сернистый газ образует растворы серной кислоты. Попадая на землю, серная кислота подкисляет почвы, губительно действуя на растения и животных. На фрагменте рис. 1 представлен пример химического выветривания горных пород в результате выпадения серной кислоты. Следы выпадения серной кислоты с незначительным снижением степени химического выветривания по мере удаления от КМК наблюдались на всех точках ландшафтного описания [5].

Согласно полученным данным опробования склона Золотой горы [5], максимальное загрязнение ТМ превышает допустимые уровни для Cu, Zn, Pb, Cr соответственно в 113, 180, 49,8, 51 раз.

Верхние горизонты почв импактной зоны испытывают максимальную техногенную нагрузку. Минимальное значение рН, равное 4,7 (кислая среда), отмечено в верхних горизонтах почвенных разрезов импактной зоны ГТС [2]. Близкое значение рН=4,4 отмечено в нижней части склона Золотой горы, расположенной непосредственно в зоне влияния выбросов Карабашского комбината.

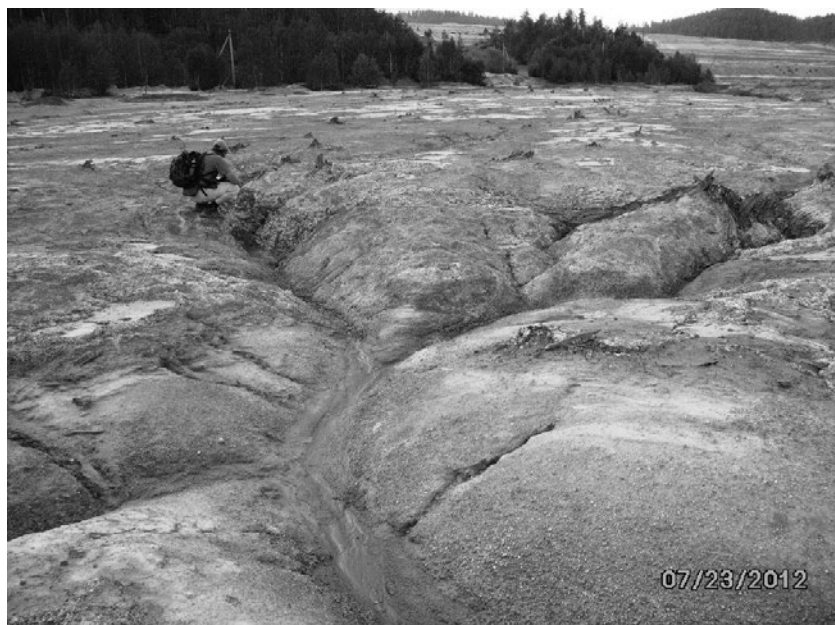


Рис. 2. Безлесная долина р. Сак-Элга, перекрытая техногенным материалом сульфидно-силикатного состава

В процессе обогащения руд колчеданного месторождения Карабаша сформировались хвостохранилища отходов алюмосиликатного и сульфидного состава. До 1952 г. эти отходы без каких-либо природоохранных мероприятий сбрасывались непосредственно в р. Сак-Элга (по оценкам было сброшено около 6 млн. т отходов) [3], в результате чего здесь образовалась техногенная пустыня площадью около 2,5 км² и мощностью от 0,2–0,3 до 2,0 м (рис. 2).

Долина р.Сак-Элга в настоящее время практически безлесная из-за сбросов пиритных «хвостов» в первые годы работы комбината, сложена техногенным материалом сульфидно-силикатного состава, перекрытая тонкой коркой суглинистого состава. Из-за высокой растворимости сульфатов на пойме наблюдаются интенсивные эрозионные процессы (рис. 2), которые приводят к формированию густой эрозионной сети с визуально наблюдаемыми процессами растворения пойменных отложений в период выпадения дождей и их отложения в днищах эрозионных микроформ при высыхании.

Преобладающие процессы геохимической миграции в техногенных ландшафтах – это геоморфологические (на склоне Золотой горы) и гидрологические (в бассейне р. Сак-Элга). Техногенный материал из КМК поступал через «Рыжий» ручей в р. Сак-Элга в результате переноса и отложения аллювиальных отложений в период снеготаяния или подъема уровня вод в ручье в период интенсивных осадков.

В жаркий период наблюдается формирование полигональной поймы за счет растрескивания поверхностной суглинистой корки (рис. 3). По трещинам полигонов, а также на пойменных участках в период высыхания почвы (испарительный барьер) проступают желтые скопления, получившие название «сульфатных цветов» (рис. 3).

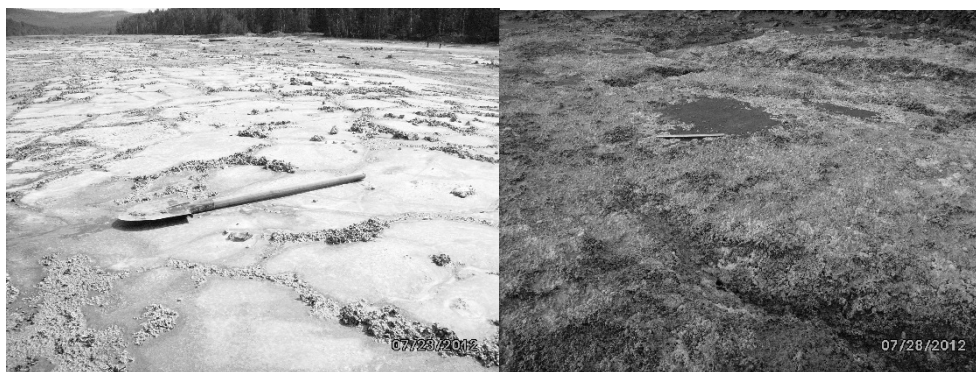


Рис. 3. Формирование полигонов на суглинистой пойме (слева) и осаждение сульфатов на испарительном барьере (справа)

Такой вид поймы (рис. 3), когда на испарительном барьере наблюдается осаждение сульфатов, наблюдается непродолжительное время. При выпадении атмосферных осадков «сульфатные цветы» растворяются, полигональная суглинистая пойма также приобретает первоначальный вид (полигоны исчезают).

Второй важный механизм геохимической миграции – это физико-химические процессы осаждения гидроксидов железа и алюминия на геохимическом щелочном барьере [1], которые наблюдаются при смешении кислых и щелочных вод «Рыжего» ручья и р. Сак-Элга. Формирование щелочного барьера зависит от объемов поступления кислых вод «Рыжего» ручья и щелочных вод р. Сак-Элга.

В месте слияния «Рыжего» ручья с р. Сак-Элга наблюдается существенное разбавление кислых вод нейтральными водами р. Сак-Элга (на момент исследования $pH=7,3$). Благодаря такому разбавлению воды р. Сак-Элга ниже места слияния не такие кислые – $pH\ 5,92$, хотя сохраняется повышенное содержание ТМ и сульфат-иона.

При повышении pH происходит гидролиз Fe и Al, начинают выпадать гидроксидно-железистые охры и гидроксиды Al, что можно наблюдать на участках замедленного течения. Таким образом, при смешении ультракислых и кислых техногенных вод с нейтральными водами р. Сак-Элга формируется щелочной барьер, что и служит причиной осаждения гидроксидов железа и алюминия [1].

В период проведения исследований (конец июля 2012 г.) стояла жара, при этом расход воды в реке Сак-Элга был минимальным, значения $pH=3,9$, поэтому осаждение гидроксидов железа и алюминия не наблюдалось.

Таким образом, геоэкологическая обстановка в районе техногенного влияния Карабашского горнорудного предприятия определяется ландшафтно-геохимическими условиями трансформации и миграции загрязняющих веществ.

Литература

1. Аминов П. Г., Лонцакова Г. Ф. Осадкообразование в водотоках под воздействием отходов обогащения колчеданных руд (Карабашская геотехническая система, Южный Урал) // Металлогения древних и современных океанов. – 2009. – Т. 15. – С. 319-324.
2. Аминов П.Г., Удачин В.Н., Филиппова К.А., Лонцакова Г.Ф., Кайгородова С.Ю. Геохимия почв Карабашской геотехнической системы (южный Урал) // Научное обозрение. – 2013. – № 12. – С. 73-78.
3. Аминов П.Г., Удачин В.Н., Филиппова К.А., Лонцакова Г.Ф., Удачин Л.Г. Определение дебита поверхностных и скрытых водотоков с использованием химической метки и оценка тяжелометаллической нагрузки на р. Сак-Элга под воздействием кислых рудничных вод // Наука ЮУрГУ. Секции естественных наук: материалы 67-й науч. конф. / отв. за вып. С.Д. Ваулин; Юж.-Урал. гос. ун-т.- Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2015.- С. 403-411.
4. Калабин Г.В., Моисеенко Т.И. Экодинамика техногенных провинций горнопромышленных производств: от деградации к восстановлению // Доклады Академии наук. – 2011. – Т. 437. – № 3. – С. 398-403.

5. Линник В.Г., Хорошавин В.Ю., Пологрудова О.А. Деграция природных ландшафтов и химическое загрязнение в ближней зоне влияния Карабашского медеплавильного комбината // Вестник Тюменского государственного университета. – 2013. – № 4. – С. 105-114.

6. Макунина Г.С. Деграция и химические свойства почв Карабашской техногенной аномалии // Почвоведение. – 2002. – № 3. – С. 368-376.

7. Удачин В.Н. Экогеохимия горнопромышленного техногенеза Южного Урала: автореф. дис. ... докт. наук по специальности 25.00.09 Геохимия, геохимические методы поисков полезных ископаемых. – Томск, 2012. – 48 с.

8. Черенькова Т.В. Реакция лесной растительности на промышленное загрязнение. – М.: Наука, 2002. – 191 с.

ОЦЕНКА КАЧЕСТВА ДОННЫХ ОСАДКОВ ЦЕНТРАЛЬНОЙ ГЛУБОКОВОДНОЙ ЧАСТИ БАРЕНЦЕВА МОРЯ (ШТОКМАНОВСКОЕ ГАЗОКОНДЕНСАТНОЕ МЕСТОРОЖДЕНИЕ)

А.В. Мищенко, Г.И. Иванов

Санкт-Петербургский государственный университет, Россия, 199034 Санкт-Петербург,
Университетская наб. д. 7-9. E-mail: nastya_31@hotmail.com

В Баренцевом море имеется ряд газовых и газоконденсатных месторождений. Запасы газа в основном сосредоточены в Западно-Баренцевской провинции и составляют более 4000 млрд м³. Общие ресурсы перспективного района газодобычи оцениваются не ниже 5-6 трлн м³ газа [1]. Их разведка, разработка и эксплуатация в будущем несомненно повлекут за собой загрязнение акватории Баренцева моря продуктами бурения и сопутствующими веществами. Таким образом, необходимо уже сейчас определить распределение наиболее опасных элементов и оценить экологическое состояние бассейна. Данная работа посвящена изучению распределения токсичных элементов в поверхностном слое донных осадков центральной глубоководной части моря.

Целью работы является оценка экологического состояния донных осадков на исследуемом участке. Также был изучен гранулометрический состав проб донных осадков и определены закономерности распределения токсичных элементов.

Для исследования было отобрано 159 проб донных осадков. Работы по отбору проб донных отложений проводились в центральной глубоководной части Баренцева моря. Расстояние между станциями составило от 10 до 30 км в зависимости от изученности акватории.

Осадки в основном представлены алевропелитами, алевритистыми пелитами и пелитами с примесью песчаной фракции. Содержание пелитовой фракции варьирует от 9,4% до 84,4%, в среднем составляя 47,7%. Алевритовая фракция колеблется в несколько меньших пределах от 12,8% до 78,9%,

в среднем составляя 46,0%. На отдельных станциях отмечена примесь песчаной фракции, содержание которой достигает 30,2%.

Анализ распределения песчаной фракции показывает ее равномерное распределение по всей площади работ, за исключением двух участков в северо-западной части полигона. Анализ распределения алевритовой фракции показывает наличие двух хорошо выделяемых участков – северного и южного. Северный участок представлен преимущественно алевропелитами, иногда переходящими в алевритистые пелиты (в особенности в северо-восточной части полигона), в то время как южная часть характеризуется пелитами и алевритистыми пелитами. Характер распределения пелитовой фракции близок к распределению алевритовой фракции.

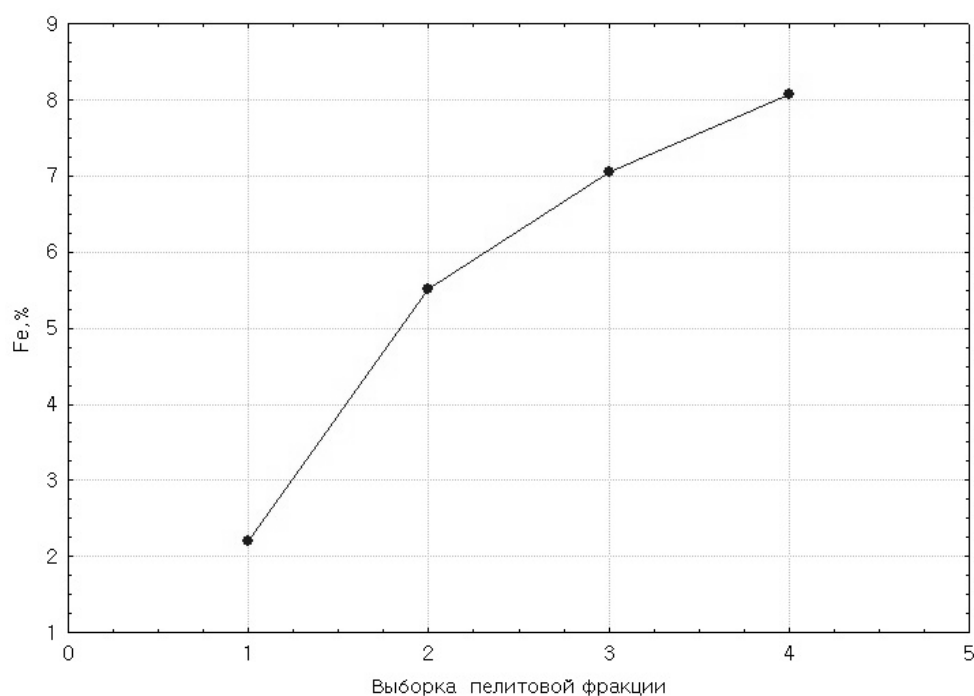


Рис. 1. График зависимости концентрации железа от содержания пелитовой фракции:

на оси X цифрами обозначены номера выборок:

1 – содержание пелитовой фракции <25%; 2 – 25-50%; 3 – 50-70%; 4 – >70%

В рамках проведенных исследований был выполнен спектральный количественный анализ распределения основных экологически значимых элементов. Для анализа взаимосвязей между содержанием пелитовой фракции и токсичных элементов вся совокупность была разбита на 4 выборки по содер-

жанию пелитовой фракции: менее 25%, 25-50%, 50-70%, более 70%. В процессе исследования была отмечена зависимость концентраций тяжелых металлов от содержания пелитовой фракции в осадках, что хорошо видно на представленных ниже графиках (рис. 1-4). Заметно резкое скачкообразное увеличение средних содержаний железа, марганца, кобальта, меди и цинка при переходе к пелитовым осадкам. Дальнейший незначительный рост отмечается для железа и марганца. Напротив, содержание мышьяка и свинца уменьшается при переходе к пелитовым осадкам, причем уменьшение концентрации мышьяка происходит постепенно, а уменьшение содержания свинца – ступенчато.

Также были выявлены закономерности, связанные с более интенсивным накоплением кобальта и железа в донных осадках с высоким содержанием тонкодисперсной фракции, приуроченных к более глубоководным участкам полигона, и взаимосвязь содержания псаммитовой фракции, железа и марганца, что связано с железо-марганцевым оруденением в осадках в виде диагенетических конкреций.

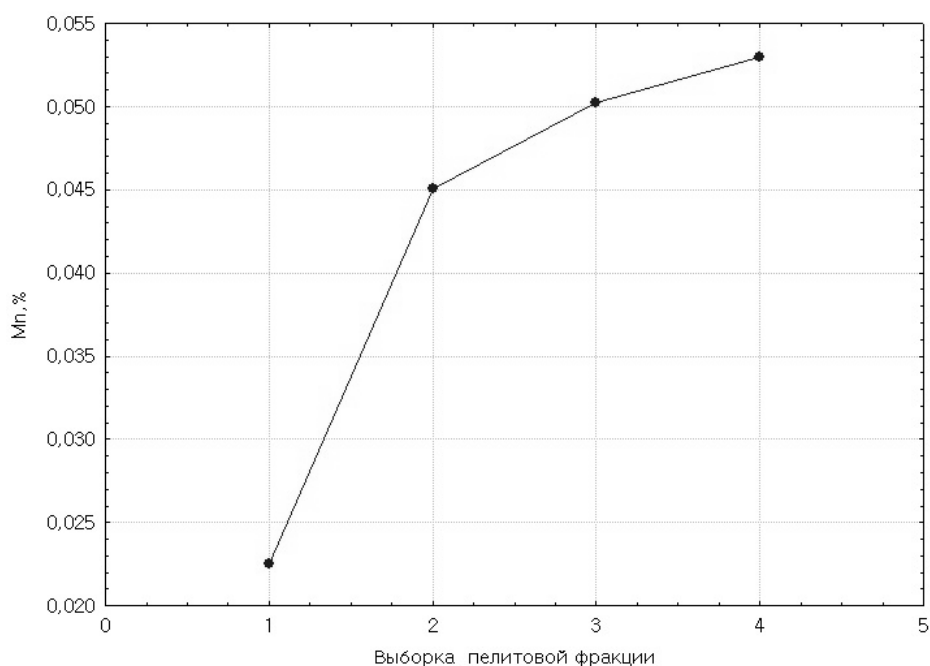


Рис. 2. График зависимости концентрации марганца от содержания пелитовой фракции:
на оси X цифрами обозначены номера выборок:
1 – содержание пелитовой фракции <25%; 2 – 25-50%; 3 – 50-70%; 4 – >70%

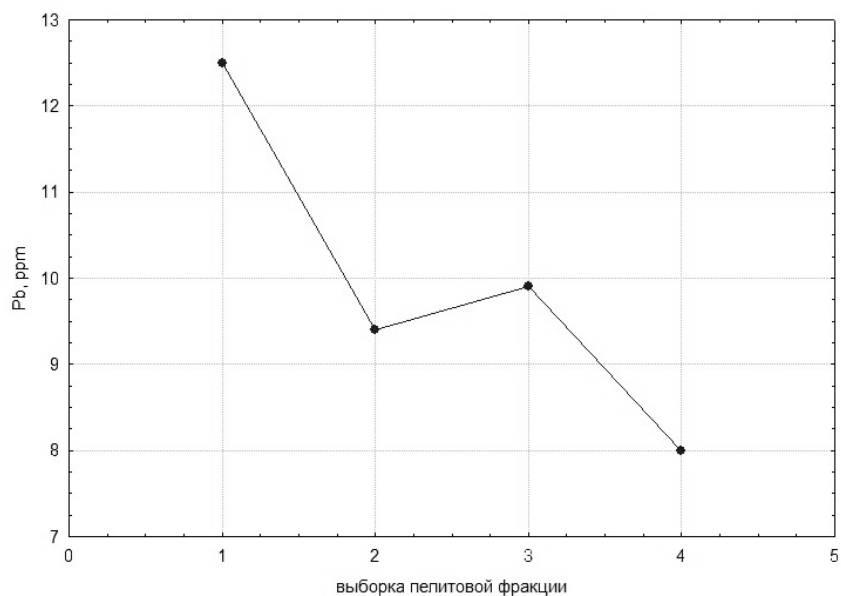


Рис. 3. График зависимости концентрации свинца от содержания пелитовой фракции:
на оси X цифрами обозначены номера выборок:
1 – содержание пелитовой фракции <25%; 2 – 25-50%; 3 – 50-70%; 4 – >70%

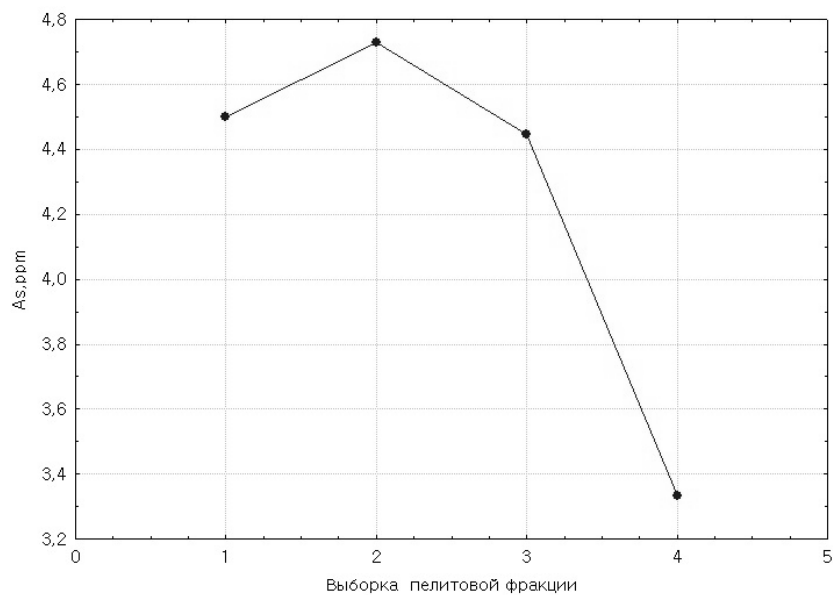


Рис. 4. График зависимости концентрации мышьяка от содержания пелитовой фракции:
на оси X цифрами обозначены номера выборок:
1 – содержание пелитовой фракции <25%; 2 – 25-50%; 3 – 50-70%; 4 – >70%

Для каждой станции пробоотбора был рассчитан коэффициент суммарного загрязнения Z_c . Этот показатель представляет собой сумму коэффициентов концентрации (K_c) токсикантов I, II и III классов токсикологической опасности по отношению к фоновым значениям. Он рассчитывается по формуле:

$$Z_c = \left(\sum_{i=1}^n K_c \right) - (n - 1),$$

где K_c – коэффициент концентрации i -го химического элемента, n – число, равное количеству элементов, входящих в геохимическую ассоциацию. Коэффициент концентрации рассчитывается по формуле:

$$K_c = \frac{C_i}{C_{фон}},$$

где C_i – фактическое содержание элемента, $C_{фон}$ – геохимический фон [2].

На всей территории полигона его значение не превышает 16, что говорит о низком уровне загрязнения. Значения коэффициента суммарного загрязнения изменяются в пределах от 1 до 10,5.

Средние содержания на исследуемом участке практически по всем элементам не превышают средние концентрации по Баренцеву морю в целом [3]. Исключение составляют медь и железо. Это можно увидеть в табл. 1.

Таблица 1

Средние содержания элементов в осадках на исследуемом полигоне и в донных осадках Баренцева моря в целом

Элемент	Среднее содержание элемента на исследуемом полигоне	Среднее содержание в донных осадках Баренцева моря [3]
As, ppm	4,5	–
Cd, ppm	1,3	6
Co, ppm	21,3	23
Cu, ppm	153,6	89
Fe, %	6	4,3
Mn, %	0,05	–
Pb, ppm	9,6	26
Zn, ppm	44	86

Ввиду отсутствия разработанных российских ПДК для донных осадков Баренцева моря, была произведена оценка экологического состояния донных осадков по норвежской классификации [4]. Анализируя экологическое состояние по этой классификации, можно говорить об удовлетворительном состоянии донных осадков, так как содержание указанных в ней тяжелых ме-

таллов находится в пределах установленных фоновых значений, за исключением содержания меди, в несколько раз превышающее установленную фоновую концентрацию.

Проведенное исследование позволило сделать следующие выводы. Осадки на полигоне в основном представлены алевропелитами, алевритистыми пелитами и пелитами с примесью песчаной фракции. При переходе от алевритовых к пелитовым осадкам наблюдается резкое скачкообразное увеличение средних содержаний железа, марганца, кобальта, меди и цинка. Концентрация мышьяка и свинца напротив, уменьшается, причем снижение концентрации свинца происходит ступенчато, а мышьяка – постепенно. Более интенсивное накопление кобальта и железа в донных осадках связано с высоким содержанием тонкодисперсной фракции, приуроченной к более глубоководным частям полигона. Выявлена взаимосвязь содержания псаммитовой фракции, железа и марганца, что, возможно, связано с железо-марганцевым рудным прослоем, проявившемся в виде диагенетических конкреций.

В целом можно говорить об удовлетворительном экологическом состоянии донных осадков в центральной глубоководной части Баренцева моря.

Литература

1. Основные нефтегазодобывающие провинции России и перспективы их развития URL: http://geolike.ru/page/gl_3876.htm (дата обращения 16.01.2015).
2. В.Т. Трофимов, В.В. Куриленко. Теоретические и методические вопросы экологической геологии (гриф УМО). – СПб., 2006. – С. 252.
3. Иванов Г.И., Грамберг И.С., Крюков В.Д. Уровни концентраций загрязняющих веществ в придонной морской среде западно-арктического шельфа // ДАН РАН. – 1997. – Т. 355. – № 3. – С. 365-368.
4. Torgeir Bakke, Toesten Kallqvist. Development of sediment quality criteria in Norway. – Springer-Verlag, 2010.

ОСОБЕННОСТИ ВЫДЕЛЕНИЯ ФОНОВЫХ ТЕРРИТОРИЙ

К.Е. Никитская

Институт водных проблем РАН, 119333, г. Москва, ул. Губкина, д. 3.
E-mail: knikitskaya@yandex.ru

Геоэкологическая безопасность определяется несколькими группами факторов: характером антропогенного воздействия на окружающую среду, инженерно-геологическими условиями территории [17], степенью изменения ландшафтной среды и ее способностью к восстановлению. Обычно рассматривается воздействие таких факторов на природно-антропогенные ландшафты – сложные целостные объекты. Сравнительный анализ неизменных и

нарушенных природных систем особенно актуален для районов, подвергающихся интенсивной техногенной нагрузке (районов добычи полезных ископаемых, территорий интенсивного сельского хозяйства, участков транспортных систем).

Для оценки природной опасности и геоэкологических рисков необходим тщательный анализ состояния территории. При решении таких задач часто говорят о фоновых районах, служащих эталоном при геоэкологическом анализе, имея в виду ландшафты, не подверженные антропогенным преобразованиям. Однако, в зависимости от решаемых задач, определение понятие «фоновая территория» может принимать разные значения. Так, например, при мониторинге глобального антропогенного загрязнения в качестве фоновых территорий выбирают местности, не испытывающие никакого или испытывающие минимальное антропогенное воздействие (чаще всего, заповедные территории) [2], а при нормировании показателей единичных поллютантов (например, любого из радионуклидов) в качестве фона будут учитываться концентрации радионуклидов, создаваемые всеми техногенными источниками, за исключением того, выбросы которого подлежат нормированию [11].

Иногда фоновые показатели значительно меняются с течением времени. Так, например, фоновые значения концентрации нитратов в четвертичном водоносном комплексе на территории Липецкой области за последние 20 лет выросли с 5-10 мг/л до 20-30 мг/л, а в центральной и северной частях области – до 40-45 мг/л [8].

Некоторые территории, которые можно было ранее считать фоновыми, теперь таковыми не являются. И, наоборот, районы, в пределах которых была прекращена хозяйственная деятельность в силу экономических, природоохранных или других причин, в результате естественной реверсии почвогрунтов, приуроченных к трансэлювиальному типу элементарных ландшафтов [20], сейчас могут выступать в качестве фоновых или эталонных как по отдельным показателям, так и в комплексе.

Многие методические вопросы экологического мониторинга до сих пор не решены. Окончательно не определено понятие «фон», «фоновое содержание». Зачастую подменяются понятия «фоновая территория» и «фоновая концентрация элемента». В данной работе не затрагиваются вопросы, связанные с обоснованием фоновых значений того или иного элемента, а также с нормированием присутствия загрязняющих элементов в ландшафте.

Термин «фоновая территория» или «фоновый район» не является четко определенным. Обычно считается, что для фоновых территорий не характерны превышения средних (фоновых¹) значений концентраций химических

¹ Фоновые концентрации – средние содержания химических элементов в горных породах, почвах, водах, газах и растениях, химический состав которых не подвергался влиянию рудообразующих процессов концентрирования. Величины фоновой концентрации служат эталонами сравнения для выявления локальных объектов с аномально высокими (или аномально низкими) содержаниями элементов [5].

элементов (за исключением районов природных аномалий (месторождения полезных ископаемых, районы современной тектонической активности и др.), так как территория не подвержена или слабо подвержена антропогенному воздействию, а концентрации химических элементов связаны с петрохимическим составом пород и почвенными процессами. Но, к примеру, в средней полосе России при современном уровне хозяйственного использования, полностью неизменных ландшафтов уже нет. Даже если на территории нет источников сброса загрязнений, сельскохозяйственных районов, городских, деревенских и дачных поселений, предприятий, ферм и т. д., то все равно присутствует атмосферное загрязнение, транзитное водное загрязнение, сложно определяемое и трудно учитываемое загрязнение подземных вод и прочее, которое формируют определенный уровень присутствия многих химических элементов в пределах водосборных бассейнов. Фоновые территории понимаются сейчас не как зоны отсутствия антропогенного воздействия, а как территории с проявлением такого воздействия в минимальной степени [10].

Выделение фоновых территорий может происходить различными способами:

1. *Системное* выделение – в пределах фоновых территорий содержание химических веществ в различных компонентах окружающей среды определяется глобальными природными процессами. В этом случае, термины «территория с фоновой концентрацией элементов» и «фоновая территория» близки друг другу.

2. *Кларковое* выделение – территория может считаться фоновой в случае не превышения региональных кларков содержания химических элементов.

3. *Временное* выделение, при котором современное состояние территории оценивают, сравнивая его с прошлым состоянием с помощью косвенных методов: путем ретроспективной экстраполяции современных данных, сопоставлением со сведениями в прежних публикациях, определением содержания загрязняющих веществ в захороненных средах и музейных образцах, используя изотопный анализ химических веществ [12]. В качестве «фона» используется эталон прошлого состояния ландшафта.

4. *Комплексное* выделение – территория может быть фоновой по ряду показателей или только по одному или нескольким. Так, например, в ряде работ по оценке экологической безопасности нефтегазозаботок отмечают значительные превышения содержаний кобальта, меди, свинца и хлора непосредственно в районах опоскования, а остальные элементы находятся в пределах регионального фона [6, 7, 19].

5. *Целевое* выделение – фоновый район или фоновая территория могут выделяться для решения определенных задач. Так, например, для оценки вклада какого-либо источника загрязнения, под фоновой территорией понимается территория, в пределах которой фоном является загрязнение, созданное другими источниками, исключая данный. В этом случае опять проявляется близость терминов «фоновая территория» и «фоновая концентрация».

6. *Ландшафтное* выделение – фоновой территория может быть названа по типу преобладающего ландшафта. Так, например, для юга Владимирской области – это зеленомошные сосново-еловые леса на водноледниковых пологих равнинах с дерново-подзолистыми заболоченными почвами с участками торфяников [15]. Такая терминология более характерна для общегеографических работ и работ по рекреационной географии.

Все эти методы не свободны от недостатков. Для оценки локального загрязнения наиболее эффективным представляется сравнивать загрязненные территории с незагрязненными аналогичными, а при фоновом мониторинге – оценивать изменение во времени фоновых участков.

Необходимо отметить еще один аспект проблемы, а именно: для выбора фона обычно руководствуются фактором удаленности оцениваемого участка от источников выбросов загрязняющих веществ. Однако следует понимать, что даже в случае отсутствия антропогенного воздействия или его незначительной степени, имеют место трансграничные переносы загрязняющих веществ, которые для некоторых регионов оказывают более сильное влияние, нежели локальные источники [3, 13]. Кроме того, существуют и природные факторы, определяющие повышенный региональный фон для некоторых химических элементов (особенно это характерно для районов месторождений полезных ископаемых). Типы растительных поясов и типы почвенного покрова также оказывают влияние на содержание химических элементов [1], и определиться с выбором фоновых параметров достаточно непростая задача. В целом, природное пространственное и временное варьирование содержания химических веществ в почвах велико, что нередко делает крайне сложным установление степени превышения исходного уровня содержания химических веществ в почвах [14].

Значит, пока не разработан четкий понятийный аппарат, понятие «фоновая территория» должно быть определено в каждом исследовании, исходя из поставленных задач.

Как правило, для выполнения большинства геоэкологических задач, в том числе, и при оценке геоэкологических рисков, целесообразнее выделить территории, которые являются для исследуемого региона не только относительно незагрязненными, но и наиболее часто встречающимися, и уже их определить как фоновые. Следовательно, можно считать, что фоновая территория – это удаленный от источников загрязнения участок земной поверхности со сходными с контролируемой территорией почвенным покровом, растительностью и характером хозяйственного использования. Для умеренных широт континентального климата удобной единицей тематического районирования может быть водосборный бассейн 3 или 4 порядка [16,18]. В качестве примера ряда параметров фоновых территорий для средней полосы России при геоэкологических исследованиях может быть выделен спектр характеристик, определяющих предлагаемые единицы районирования:

- это водосборы невысокого (3 или 4) порядка (по системе Хортон-Стралера [16], что мотивируется широким распространением этой системы и частым применением ее в ГИС-моделировании);
- на территории таких водосборов нет источников точечного загрязнения (промышленных объектов, точечных стоков, сливов загрязненных вод и т.п.),
- территории подвержены только диффузному загрязнению²; основной тип загрязнения территории – атмосферный с невысоким уровнем содержания опасных химических элементов [9];
- уровни содержания химических элементов в почвенном и растительном покрове определяются петрохимическим составом коренных пород, почвенными и эрозионно-аккумулятивными процессами и, в меньшей степени, атмосферным загрязнением;
- водосборы затронуты хозяйственным преобразованием менее чем на 25%, что вкупе с отсутствием крупных загрязняющих объектов на его территории, делает их наиболее часто встречающимися для средней полосы России.

Литература

1. *Баргальи Р.* Биогеохимия наземных растений / пер. с англ. И.И. Михайловой. – М.: ГЕОС, 2005. – 457 с.
2. *Бельдеева Л.Н.* Экологический мониторинг: учеб. пособие // АлтГТУ им. И.И. Ползунова. – Барнаул: Изд-во АлтГТУ, 1999. – 122 с.
3. *Большунова Т.С.* и др. К вопросу о выборе фоновых концентраций химических элементов в лишайниках-эпифитах // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2015. – Т. 326. – № 9. – С. 33-46.
4. Водный кодекс РК от 9 июля 2003 года // СПС «Юрист». – 2007.
5. Горная энциклопедия. – М.: Изд-во «Советская энциклопедия», 1991. – 541 с.
6. *Кириченко Ю.В.* Экологическая безопасность ведения геологоразведочных работ на нефть и газ на территории Байкитской антеклизы // Науч. вестн. Моск. гос. горн.ун-та. – 2011. – Т. 9. – С. 95-102.
7. *Кириченко Ю.В., Яковлева Т.П.* Организация и ведение экологического мониторинга при проведении геологоразведочных работ // Геология и разведка. – 2008. – № 6. – С. 74-77.
8. *Королев Б.И.* Современное состояние качества питьевых подземных вод в Российской Федерации // Сборник докладов конференции «Водоснабжение крупных городов на примере Москвы: вызовы времени и пути развития». – М., 2015. – С. 15-17.
9. *Кочарян А.Г., Лебедева И.П.* Диффузные источники загрязнения на водосборных территориях и оценка их токсического воздействия на водные и почвенные экосистемы // Природообустройство. – 2015. – № 5. – С. 40-45.

² Диффузное загрязнение – это загрязнение какого-либо природного объекта, произошедшее через другие природные объекты, например загрязнение вод через поверхность земли и воздух [4].

10. *Махонина Г.И., Валдайских В.В.* Мониторинг фоновых почв: учебно-методическое пособие (электронный ресурс). – Екатеринбург, 2008.
11. Методические рекомендации МР 2.6.1.27-2003. Зона наблюдения радиационного объекта. Организация и проведение радиационного контроля окружающей среды. – М., 2003.
12. Мониторинг почвенных ресурсов // Геопортал Института вычислительного моделирования СО РАН. – Красноярск, 2012.
13. *Московченко Д.В., Валеева Э.И.* Содержание тяжёлых металлов в лишайниках на Севере Западной Сибири // Вестник экологии, лесоведения и ландшафтоведения. – 2011. – № 11. – С. 162-172.
14. *Мотузова Г.В.* Почвенно-химический экологический мониторинг: учеб. пособие. – М.: Изд-во МГУ, 2001. – 85 с.
15. *Пронина Е.Л., Любишева А.В.* Социально-экологическая оценка рекреационного потенциала Владимирской области // Четвертая Международная научно-практическая конференция «Экология регионов». – Владимир: ВООО ВОИ, 2012. – С. 28-34.
16. *Симонов Ю.Г., Симонова Т.Ю.* Место возникновения и развития речных бассейнов и его геоморфологический анализ // Эколого-географические исследования в речных бассейнах: материалы четвертой всероссийской научно-практической конференции. – Воронеж: Воронежский государственный педагогический университет, 2014. – С. 6-21.
17. *Синяков В.Н., Кузнецова С.В., Беляева Ю.Л.* Геоэкологическая безопасность Волгоградской области // Использование и охрана природных ресурсов в России. – 2003. – № 4-5. – С. 104-108.
18. *Трифорова Т.А., Мищенко Н.В., Репкин Р.В.* Оценка продукционного потенциала растительного покрова бассейна реки Оки с использованием материалов космической съемки // Проблемы региональной экологии. – 2009. – № 2. – С. 94-98.
19. *Юдахин Ф.Н., Гибайдуллин М.Г., Коробов В.Б.* Экологические проблемы освоения нефтяных месторождений севера Тимано-Печорской нефтегазоносной провинции. – Екатеринбург: Уро РАН, 2002. – 315 с.
20. *Яковлева Т.П.* Реверсия элементарных ландшафтов, нарушенных геологоразведочными работами // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2011. – № 5. – С. 207-213.

ОЦЕНКА ЭКОЛОГИЧЕСКОГО РИСКА ВОЗДЕЙСТВИЯ ГОРНОРУДНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ БАШКИРСКОГО ЗАУРАЛЬЯ С ПОМОЩЬЮ БИО- И ГЕОИНДИКАТОРОВ

М.Г. Опекунова, А.Ю. Опекунов, Э.Э. Папян, В.В. Сомов

Санкт-Петербургский государственный университет, 199178 Санкт-Петербург,
ВО 10 Линия 33/35. E-mail: m.opekunova@mail.ru

К одной из проблем геоэкологии, требующей фундаментальных научно-методических разработок, относится нормирование *экологического риска*. Чаще всего под экологическим риском понимают вероятность возникновения

отрицательных изменений в окружающей среде, или отдаленных неблагоприятных последствий этих изменений, возникающих вследствие отрицательного воздействия на среду [1, 8]. Одной из базовых частей оценки риска служит определение фоновых параметров компонентов окружающей среды. Этот аспект приобретает особое значение в условиях естественных геохимических аномалий рудоносных зон, поскольку техногенное загрязнение тяжелыми металлами, связанное с добычей и обогащением руд, накладывается на природный повышенный фон и увеличивает вероятность проявления негативных последствий. Вместе с тем, биота в таких условиях обладает повышенной естественной устойчивостью к аномально высоким концентрациям металлов, поэтому ее реакция на техногенное загрязнение носит, зачастую, специфический характер.

В настоящее время при ландшафтно-экологической оценке состояния территорий проводится сравнение полученных результатов с ПДК (ОДК). Однако существующая система нормативов в практике комплексных исследований имеет ряд недостатков: 1) невозможность учета в практической деятельности синергического и антагонистического эффектов, 2) проблема оценки влияния на токсичность или иные лимитирующие свойства поллютантов разнообразных природных факторов, 3) отсутствие данных о вторичных эффектах действия поллютантов, вызванных их накоплением и трансформацией в различных звеньях природно-территориального комплекса (ПТК). Учитывая сказанное выше, следует признать, что изучение антропогенного воздействия на ПТК невозможно без применения биоиндикации, которая дает прямую информацию о реакции организмов на стрессовые факторы.

Биотический компонент геосистем, находящийся под влиянием литосферы, атмосферы и гидросферы и обладающий большой чувствительностью к условиям среды обитания, можно рассматривать как их индикатор [11]. Кроме того, сама биота интенсивно воздействует на окружающую среду, прежде всего благодаря осуществляемому ею биологическому круговороту вещества. Обладая собственной организованностью [2], биосфера обеспечивает устойчивость среды при любых длительных внешних возмущениях [3].

В практике биоиндикационных исследований используется широкий перечень признаков различного иерархического уровня – от молекулярного до ценотического. Информативность отдельных показателей меняется, поэтому при оценке экологического состояния ландшафтов используется не один биоиндикационный признак, а несколько взаимодополняющих характеристик – комплекс биоиндикационных методов. Эффективность биоиндикации, как метода, растет при одновременном анализе абиотических компонентов, позволяющих верифицировать значимость биоиндикаторов в конкретных условиях местообитания [6].

Тесная взаимосвязь абиотических и биотических компонентов позволяет выделить среди них наиболее информативные характеристики и использовать их в качестве показателей техногенной трансформации ПТК. Возможности применения био- и геоиндикаторов не исчерпываются традиционным

изучением экологического состояния территорий. Они могут быть использованы при анализе антропогенной динамики ПТК и прогнозе экологических последствий нарушений. Детальная информация о состоянии геосистем позволяет подойти к решению ряда актуальных задач природопользования: оценке экологического риска, ресурсного потенциала, устойчивости ПТК, рейтингу источников загрязнения и т. д.

В основу оценки риска появления негативных последствий техногенеза положено комплексное изучение наиболее значимых абиотических (геоиндикаторов) и биотических параметров (биоиндикаторов), отражающих фоновое состояние ПТК и их трансформацию под влиянием антропогенной нагрузки (рис. 1).

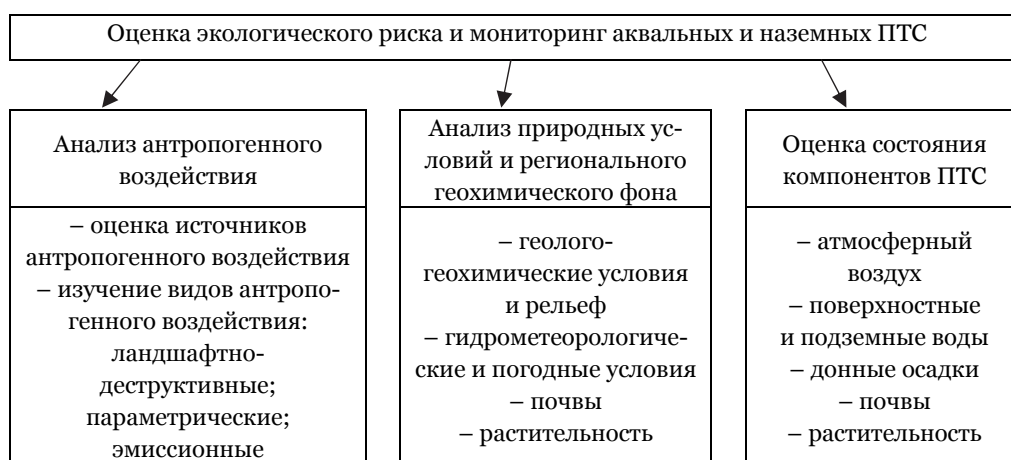


Рис. 1. Общая схема изучения природно-техногенных систем (ПТС).

Примером может служить комплекс био- и геоиндикационных признаков для оценки риска воздействия Сибайского горнопромышленного комплекса на окружающую среду Башкирского Зауралья, разработанный по результатам многолетних мониторинговых исследований в регионе (рис. 2).

На этой территории сосредоточено несколько рудоносных зон, к числу которых относится Красноуральско-Сибай-Гайская с высокими концентрациями Cu, Zn, Cd, Ni, Co, Mn и других металлов во всех компонентах ландшафтов [4]. В 1940-х годах здесь начал работать Башкирский медно-серный комбинат (БМСК), добывающий и обогащающий медноколчеданные руды. В состав БМСК входят Сибайская обогатительная фабрика (СОФ), Сибайский и Камаганский карьеры, несколько хвостохранилищ. Общий объем вскрышных пород на территории Сибайского комплекса достиг 600 млн. тонн. За год с подотвальными и шахтными водами в р. Карагайлы (бассейн р. Урал) сбрасывается до 10 тыс. тонн поллютантов, включая сотни тонн тяжелых металлов (ТМ – Zn, Cu, Mn, Fe, Cd и др.) в ионной форме [8].

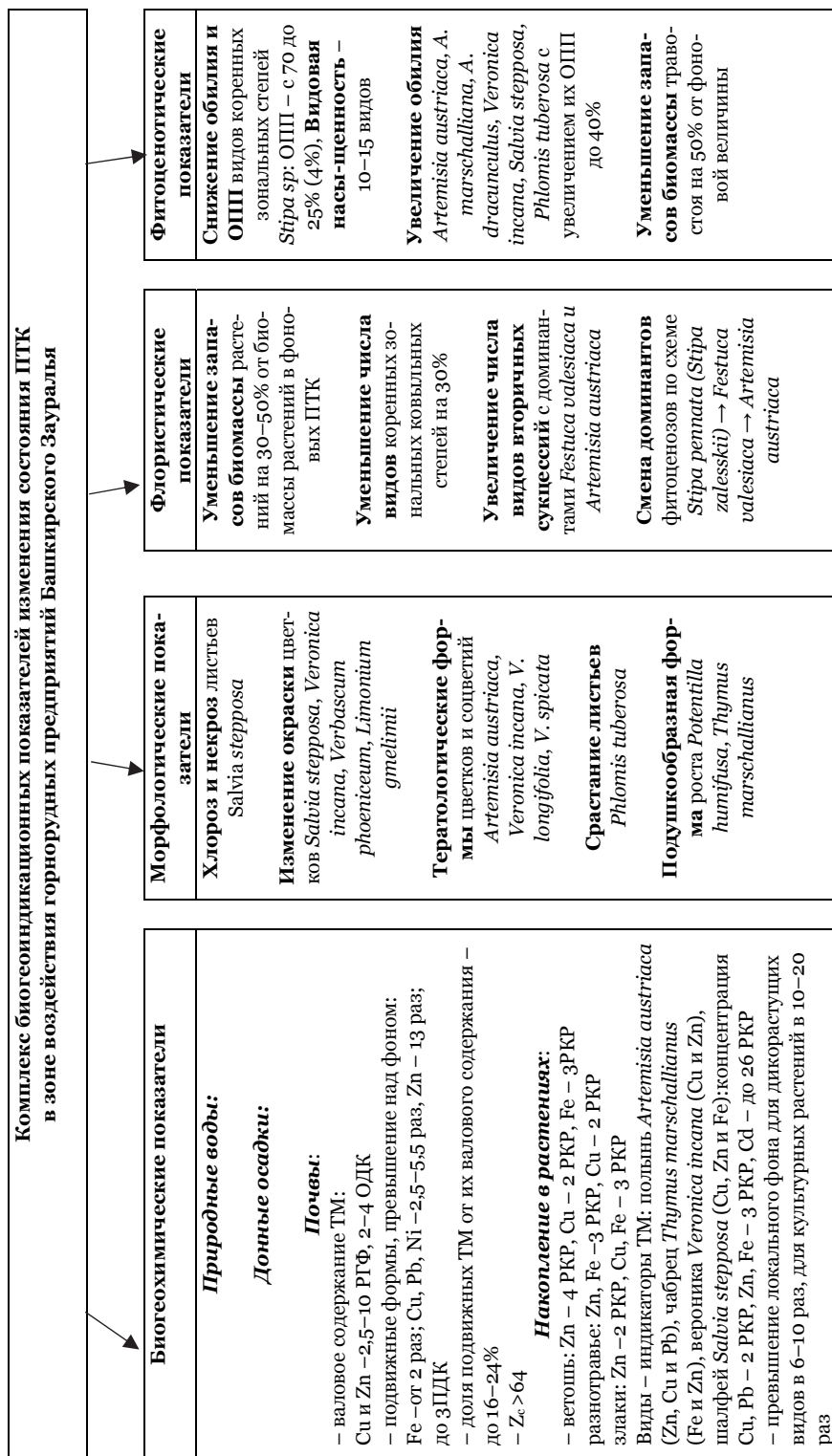


Рис. 2. Комплекс биогеоиндикационных показателей изменения состояния ПТК в зоне воздействия горнорудных предприятий в Башкирском Зауралье

Вокруг производственных объектов в радиусе 2-5 км сформировался техногенный вторичный ореол рассеяния индикаторных элементов – Zn, Cu, Cd и Fe. В техногенных ореолах и потоках отмечен значительный рост валовых концентраций ТМ относительно естественных вторичных ореолов и потоков рассеяния, а также резкое увеличение доли подвижных форм металлов. На антропогенно нарушенных участках выявлены аномальные содержания ТМ в почвах, превышающие ОДК в 2-8 раз [6].

Основными факторами состояния ПТК в зоне воздействия горнорудного производства являются техногенное загрязнение, сопровождаемое поступлением аэрозолей конденсации ТМ, резкое изменение подвижности химических элементов в катенарной структуре ПТК, а также высокая гумусированность почв, способствующая образованию органоминеральных комплексов и закреплению ТМ в плодородном слое почв. Кроме того, большое влияние на химический состав компонентов ПТК оказывает зональность вторичных ореолов рассеивания, формирующихся вокруг многочисленных рудопроявлений.

Риск негативного воздействия ТМ определяется концентрацией их подвижных форм в почвах, которая сильно варьируется и зависит от комплекса факторов, из которых наибольшее значение имеют положение ПТК в элементарном геохимическом ландшафте, тип миграционных потоков, гидрометеорологические условия, кислотность почв и удаленность от источников загрязнения. Большую роль в миграции и аккумуляции ТМ играют погодные условия, прежде всего, количество выпавших осадков и влажность почв, так что по годам на одних и тех же пробных площадках отмечаются существенные различия в концентрации подвижных форм ТМ. В связи с сильной флуктуацией содержания подвижных форм микроэлементов в разные годы в зависимости от погодных условий установлено, что региональный фон нужно определять во время проведения исследований ежегодно.

Важная роль в стабилизации биогеохимического круговорота принадлежит растениям Башкирского Зауралья, характеризующихся ярко выраженными биогеохимическими особенностями. Концентрация ТМ в растениях сильно варьируется по годам в зависимости от местообитания, удаленности от источника загрязнения и в зависимости от биологических особенностей видов.

Прямой корреляции между аккумуляцией ТМ в биомассе растений и содержанием их подвижных форм в почвах не наблюдается. Концентрация ТМ в растениях превышает локальный фон (региональный кларк растений – РКР) у дикоросов в 6–10 раз, у культурных растений – в 10–20 раз [9].

Наименьшее содержание их наблюдается в злаках и осоках. Максимальные концентрации всех изученных элементов обнаружены в ветоши и разнотравье – до 2 РКР по Cu и 4 РКР по Zn. В ходе проводимых исследований выявлено несколько видов растений-концентраторов ТМ, которые могут быть использованы при оценке интенсивности техногенеза – полынь *Artemisia austriaca* накапливает в основном Zn, Cu и Pb, чабрец *Thymus marschallianus* – Fe и Zn, вероника *Veronica incana* – Cu и Zn, шалфей степной

Salvia stepposa – Cu, Zn и Fe. По величине Кб к абсолютным концентраторам относятся *Artemisia austriaca* и *Thymus marschallianus*.

Установленные критические нагрузки на ПТС маркируются появлением морфологических эндемий, тератов, изменением видового состава и запасов биомассы фитоценозов. Превышение указанных показателей служит сигналом отрицательных изменений ПТК и необходимости принятия оперативных решений.

Литература

1. Ваганов П.А., Им. М.-С. Экологический риск: учеб. пособие. – СПб.: Изд-во СПб. ун-та, 1999.
2. Вернадский В.И. Размышления натуралиста. Кн. 1. Пространство и время в неживой и живой природе. – М., 1975.
3. Горшков В.В. Влияние атмосферного загрязнения окислами серы на эпифитный лишайниковый покров северо-таежных сосновых лесов // Лесные экосистемы и атмосферное загрязнение / Под ред. В.А. Алексеева. – Л.: Наука, 1990. – С. 144-159.
4. Ковальский В.В., Кривицкий В.А., Алексеева С.А., Летунова С.В., Опекунова М.Г., Скарлыгина-Уфимцева М.Д., Берман Ш., Илзиль А., Петерсон Н., Жогова Е.П., Рублик Р.Я. Южно-Уральский субрегион биосферы // Труды биогеохимической лаборатории. – 1981. – Т. 19. – С. 3-64.
5. Опекунов А.Ю., Опекунова М.Г. Геохимия техногенеза в районе разработки Сибайского медно-колчеданного месторождения // Записки Горного института. – 2013; 203:196-204.
6. Опекунова М.Г. Диагностика техногенной трансформации ландшафтов на основе биоиндикации: автореф. дис. ... докт. геогр. наук. – СПб., 2013. – 36 с.
7. Опекунова М.Г., Папаян Э.Э., Сомов В.В. Влияние горнорудного производства на состояние почв Башкирского Зауралья // 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.) – М.: РУДН, 2016. – С. 396-400.
8. Отчет Сибайского Территориального Управления Охраны Окружающей Среды о состоянии окружающей среды на территории городского округа г. Сибай Республики Башкортостан. – Сибай, 2015.
9. Папаян Э. Э. Оценка воздействия горнорудного производства на природно-территориальные комплексы Башкирского Зауралья методами биоиндикации: автореф. дис. ... канд. геогр. наук. – СПб., 2016. – 21 с.
10. Рагозин А.Л. Общие положения оценки и управления природным риском // Геоэкология. – 1999. – № 5. – С. 417-425.
11. Раменский Л.Г. Оценка экологического состояния пастбищных угодий по растениям. – М., 1956.

РЕЗУЛЬТАТЫ КОМПЛЕКСНОГО ЭКОЛОГИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА РЕГИОНА КАВКАЗСКИХ МИНЕРАЛЬНЫХ ВОД

И.С. Помеляйко, А.В. Малков

ООО «Нарзан-гидроресурсы», 357700, Россия, г. Кисловодск, ул. Кирова, д. 43.
E-mail: irinapomelyayko@rambler.ru

Курорты Кавказских Минеральных Вод (КМВ) – Ессентуки, Железноводск, Кисловодск и Пятигорск возникли и существуют благодаря гидроминеральной базе, лечебным Тамбуканским грязям и климату. По сложности геологического строения и гидрогеологических условий данные месторождения минеральных вод отнесены к максимальной 4 группе сложности, поскольку характеризуются исключительно сложным геологическим строением, гидрогеологическими, газогидрохимическими и горно-геологическими условиями. Для месторождений региона КМВ характерна резкая изменчивость распространения в плане и разрезе коллекторов трещиноватых зон в породах различного генезиса. Фундамент разбит системой тектонических разрывных нарушений и осложнен интрузиями кислого состава.

Состояние гидроминеральной базы курортов КМВ особенно верхней гидродинамической зоны весьма неблагоприятно. Из-за высокого загрязнения грунтовых вод, залегающие непосредственно под ними артезианские минеральные воды бактериально загрязнены и содержат повышенные концентрации тяжелых металлов, азотсодержащих соединений, нефтепродуктов, фосфатов и др. Большинство скважин и минералопроводов исчерпали свой амортизационный ресурс, так как введены в эксплуатацию ещё в XIX, в начале и середине XX вв., в связи с чем необходимо бурение скважин дублеров, проведение капитального ремонта каптажей источников и надкаптажных сооружений.

Остановимся кратко на наиболее неблагоприятных минеральных источниках региона КМВ.

ЖЕЛЕЗНОВОДСК. В начале 80-х гг. прошлого столетия, прекращена подача минеральной воды Баталинского месторождения в связи с появлением в ней ядохимикатов и бактериальным загрязнением. Во II зоне санитарной охраны, в грунтовых водах присутствуют чрезвычайно опасные концентрации марганца до 68 ПДК, лития до 22,8 ПДК и бора до 3,9 ПДК.

ПЯТИГОРСК. Качество минеральной воды скважин Академическая 2, Теплосерная 1 и 3, Радиошtolьня 2, Народный и др. нестабильно по микробиологическим показателям в связи с чем не может использоваться для питья. В грунтовых водах зафиксировано повышенное содержание нефтепродуктов до 17,8 ПДК, марганца до 15 ПДК, бария до 18 ПДК, мышьяка до 3 ПДК, аммония до 20 ПДК, бора до 5 ПДК.

ЕССЕНТУКИ. В связи с бактериальным загрязнением и потерей кондиций не используются для питьевых целей воды из четвертичного водонос-

ного горизонта «Ессентуки-20», Гаазо-Пономаревский и др. В грунтовых водах зафиксировано содержание аммония до 20 ПДК, нитратов до 10 ПДК, бария до 28 ПДК, стронция до 10 ПДК, бора до 8 ПДК, фенолов до 70 ПДК.

КИСЛОВОДСК. Микробиологическое состояние воды источника «Нарзан» ухудшается. В 90-х гг. прошлого века доля неблагополучных проб составляла 65-90% от общего их количества за год, в настоящее время – практически 100%. В грунтовых водах в I зоне санитарной охраны присутствуют высокие концентрации стронция до 13 ПДК, железа до 49 ПДК, марганца до 15 ПДК, мышьяка до 2 ПДК, бария до 5 ПДК, алюминия до 4 ПДК. Вода скважины 5/0-бис входящей в ГОСТ 54316-2011 не может использоваться для питья, как в силу бактериологического загрязнения, так и в связи с полной потерей кондиций. В 2016 г. средние значения минерализации составили 1,1 г/дм³ (норма 2-3,5 г/дм³), растворенной углекислоты – 0,3 г/дм³ (норма 1,0-2,5 г/дм³). Скважина 5/0- представленная в ГОСТ 54316-2011 как Доломитный Нарзан не соответствует требованиям ни по основному ионному составу ни по минерализации 3,0 г/дм³ (норма 4,0-4,5 г/дм³).

Остаточные количества пестицидов (ГХЦГ, ДДТ), до сих пор применяемых на территории региона, присутствуют на всех месторождениях минеральных вод практически во всех водоносных горизонтах, в том числе и глубокозалегающих.

При этом по совокупности экологических условий Ессентуки, Железноводск и Кисловодск отнесены к 1-й категории [1] – города с благополучным экологическим состоянием территории (ЭС). К данной категории отнесены всего 7 городов РФ. Пятигорск отнесен ко 2-й категории – город с удовлетворительным ЭС. Данное заключение, учитывая весьма неблагополучное современное состояние гидроминеральной базы вызывает определенные сомнения. Подземная гидросфера, в силу своих защитных механизмов, наиболее защищенная от загрязнений природная оболочка. Если загрязнение и разубоживание коснулось напорных, глубоко залегающих минеральных вод, значит общая экологическая ситуация территории весьма неблагополучна. Для оценки экологического состояния авторами был выполнен комплексный экологический мониторинг (ЭМ), включающий исследование воздушного бассейна, почв, поверхностных водотоков и подземных вод курортов КМВ [2, 3]. ЭМ ведется с 2010 г. и включает регулярный отбор проб на химические, микробиологические и радиологические анализы грунтов, речных вод, подземных (грунтовые и артезианские) вод городов-курортов. Параллельно были собраны и проанализированы данные о выбросах загрязняющих веществ (ЗВ) и сведения о замеренной концентрации поллютантов в атмосфере за период и 1994 по 2015 гг. Итогом ЭМ курортов КМВ стало определение поллютантов регулярно превышающих предельно допустимые концентрации (ПДК) во всех природных сферах. Рассчитаны показатели, позволяющие определить ЭС каждого курорта. Методика проведения ЭМ подробно изложена в работах авторов [2, 3, 4]. За фон принимались параметры грунта, отобранного на юго-востоке г. Кисловодска в курортном парке на горе Малое Седло (высотная отметка 1219 м). Для речных вод в качестве фоновых приняты зна-

чения, определенные для истока р. Белая (курортный парк, абс. отм. 1209 м). Данные фоновые территории испытывают минимальное антропогенное воздействие и являются автономными. Полученные данные свидетельствуют о достаточно сильном загрязнении зоны гипергенеза курортов КМВ (табл. 1).

Таблица 1

Диапазон концентрации ряда ЗВ на территории курортов КМВ

№ п/п	Компонент (ЗВ)	Концентрация ЗВ				Превышение C_{cp} над $C_{ф}$
		фоновая ($C_{ф}$)	средняя (C_{cp})	мин. (C_{min})	макс. (C_{max})	
1	2	3	4	5	6	7
КИСЛОВОДСК (К)						
Грунты, мг/кг						
1	Нефтепродукты	11,8	75,25	8,60	164,8	6,4
2	Ртуть	0,02	0,08	0,01	0,24	4,0
3	Свинец	10,0	24,4	10,0	42,75	2,4
4	Цинк	52,5	92,04	50,6	127,7	1,8
5	Мышьяк	2,2	3,61	1,39	6,8	1,6
6	Кадмий	1,0	1,65	0,74	2,19	1,7
7	Медь	12,0	24,19	8,93	76	2,0
8	Никель	24,0	27,04	18	60	1,1
Суммарный показатель загрязнения почв Z_c		10,5-108,1				
Поверхностные водотоки, мг/дм ³						
9	Мышьяк	0,001	0,02	<0,001	0,07	20,0
10	Нефтепродукты	0,01	0,10	<0,02	0,25	10,0
11	Стронций	0,4	1,64	0,2	7,0	4,1
12	Нитриты	0,02	0,10	<0,02	0,29	5,0
13	Кадмий	0,001	0,005	<0,0001	0,007	5,0
14	Свинец	0,004	0,01	<0,005	0,02	2,5
15	Медь	<0,001	0,003	<0,001	0,007	3,0
16	Никель	<0,001	0,01	<0,001	0,03	10,0
Индекс загрязнения вод ИЗВ		0,81-8,68				
ЖЕЛЕЗНОВОДСК (Ж)						
Грунты, мг/кг						
17	Нефтепродукты	11,8	39,26	20	90,3	3,3
18	Ртуть	0,02	0,26	0,10	0,85	13,0
19	Свинец	10,0	42,64	23,80	88,1	4,3
20	Цинк	52,5	124,58	74,90	162,3	2,4
21	Мышьяк	2,2	2,09	1,00	2,97	1,0
22	Кадмий	1,0	1,16	0,70	1,80	1,2
23	Медь	12,0	40,66	27,80	54,6	3,4
24	Никель	24,0	61,86	37,8	78,9	2,6

Продолжение табл. 1

1	2	3	4	5	6	7
Суммарный показатель загрязнения почв Zc		15,1-76,8				
Поверхностные водотоки, мг/дм ³						
25	Мышьяк	0,001	0,002	<0,001	0,005	2,0
26	Нефтепродукты	0,01	0,10	<0,02	0,20	10,0
27	Стронций	0,4	0,67	0,49	1,14	1,7
28	Нитриты	0,02	0,12	0,05	0,25	6,0
29	Кадмий	0,001	0,002	<0,0001	0,006	2,0
30	Свинец	0,004	0,006	<0,005	0,01	1,5
31	Медь	<0,001	0,002	<0,001	0,005	2,0
32	Никель	<0,001	0,007	<0,001	0,02	7,0
Индекс загрязнения вод ИЗВ		1,21-4,38				
ЕССЕНТУКИ (Е)						
Грунты, мг/кг						
33	Нефтепродукты	11,8	47,50	29,6	73,30	4,0
34	Ртуть	0,02	0,08	0,02	0,22	4,0
35	Свинец	10,0	11,42	4,2	17,90	1,1
36	Цинк	52,5	65,28	37,8	87,5	1,2
37	Мышьяк	2,2	1,47	1,15	1,87	0,7
38	Кадмий	1,0	0,70	0,40	1,2	0,7
39	Медь	12,0	1028,0	19,0	50,7	3,1
40	Никель	24,0	61,46	33,80	72,90	2,6
Суммарный показатель загрязнения почв Zc		14,4-55,5				
Поверхностные водотоки, мг/дм ³						
41	Мышьяк	0,001	0,026	<0,001	0,05	26,0
42	Нефтепродукты	0,01	0,19	<0,02	0,5	19,0
43	Стронций	0,4	0,35	0,51	9,3	0,9
44	Нитриты	0,02	0,15	0,04	0,98	7,5
45	Кадмий	0,001	0,005	<0,0001	0,0086	5,0
46	Свинец	0,004	0,010	<0,005	0,045	2,5
47	Медь	<0,001	0,015	<0,001	0,047	15,0
48	Никель	<0,001	0,03	<0,001	0,045	30,0
Индекс загрязнения вод ИЗВ		1,56-9,89				
ПЯТИГОРСК (П)						
Грунты, мг/кг						
49	Нефтепродукты	11,8	91,2	34,4	208,7	7,7
50	Ртуть	0,02	0,34	0,10	0,95	17,0
51	Свинец	10,0	64,7	34,5	100,2	6,5
52	Цинк	52,5	89,5	42,3	100,1	1,7
53	Мышьяк	2,2	2,5	0,94	5,7	1,1
54	Кадмий	1,0	0,90	0,46	1,84	0,9

Окончание табл. 1

1	2	3	4	5	6	7
55	Медь	12,0	39,5	14,5	68,4	3,3
56	Никель	24,0	57,7	43,0	86,4	2,4
Суммарный показатель загрязнения почв Zc		15,6-98,8				
Поверхностные водотоки, мг/дм ³						
57	Мышьяк	0,001	0,006	<0,001	0,02	6,0
58	Нефтепродукты	0,01	0,30	<0,02	0,78	30,0
59	Стронций	0,4	0,85	0,18	6,4	2,1
60	Нитриты	0,02	0,06	0,04	1,15	3,0
61	Кадмий	0,001	0,002	<0,0001	0,008	2,0
62	Свинец	0,004	0,012	<0,005	0,028	3,0
63	Медь	<0,001	0,035	<0,001	0,082	35,0
64	Никель	<0,001	0,009	<0,001	0,12	9,0
Индекс загрязнения вод ИЗВ		1,94-8,42				

Загрязнение почв курортов соответствует допустимой (23% всех проб), умеренно опасной (46%) и опасной категории (31%). Оценка степени эпидемиологической опасности почвы включала определение бактерий группы кишечной палочки (БГКП), энтерококков, патогенных бактерий, яиц гельминтов, личинок – Л куколок и К-мух. Можно констатировать, что почвы на территории курортов в 60-80% проб (по разным городам) не соответствуют требованиям санитарно-эпидемиологических правил и нормативов. Индекс БГКП превышен в 10–100 и более раз, индекс энтерококков в 10 и более раз.

Интегральная оценка загрязнения рек по гидрохимическим показателям осуществлялась по индексу загрязнения вод (ИЗВ). Расчет ИЗВ выполнялся по 6 показателям качества воды в которые входили БПК_{полн} и вещества с большей токсичностью. В зависимости от полученного ИЗВ водные объекты классифицированы по степени загрязнения следующим образом: чистые (1,6% всех проб), умеренно загрязненные (23,8%), загрязненные (66,7%), грязные (3,2%) и очень грязные (4,8%). Микробиологические исследования воды включали определение – КМАФАнМ, БГКП, БГКП фекальные, *Pseudomonas aeruginosa*. Доля неблагополучных по микробиологическим показателям проб варьирует в зависимости от сезона года, достигая 94%. По лимитирующему показателю вредности (ЛПВ) 98% проб не отвечают требуемым нормативам. В реках обнаружены вещества 1–2 классов опасности – мышьяк, кадмий, свинец, никель, стронций, селен, барий, нитриты, в концентрациях превышающих ПДК.

Деградация гидроминеральной базы напрямую связана со стоками от неканализованных районов городов-курортов и утечек из инженерных сетей различного назначения. Общая их величина составляет в Железноводске – 21,6, Ессентуках – 35,1, Кисловодске – 68,9, Пятигорске – 108,4 т·м³/сут.

[5, 6]. В стоках в разы превышены концентрации тяжелых металлов, фосфатов, азотсодержащих соединений, нефтепродуктов, ПАВ и др.

Курорты конурбации КМВ относятся к бальнеоклиматическим. Уникальность воздушного бассейна Кисловодска – высокая чистота воздуха и насыщенность его целебными летучими фитоорганическими веществами связана с Кисловодский парком. До 1998 г. он являлся крупнейшим по площади в Европе парком. Его площадь составляла 1380 га. По результатам проведенного в 2009 г. межевания выяснилось, что под парком осталось 948,4 га. Под застройку отдали 432 га «легких» курорта. Кисловодский парк сжимается подобно шагреновой коже. Являясь одним из курортообразующих факторов, парк участвует в формировании двух других лечебных составляющих Кисловодска – климата и гидроминеральной базы.

Таким образом, анализ данных многолетнего ЭМ позволяет утверждать, что ситуацию в городах-курортах КМВ следует рассматривать как близкую к критической [7]. Это выражается в накоплении ЗВ в педосфере, наличии веществ 1–2 классов опасности в концентрациях, превышающих ПДК, в речных водах, бактериологическом загрязнении верхних водоносных горизонтов, ростом динамических уровней, падением кондиций минеральных вод рабочих горизонтов. Основные причины ухудшения экологической ситуации это – крайне неблагоприятные с позиции самоочищающей способности атмосферы условия: снижение средних скоростей ветра в регионе, уменьшение числа дней с выпадением снега; особенности ландшафта, способствующие накоплению ЗВ в буферных средах и формирующие потенциальные источники загрязнения; увеличение плотности населения; рост автотранспорта; увеличение утечек из инженерных сетей; деградация курортного парка; рост атмосферных осадков, приводящих к разубоживанию продуктивных горизонтов, стоки из неканализованных посёлков способствующие бактериологическому загрязнению минеральных вод.

Взаимоотношения в системе «природа-общество» по Б. Коммонеру неизбежно приводит к моменту, отдачи долгов природе, ведь «платежа по этому векселю нельзя избежать; он может быть только отсрочен». Состояние окружающей среды курортов конурбации КМВ таково, что дальнейшая «отсрочка платежа» может привести к полнейшей деградации бальнеоклиматических здравниц, не имеющих аналогов в России.

Литература

1. Города России: энциклопедия / Гл. ред. Г.М. Лаппо. – М.: Большая Российская энциклопедия, 1994. – 559 с.
2. 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.
3. 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.

4. 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.

5. Помеляйко И.С., Малков А.В., Першин М.И. Гидроминеральная база Кисловодского месторождения углекислых минеральных вод: проблемы и пути решения // Экология Кавказских Минеральных Вод: системный анализ и концептуальные подходы. – СПб. – Пятигорск: Изд-во ПФ СКФУ, 2016. – С. 163-177.

6. Помеляйко И.С., Коваленко Н.Н. Статус курорта федерального значения – привилегия или кара? // Техногенные процессы в гидrolитосфере: сб. статей. 2-го нац. науч. форума «Нарзан-2013». – Пятигорск: РИА-КМВ, 2013. – С. 187-214.

7. Помеляйко И.С. Определение комплексной антропогенной нагрузки на городскую территорию ряда городов РФ // Сергеевские чтения. Инженерная геология и геоэкология. Фундаментальные проблемы и прикладные задачи. Вып. 18. Материалы годичной сессии Научного совета РАН. М.: РУДН, 2016. С. 340-345.

ЭКОЛОГО-ГЕОХИМИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ КОМПОНЕНТОВ ЛАНДШАФТА В ЗОНЕ ВЛИЯНИЯ КАРЬЕРА СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ «ХОТИСЛАВСКИЙ» (РЕСПУБЛИКА БЕЛАРУСЬ)

Л.Н. Рябова

Институт природопользования НАН Беларуси, ул. Ф. Скорины, 10, 220114, Минск, Беларусь.
E-mail: ryabova@nature.basnet.by

Месторождение строительных материалов «Хотиславский» расположено в Брестской области вблизи г. Малорита в южной части бассейна р. Муховец. Южный контур месторождения проходит по границе с Украиной. Балансовые запасы промышленных категорий, доступные к открытой разработке составляют 26281,4 тыс. м³ песка и 38816 тыс. м³ мела. Пески, являющиеся вскрышей для меловых пород, содержат более 96% кварца и пригодны для производства силикатного кирпича, бетонов, различных строительных смесей и штукатурных растворов, приготовления формовочных смесей, а также для использования в металлургической, стекольной и нефтехимической промышленности. Качество мела позволяет производить известь, использовать его в химической, лакокрасочной, медицинской промышленности, а также для раскисления почв и производства комбикормов.

Карьер запланировано разрабатывать двумя очередями: I очередь – площадь 20 га, глубина добычи 15 м уже разработана; II очередь – площадь до 50 га, глубина добычи до 45 м. Работы на такую глубину не могут не сказаться на изменении природных комплексов прилегающих территорий. В зоне влияния оказались населенные пункты, лесные массивы, сельскохозяйственные угодья, водные и природоохранные объекты. По мнению украинских исследователей, с началом работы комбината по переработке мела будет происходить выброс большого количества меловой пыли и согласно «розы

ветров», пыль будет чаще достигать территории Украины, что существенно ухудшит не только условия проживания на прилегающих к карьере территориях, но и состояние почвенного покрова, растениеводства и животноводства. Это указывает на необходимость выяснения последствий эксплуатации карьера и комбината [1]. Учитывая заинтересованность Украины и Беларуси в сохранении окружающей природной среды, была создана единая система мониторинговых наблюдений в зоне возможного влияния карьера «Хотиславский», которая охватывает как украинскую, так и белорусскую часть прилегающих к карьере земель.

Цель настоящей работы – установить фоновые и критические геохимические показатели состояния природных комплексов в зоне влияния Хотиславского карьера в настоящее время. При этом необходимо учитывать геохимическую трансформацию природных компонентов под влиянием мелиоративных работ, которые широко проводятся на территориях как Беларуси, так и Украины.

В геоморфологическом отношении территория месторождения приурочена к правому бортовому склону р. Рыта (приток р. Мухавец). Долина реки выражена слабо и представляет собой полого наклонный от территории Украины и заболоченный склон. Значительная часть территории месторождения занята торфяником, который подстилается верхнечетвертичными озерно-аллювиальными кварц-полевошпатовыми мелкозернистыми песками мощностью от 3 до 19,8 м. Эти отложения залегают на неровной, сильно эродированной поверхности мергельно-меловых пород верхнемелового возраста. Они в различной степени трещиноватые и закарстованные, переходящие с глубины 60,0 м в монолитную породу. Меловые отложения – это основной водоносный горизонт, обеспечивающий водное питание четвертичного горизонта, поверхностных вод и являющийся источником водоснабжения населенных пунктов [1].

Территории, прилегающие к месторождению – это низинные переувлажненные земли юго-западной части Брестского Полесья и северных отрогов Вольно-Подольской возвышенности, в пределах которых расположены природные объекты, имеющие природоохранное и рекреационное значение. На территории Республики Беларусь – это основные водные артерии района: рр. Верхняя Рыта, Малорита, Рыта и Копаювка – притоки р. Мухавец. Все реки по своему водному режиму относятся к равнинному типу и характеризуются слабоврезанными в естественных условиях и извилистыми руслами с низкими берегами. На территории Украины в 17 км от карьера расположены Шацкие озера, которые являются уникальной водной экосистемой, состоящей из озер различного происхождения и разного характера питания, соединенных системой естественных и искусственных каналов. Преимущественно это карстовые озера с напорным питанием и озера ледникового происхождения с атмосферным питанием. В настоящее время они имеют статус Национального парка «Шацкие озера».

Таблица 1

Средние геохимические показатели почв на территории, прилегающей к карьеру «Хогиславский»

Генетический горизонт	Мощность горизонта, см	Зольность, %	Естественная влажность, %	Объемный вес, г/см ³	Ен, мВ	рН _{KCl}	Содержание С _{орг} , %	Н ⁺ , мг-экв/100 г	Содержание поглощенных Са ²⁺ +Mg ²⁺ , мг-экв/100 г	Сумма поглощенных катионов, мг-экв/100 г	Валовое содержание железа, %	Подвижное железо, мг/100 г
Немелирированные торфяно-болотные почвы, УГВ = 0,70 м.												
A ₀	0-4	13,06	не опр.	не опр.	400 опр.	6,05	36,06	20,79	17,0	37,79	0,28	0,92
A ₁ T ₁	4-34	24,55	88,33	0,37	410	6,50	29,98	8,09	17,08	25,17	5,47	3,40
T ₂	34-45	56,11	87,99	0,41	400	6,60	12,10	2,50	6,48	8,98	0,15	0,55
T ₂ B ₁	45-53	77,65	52,39	0,63	400	6,56	3,49	1,93	3,84	5,77	3,58	0,33
B ₂ C	53-ниже	98,97	16,94	1,41	415	7,05	Следы	0,85	1,10	1,95	0,37	0,011
Мелирированные и освоенные торфяно-болотные почвы, УГВ = 0,88 м.												
A _п	0-3	41,28	-	-	-	6,23	23,67	33,40	12,14	45,54	6,72	0,76
A ₁ T ₁	3-13	33,09	73,58	0,42	400	6,44	34,62	44,85	13,32	58,17	9,16	1,35
T ₂	13-23	41,00	78,84	0,42	415	6,40	40,46	41,00	10,06	51,06	9,12	1,21
T ₃	23-43	19,50	96,88	0,43	430	6,20	40,90	47,36	10,00	57,36	8,68	1,29
T ₄	43-53	11,24	92,45	0,44	480	6,25	17,48	35,81	6,21	42,02	6,72	0,83
T ₄ B ₁	53-60	27,15	80,46	0,53	400	6,40	0,62	1,71	2,68	4,39	0,90	0,027
B ₂ C	60-ниже	99,98	23,45	1,28	350	6,48	Следы	0,77	1,16	1,93	0,35	0,015
Лесные дерново-подзолистые песчаные почвы												
A ₀	0-5	-	16,7	н.оп.	680	6,46	1,53	2,8	25,2	28,0	2,15	не опр.
A ₁	5-16	-	18,6	0,93	720	5,19	0,96	2,6	34,7	37,3	1,89	не опр.
A ₁ A ₂	16-21	-	16,8	1,28	735	5,53	0,09	3,3	23,0	26,3	2,19	не опр.
A ₂	21-38	-	25,5	1,37	687	5,06	-	1,1	11,3	12,4	1,65	не опр.
B ₁	38-56	-	25,7	1,41	694	6,42	-	1,6	22,2	23,8	2,14	не опр.
B ₁ C ₁	56-74	-	27,4	1,36	654	4,45	-	0,9	2,4	3,3	0,52	не опр.

Почвенный покров в зоне влияния карьера представлен в основном двумя типами почв: торфяно-болотными, в значительной степени мелиорированными и дерново-подзолистыми песчаными. Возможное влияние на геохимические показатели почвенного покрова при добыче мела, прежде всего, будет сказываться на физико-химических показателях почв, которые в настоящее время значительно трансформированы под влиянием мелиоративных работ. На освоенных землях наблюдается отчетливое повышение зольности торфа, особенно в верхних пахотных горизонтах (табл. 1). В ряду почв от неосвоенных к мелиорированным полностью освоенным уменьшается показатель естественной влажности, повышаются объемный вес, окислительно-восстановительный потенциал, в торфяно-болотных почвах повышается кислотность. Содержание органического углерода в пахотных горизонтах мелиорированных почв уменьшается в 6-8 раз, концентрация поглощенных оснований в 2 и более раза.

Резкие изменения физико-химических параметров в осушенных почвах ведут к трансформации форм железа, переходу его коллоидных подвижных форм в окристаллизованные и закреплению в почвенной толще (табл. 1). За счет сегрегации железа его валовое содержание в осушенных почвах увеличивается, по сравнению с неосвоенными, в 2,20-3,0 раза, а концентрация подвижных форм, напротив, уменьшается в 1,3-2,1 раза.

В составе водорастворимых соединений преобладают хлориды – в среднем 27,2 мг/кг, сульфаты – 20,7, нитраты – 16,1 и фосфаты – 1,6 мг/кг.

Содержание подвижных форм микроэлементов в торфяно-болотных почвах приведено в табл. 2.

Таблица 2

**Содержание подвижных форм микроэлементов (мг/кг)
в торфяно-болотных почвах на территории, прилегающей к карьере
строительных материалов «Хотиславский»**

Генетический горизонт	Глубина отбора, см	Pb	Cd	Cu	Mn	Zn	Ni	Co	Cr
Немелиорированная									
A ₀	0 – 4	9,66	0,64	3,20	90,97	22,10	–	0,37	1,88
A _{T1}	4 – 34	8,20	0,83	5,14	117,27	22,45	0,27	1,17	2,07
A _{T2(g)}	34 – 45	1,41	0,42	14,16	53,03	1,35	2,18	0,26	1,42
A _{T3g}	45 – 53	1,13	0,39	7,82	18,38	1,32	0,82	0,09	0,75
B _{1C}	53 – 80	0,45	0,14	0,29	1,31	0,51	0,08	0,10	0,20
Мелиорированная									
AT1	0 – 4	9,80	0,44	2,37	82,03	14,62	2,07	0,50	1,08
AT2	4 – 19	9,39	0,32	1,14	41,88	3,54	1,84	0,42	1,01
AT3	19 – 60	0,17	0,19	1,63	46,86	0,63	4,57	0,25	1,35
B1Cg	60 – 84	0,94	0,19	1,05	60,72	1,02	0,14	0,29	1,42

В немелиорированных почвах максимальная концентрация меди приурочена к глеевым горизонтам, в осушенных – элемент относительно равномерно распределен по профилю. Здесь же фиксируется смещение максимальной зоны накопления подвижных форм Сг и Мп вглубь разреза. Это связано с понижением уровня грунтовых и изменением окислительно-восстановительного потенциала, что ведет к изменению направленности природных процессов, трансформации естественного распределения кислоторастворимых форм микроэлементов.

Содержание микроэлементов в почвах, на территории в непосредственной близости от карьера, находится в концентрациях близким к среднефоновым.

Донные отложения р. Рыта (на территории, прилегающей к карьеру в настоящее время канализирована). Полученные материалы показали, что геохимическое состояние донных отложений находится в удовлетворительном состоянии, содержание микроэлементов находится в пределах фоновых концентраций. Содержание СПАВ менее <0,025 мг/кг, присутствие фенолов не обнаружено. Концентрации подвижных соединений азота, фосфора и хлора не превышают допустимые значения.

Грунтовые воды в заболоченных понижениях имеют в среднем рН 7,4, Eh +380 мВ. Химический состав выражается по формуле Курлова следующим образом:

$$M\ 0,3 \frac{HCO_3\ 65\ SO_4\ 24\ Cl\ 8\ CO_3\ 3}{Ca\ 77\ Mg\ 19\ Na\ 3\ K\ 1} pH\ 7,40 .$$

Сравнение исследуемых грунтовых вод с водами фоновых участков (Национального парка «Припятский», долины р. Припять, Полесья в целом), показало в них более высокие содержания Ca^{2+} и HCO_3^- .

На мелиорированных участках интервал варьирования общей минерализации грунтовых вод составляет 222-664 мг/л. Прослеживается тенденция увеличения концентрации железа, особенно закисного, количество HCO_3^- повышается до 334,28 мг/л, хлоридов – 29,68 мг/л, сульфатов – 151,43 мг/л. Доля хлоридов в составе вод может изменяться от 5 до 16%, а доля сульфатов – от 15 до 43%, что значительно выше, чем в водах заказников. Преобладающими среди анионов часто становятся сульфаты, вследствие чего происходит трансформация типа вод, и на фоне доминирования гидрокарбонатного типа минерализации могут формироваться воды сульфатно-гидрокарбонатно-кальциевого состава. Их химический состав по формуле Курлова выражается следующим образом:

$$M\ 0,3 \frac{SO_4\ 43\ HCO_3\ 37\ Cl\ 15\ CO_3\ 5}{Ca\ 75\ Mg\ 18\ Na\ 5\ NH_4\ 1\ K\ 1} pH\ 7,85 .$$

Дифференциация нитратов мозаична, что является результатом степени освоения торфяников. Отмечается увеличение содержания натрия, калия кальция и магния. В грунтовых водах фосфор содержится в незначительных

количествах (до 0,21 мг/л), что связано с большой потребностью растений в данном элементе.

Воды мелиоративных каналов являются своего рода индикатором поступления всех химических компонентов в ландшафт. Они относятся к гидрокарбонатно-кальциевому типу, имеют щелочную среду, повышенные содержания CO_3^{2-} , HCO_3^- , кальция.

Таким образом, проведенные исследования показали значительные изменения геохимической обстановки на территории, прилегающей к карьере «Хотиславский» и комбинату стройматериалов, связанные с проведением мелиоративных работ. Это необходимо учитывать при оценке влияния работы комбината по переработке мела.

Литература

1. Ромащенко М.И., Цветова Е.В., Сидоренко Е.А. Комплексный мониторинг состояния природной среды на территории Волынского Полесья в зоне возможного влияния карьера строительных материалов «Хотиславский (Республика Беларусь) // Проблемы рационального использования природных ресурсов и устойчивое развитие Полесья: сборник докладов на Международной научной конференции (г. Минск 14-17 сентября 2016 г.): В 2-х т. – Т. 1. – Минск: «Беларуская навука», 2016. – С 597-600.

REDOX КОНТРОЛЬ КАК ОСНОВА РЕКУЛЬТИВАЦИИ ТЕРРИТОРИЙ ГОРНОДОБЫВАЮЩИХ ОБЪЕКТОВ

Н.Г. Стенина

Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет,
630008, г. Новосибирск-8, ул. Ленинградская 113. E-mail: stenina@yandex.ru

Россия, территория которой занимает 11,5% суши Земли, обладает огромным потенциалом природных минеральных ресурсов. С учетом истощения многих известных мировых месторождений, промышленная нагрузка на них резко возрастает. Поэтому проблема рекультивации территорий горнодобывающих разработок становится все более актуальной. Данная ситуация диктует необходимость пересмотра подходов к проблемам рекультивации испорченных земель и внедрения новых методов утилизации отходов горнодобывающих предприятий.

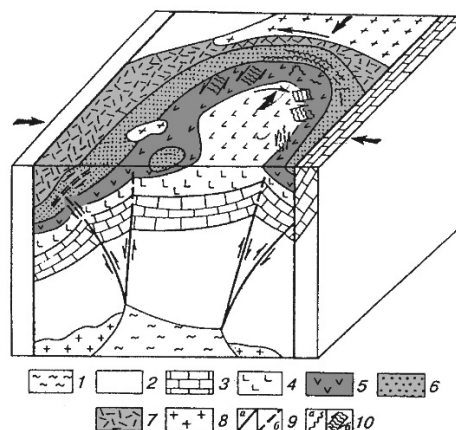
Фундаментальной основой решения этой проблемы является понимание генезиса месторождений полезных ископаемых, т.е. установление реального механизма концентрирования полезных элементов в месторождениях. Разработка эффективных и максимально дешевых технологий утилизации отходов является прямым следствием решения этой задачи.

Генезис месторождений является до настоящего времени темой исследования академической науки: рудной, нефтегазовой и других областей геологии. Такое подразделение обусловлено тем, что каждый тип месторождений полезных ископаемых: руды, углеводороды, алмазы и др. – опирается на собственные генетические модели и рассматривается независимо друг от друга. В основе теории рудообразования лежат представления о выделении металлов из так называемых «рудообразующих растворов» в процессе их циркуляции по ослабленным зонам (трещинам) в земной коре. Это относится ко всем металлам, включая золото, платину и редкие элементы. Для истории исследований происхождения нефти и газа характерно противостояние двух генетических моделей: органической и неорганической. Первая рассматривает образование углеводородов в результате метаморфизма древних залежей органического вещества. Вторая, сторонниками которой были Д.И. Менделеев и А. Гумбольдт, придерживается неорганической точки зрения. В последние десятилетия, под напором фактов, становится все более заметной третья точка зрения, согласно которой образование нефти и газа происходило при активном взаимодействии органического и неорганического вещества. Совершенно другие подходы и модели существуют в науке о происхождении алмазов.

Основным моментом критики существующих теорий генезиса месторождений является невозможность объяснения, как самой специализации, так и всей совокупности геологических (минералогических, геохимических, структурных и др.) особенностей конкретных типов месторождений. Одним из примеров является зональное строение, присущее многим типам рудных тел. Характерной их особенностью является приуроченность рудной минерализации к наличию Са-содержащих пластов и смене кислотно – основного (Ox/Red) типа пород [1]. Наглядным примером является зональная структура Саралинского золоторудного поля (рис. 1). Здесь наиболее продуктивные золоторудные жилы находятся в карбонатных породах (6) между породами основного (5) и кислого (7) состава.

Рис. 1. Схема Саралинского золоторудного поля (Кузнецкий Алатау, Россия) [2]:

- 1 – выступы пластических коровых пород;
- 2 – метаморфические сланцы;
- 3 – карбонатные осадочные породы;
- 4 – metabазальты, туфы;
- 5 – основные эффузивы, их туфы;
- 6 – карбонатные туфо-сланцы;
- 7 – кислые эффузивы и туфы;
- 8 – габбро-гранитоидные интрузии;
- 9 – разломы;
- 10 – кварц-золоторудные жилы



Современные исследования [3] установили, что инверсия окислительно-восстановительных (Ox/Red) условий минеральной системы играет ключевую роль в процессе образования также нерудных месторождений (алмазов).

Концепция аква-комплекса, имеющего общий вид $[2\text{TO}_3 - \text{OH}_2 - \text{M}^{n+}2\text{M}^{m+}\text{O}'_4]$ (где T – 4-х валентные катионы, Si, в первую очередь, и др., M^{n+} - одно- и двух-валентные катионы: Na, K, Fe^{2+} и др., M^{m+} – многовалентные катионы: Al^{3+} , Fe^{3+} и др., O' – летучие: O, Cl, S и др.) (рис. 2, а), объясняет образование месторождений полезных ископаемых, независимо от их специализации (рудные, углеводороды, алмазы) в рамках единой эволюции минерального вещества пород [4].

Аква-комплекс является неформальным аналогом ДНК для минерального вещества [5]. Впервые аква-комплексы были найдены и идентифицированы как дефекты в природном кварце разного генезиса [6]. Таким образом, как и ДНК, аква-комплексы были обнаружены на уровне исследования микроструктуры природной, минеральной, в данном случае, материи.

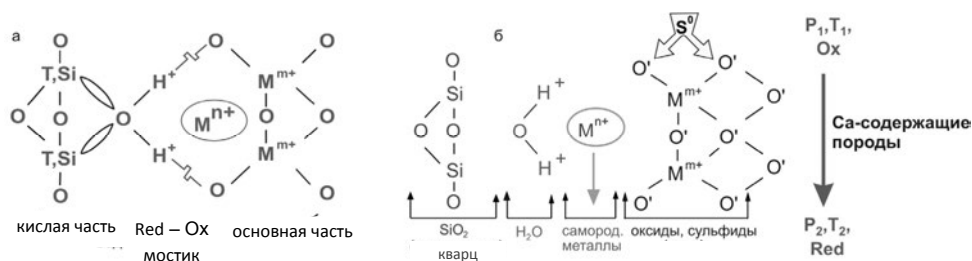


Рис. 2. Аква-комплекс как универсальная кристаллохимическая ячейка минералообразующей среды (а) и его дезинтеграция на 3 части (б) в результате P-T, Ox/Red колебаний и наличия Са-содержащих пород и в минеральной системе

Впоследствии, в результате изучения механизма структурно-химических преобразований силикатных минералов в эволюционном ряду пород: вмещающие габбро–граниты [7], была установлена фундаментальная роль аква-комплекса как закона эволюции минерального вещества и сформулированы его 5 основных свойств. Согласно им, аква-комплекс является: 1) универсальной кристаллохимической ячейкой минерального вещества, ответственной за существование всех известных минералов; 2) интермедиатом минеральных реакций, обеспечивающим структурно-химическое преобразование пород; 3) причиной геохимических ассоциаций элементов в этих преобразованиях; 4) причиной и механизмом плавления пород (образование гранитной магмы и ее эволюции); 5) преобразователем энергии в геологических

процессах. Последнее, самое важное свойство аква-комплекса обусловлено широким диапазоном энергии связей Т и M^{m+} катионов в кислородных тетраэдрах (ее величина изменяется от 96 ккал/моль для Fe^{3+} в позиции M^{m+} до 256 ккал/моль для S^{4+} в позиции Т). Благодаря этому энергетический дисбаланс в минеральной системе может быть конвертирован в энергию вновь образуемых минеральных фаз. Энергетическое свойство аква-комплекса раскрывает механизм и движущую силу всех геологических процессов; в прикладном аспекте – концентрирование полезных элементов в месторождениях.

При образовании руды экстракция и миграция металлов происходит в процессе метаморфизма вещества пород в неравновесных минеральных системах. При этом аква-комплекс, из которого могут быть образованы все минералы, является интермедиатом (посредником) минеральных реакций. Кардинальное изменение в характере миграции металлов происходит, когда аква-комплексы оказываются в условиях своей нестабильности. Это происходит в результате резкого изменения Р и Т (давления и температуры) параметров, инверсии окислительно-восстановительного (Redox) потенциала минеральной системы, а также наличия в ней Са-содержащих пород (рис. 2, б).

Причина в том, что аква-комплекс имеет 3-х частную Ох – Red структуру (рис. 2, а). В ней тетраэдрически заряженная ($O - 2H^+$) [8] молекула воды связывает в единое целое кислую (левую) и правую (основную) части комплекса. При изменении параметров минеральной системы аква-комплекс распадается на составляющие части: SiO_2 (кварц), H_2O (воду) оксиды, хлориды, сульфиды. (рис. 2, б). Этот механизм объясняет типичный кварцево-рудный (кварцево-золото-сульфидный) парагенезис в жилах и других рудных телах, так же, как и генерацию свободной воды, в связи с чем соответствующие процессы называются гидротермальными. Таким образом, появление свободной воды в минеральной системе – не причина, а следствие аккумуляции металлов в месторождениях.

Новая теория образования месторождений полезных ископаемых (рудных и нефтегазовых [9], алмазов [4]), обоснована всем комплексом геологических и экспериментальных данных. Ее объективность следует из решения практических проблем недропользования, касающихся прогноза локализации рудных и разработки нефтяных месторождений [4].

Концепция аква-комплекса раскрывает механизм поведения неравновесной минеральной системы, что имеет основополагающее значение для решения проблем рекультивации территорий промышленного использования. Главным при этом является выяснение реакции грунта вследствие нарушения природного баланса минеральной системы после экстракции полезных элементов или, наоборот, захоронения токсичных отходов. С этой точки зрения концепция аква-комплекса является методологической основой для оптимизации, т.е. ускорения сроков и стоимости, работ по рекультивации территорий.

Во-первых, аква-комплекс, являясь формой и механизмом связывания металлов, позволяет решать проблему комплексно, с учетом всех главных и второстепенных полезных элементов в месторождении. Практически это дает

возможность оценки химического состава и возможных концентраций полезных элементов в так называемых «хвостах» горнодобывающих предприятий. Во-вторых, Ох/Red природа строения рудных (и не только рудных) тел позволяет целенаправленно проводить их разработку и последующую рекультивацию территорий. В-третьих, и это главное, установить, существует ли реакция минеральной системы (грунта) на нарушение природного баланса, и, если существует, то какая она. Ответ на этот вопрос имеет принципиальное значение для практической реализации перспективного метода утилизации химических отходов “*in place*” (“*in situ*”), т.е. на месте, без дистанционного удаления испорченного грунта.

Аква-комплекс, будучи неотъемлемой составляющей синергетической парадигмы в геологии и являясь интермедиатом минеральных реакций в неравновесных минеральных системах, дает основание предполагать существование такой реакции и предсказать ее характер в виде самоорганизации контаминированного грунта. Эти предположения подтвердились в процессе конкретной работы по нейтрализации грунта в хранилищах особо токсичных (As и др.) отходов. Исследования показали, что за десятки лет отстоя в толще грунта хранилищ стали интенсивно развиваться процессы самоорганизации

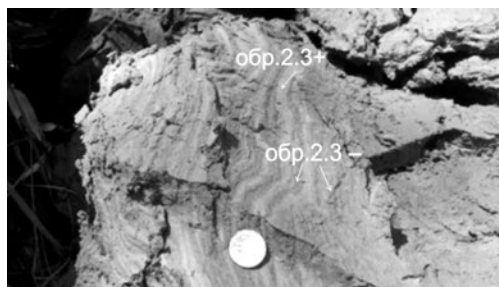


Рис. 3. Периодическая текстура самоорганизации зараженного грунта

(рис. 3). Комплексом методов было доказано, что самоорганизация минеральной системы происходила по механизму аква-комплекса. Самым очевидным аргументом здесь является почти 30-кратное уменьшение содержания Са в слоях новообразованного грунта (таблица), объяснимое тем, что Са не может входить в аква-комплекс. Также было доказано, что смысл структурно-химических преобразований грунта заключался в переводе мышьяка из опас-

ной формы свободных радикалов в минеральную форму (арсенопирит и др.). На базе этих данных и их Ох/Red анализа был предложен и протестирован природный реагент, который позволил кардинально ускорить естественный процесс восстановления зараженного грунта.

Таблица

Химический состав загрязненного грунта (глубина 5 м) с текстурой самоорганизации

	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Na ₂ O	FeO	As ₂ O ₃	Cl	CaO
Обр. 2.3-	32.885	13.891	0.971	3.483	0.011	0.021	11.771
Обр. 2.3+	17.773	4.975	0.512	6.103	0.009	0.02	0.423

Таким образом, аква-комплекс как новая парадигма минералообразования, доказывает естественную способность грунта к самовосстановлению. Ох/Red природа этого процесса дает возможность целенаправленно и оптимально применять метод рекультивации территорий “*in situ*”.

Литература

1. Стенина Н.Г., Губаревва Д.Б., Гутаковский А.К., Плясова Л.М. Кристаллохимические особенности жильного кварца Саралинского месторождения (Кузнецкий Алатау) как показатель продуктивности золотого оруденения // Геология рудных месторождений. – 2000. – Т. 42. – С. 53-62.
2. Черезов А.М., Широких И.Н., Васьков А.С. Структура и зональность Саралинского золоторудного поля в Кузнецком Алатау // Геология и геофизика. – 1997. – Т. 38. – С. 1604-1613.
3. Simakov S.K. Redox state of Earth's upper mantle peridotites under the ancient cratons and its connection with diamond genesis // *Geochim. Cosmochim. Acta.* – 1998. – V. 62. – P. 1811-1820.
4. Stenina N.G. Evolution of the Mineral Matter of the Earth: Theory and Implications. Energy paradigm of geological processes. Scientific electron book. [www.steninageo.com] Novosibirsk, Academic Publishing House “GEO”, 2013.
5. Stenina N.G. Redox as a link between organic and inorganic matter: its role in mineralization // *Proceedings of the 7th SGA Meeting.* – 2003, Millpress Rotterdam Netherlands. – P. 857-860.
6. Stenina N.G. Water-related defects in quartz // *Bull. of Geosciences.* – 2004. – V. 79. – P. 251-26.
7. Стенина Н.Г., Дистанова А.Н. Структурно-химические преобразования силикатных минералов как индикатор их генезиса (на примере пород Каахемского плутона, Тува). – Новосибирск: Изд-во ОИГГиМ СО РАН, 1991.
8. Bernal J.D., Fowler R.H. A theory of water and ionic solutions with particular reference to hydrogen and hydrogen ions // *J. Chem. Phys.* – 1933. – V. 1. – P. 515-548.
9. Stenina N.G. Organic matter as a reducing barrier for ore and hydrocarbon mineralization in black shales. In: *Proceedings of the 6th SGA Meeting.* 2001. A.A. Balkema Publishers Lisse /Abingdon/ Exton (Pa)/Tokyo. – P. 105-108.
11. Stenina N.G., Gutakovskii A.K., Plyasova L.M. Generation of hydrocarbons: Mechanism of reaction, geologic and experimental evidence. In: *Proceedings of the 8th SGA Meeting.* 2005. Springer Berlin Heidelberg New York, v. 1, p. 179-18.
12. Stenina N.G. “In place” remediation of contaminated soils. [www.steninageo.com. Recent applications]. – 2014.

**НАУЧНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И МОДЕЛЬНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ
КОМПЛЕКСНОГО ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКОГО
И ГИДРОГЕОМЕХАНИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА
НА МЕСТОРОЖДЕНИИ АЛМАЗОВ ИМ. М.В. ЛОМОНОСОВА**

**И.Л. Хархордин¹, В.В. Назима¹, Ф.Г. Атрощенко¹, И.Э. Шкиль²,
А.Н. Гурин¹**

¹ ООО «Геостройпроект», 199106, г. Санкт-Петербург, В.О., 22-я линия, д. 3, корп. 4.
E-mail: kharkhordin@rambler.ru

² ПАО «Севералмаз», 163000, г. Архангельск, ул. Карла Маркса, д. 15

Месторождение им. М.В. Ломоносова входит в состав Архангельской алмазоносной провинции и расположено вблизи восточного побережья Белого моря на северо-западе Русской плиты. Оно располагается на территории Архангельской области РФ в центральной части Беломорско-Кулойского плато. Рудные тела, включающие десять кимберлитовых трубок, приурочены к зоне глубинного разлома субмеридионального направления [1]. Кимберлитовые тела прорывают породы архейского кристаллического фундамента, образования рифея, венда и перекрыты среднекаменноугольными и четвертичными отложениями мощностью от 28,4 до 54,5 м, которые являются коллекторами алмазов [4].

В пределах осваиваемой (южной) части месторождения им. М.В. Ломоносова выделяют семь водоносных горизонтов и комплексов: четвертичных отложений (Q), олмуго-окуневских отложений (C_{2ol-oc}), урзугских отложений (C_{2ur}), пород кратерной фации (nD₃-C₂), пород жерловой фации (iD₃-C₂), отложений падунской свиты венда (Vpd), отложений мезенской и усть-пинезской свит венда (Vmz-up).

В настоящее время на месторождение им. М.В. Ломоносова разрабатывается двумя карьерами – карьер тр. Архангельская и карьер тр. Карпинского-1. Гидрогеологические факторы оказывают существенное влияние на разработку месторождения, определяя необходимость поддержания работы мощной системы водопонижения и водоотведения, включающей внутрикарьерные водоотливы и контур дренажных скважин [2, 3]. Геомеханические расчеты показывают, что гидрогеологическими факторами в значительной степени определяется устойчивость бортов и уступов карьеров [6]. Учитывая сложность гидрогеологических и инженерно-геологических условий месторождения, с самого начала разработки была организована система гидрогеологического и инженерно-геологического мониторинга, которая в 2012 г. была дополнена системой гидрогеомеханического мониторинга [6].

Система комплексного мониторинга включает в себя следующие компоненты: а) создание и развитие наблюдательной сети, б) выполнение инструментальных измерений, в) ведение базы данных мониторинга, г) подготов-

ку информации и выполнение оперативных расчетов, необходимых для принятия управленческих решений.

Созданная на месторождении мониторинговая сеть содержит следующие пункты наблюдений: маркшейдерские репера, станции, оборудованные датчиками гидростатического давления и температуры, гидрогеологические скважины на основные водоносные горизонты. Кроме того, в рамках комплексного мониторинга периодически выполняются гидрогеологические и инженерно-геологические съемки в пределах карьеров тр. Архангельская и тр. Карпинского-1.

Результаты наблюдений аккумулируются в базах данных. Поддержание баз данных и интерпретация результатов мониторинга осуществляется с использованием пакета GEOTRYAM V 2.0 (GEOlogical Tools Related to hYdrogeological Advantage Modeling), представляющего собой интегрированную среду для работы с исходной геологической, гидрогеологической и инженерно-геологической информацией, организации её хранения и первичной обработки, а также её использования для, создания и сопровождения цифровых и численных моделей подземного пространства. Наряду с данными собственно инструментальных наблюдений информационная подсистема содержит базы данных с информацией по разведочным скважинам, а также с цифровыми моделями поверхностей раздела пластов и гидрогеологических объектов (карьеров, скважин, рек и др.), подготовленными для использования в численных геофильтрационных моделях. Под гидрогеологическими объектами далее понимаются природные тела или инженерные сооружения, оказывающие влияние на формирование водного баланса, а также тепловых и массовых потоков, в пределах расчётной области, но не являющиеся при этом её частью. Сопряжение гидрогеологических объектов с расчетной сеточной областью реализуется через задание на них внутренних граничных условий [5]. Наряду с фактическими положениями объектов в системе также хранятся проектные решения.

Для интерпретации результатов комплексного мониторинга, оценки текущей гидрогеологической и инженерно-геологической ситуации, а также выдачи краткосрочных прогнозов поддерживаются постоянно действующие геофильтрационная и геотехнические модели.

Региональная геофильтрационная модель создана на основе программы MODFLOW [7, 8]. Корректировка модели выполняется ежеквартально с учетом текущего положения карьеров, фактических дебитов водопонижающих скважин и графиков ведения горных работ на ближайшие кварталы. Модель-врезка к региональной модели используется для оценки распределения напоров в прибортовом массиве для их последующего использования в геотехнических расчетах.

Дополнительно к постоянно действующей модели на основе MODFLOW ряд методических расчетов, направленных на оценку влияния учета насыщенно-ненасыщенного режима на точность гидрогеологических прогнозов и анализ возможности использования горизонтальных скважин для снижения напоров в прибортовом массиве при вскрытии карьером мезенско-

го водоносного комплекса, были выполнены с использованием программного комплекса TOUGH2 [9]. Показано, что эффективность горизонтальных скважин определяется соотношением проницаемостей массива в горизонтальном и вертикальном направлениях.

Оперативная оценка текущей устойчивости бортов осуществляется по 6 фиксированным профилям (по три профиля на карьер). Расположение профилей совпадает с положением маркшейдерских линий и створов станций с датчиками температуры и гидростатического давления, оборудованными на низ падунских (1 датчик на станцию) и мезенские (3 датчика на станцию) отложения. Расчеты текущей устойчивости бортов выполняются с использованием оригинального программного обеспечения с учетом кривизны бортов и фактических напоров в прибортовом массиве. Методика расчета, учитывающего трехмерность призмы возможного обрушения была разработана во ВНИМИ и опробована на ряде объектов, среди которых карьеры тр. Удачная и тр. Нюрбинская, а также использована при оценке зон развития потенциальных деформаций для тр. Архангельская. На данный момент коэффициенты запаса устойчивости бортов существенно превышают нормативные.

Методика обработки данных маркшейдерских наблюдений включает следующие операции: а) расчет смещений реперов за отчетный период и за всё время наблюдений, б) статистическую оценку распределения случайных ошибок по смещениям в плоскости параллельной борту карьера, в) выявление значимых и потенциально опасных деформаций прибортового массива. За период наблюдений опасных смещений выявлено не было.

Полученные в ходе проведения комплексного гидрогеологического, инженерно-геологического и гидрогеомеханического мониторинга результаты позволяют провести погоризонтную оптимизацию уступов и профилей бортов карьеров. Эту работу предполагается выполнить к середине 2018 г.

Литература

1. Архангельская алмазоносная провинция / Под ред. О.А. Богатикова. – М.: Изд-во МГУ, 1999. – 522 с.
2. *Атрощенко Ф. Г., Филин Р. А., Шкиль И. Э.* Оптимизация системы осушения при отработке южной группы трубок месторождения им. М. В. Ломоносова на основе гидродинамической модели // Горный журнал. – 2012. – № 7. – С. 35-39.
3. *Давыдов А.С., Коростылев А.А., Шкиль И.Э.* Тематические аспекты осушения карьеров на месторождении алмазов им. М.В. Ломоносова // Горный журнал. – 2012. – № 7. – С. 29-34.
4. *Устинов В.Н., Митюхин С.И.* Месторождение алмазов им. М.В. Ломоносова: геологическое строение и алмазоносность // Горный журнал. – 2012. – № 7. – С. 18-25.
5. *Хархордин И. Л., Горев И. В., Горев В. В.* Представление гидрогеологических объектов на численных геофильтрационных и геомиграционных моделях // Труды XV Международной конференции «Супервычисления и математическое моделирование». – Саров, 2014. – С. 133-134.
6. *Хархордин И.Л., Гурин А.Н., Назима В.В., Иванов И.Н.* Организация гидрогеомеханического мониторинга на месторождении алмазов им. М.В. Ломоносова // Горный журнал. – 2012. – № 7. – С. 40-43.

7. McDonald, M. C. and A. W. Harbaugh, 1988. MODFLOW, A modular three-dimensional finite difference ground-water flow model, U. S. Geological Survey, Open-file report 83-875, Chapter A1.

8. Harbaugh, A.W., 2005, MODFLOW-2005, The U.S. Geological Survey modular ground-water model—the Ground-Water Flow Process: U.S. Geological Survey Techniques and Methods 6-A16.

9. Pruess K., Oldenburg C., Moridis G. TOUGH2 User's Guide, Version 2.0. Earth Sciences Division, Lawrence Berkeley National Laboratory University of California, Berkeley, California 94720, 1999.

ПРОБЛЕМЫ НОРМИРОВАНИЯ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ СРЕДЫ ГОРНОПРОМЫШЛЕННЫХ РАЙОНОВ ПОЛИЦИКЛИЧЕСКИМИ АРОМАТИЧЕСКИМИ УГЛЕВОДОРОДАМИ

А.П. Хаустов, М.М. Редина

Российский университет дружбы народов, Экологический факультет,
115093 Москва, Подольское ш., 8/5. E-mail: khaustov_ap@pfur.ru

Практически все отрасли горной промышленности являются источниками серьезнейших антропогенных воздействий на окружающую среду, а геологическая среда (ГС), включая подземную гидросферу, становится одной из основных «мишеней» таких воздействий. Загрязнения приходят как непосредственно при контакте с антропогенными объектами, так и за счет миграции поллютантов из сопредельных сред. Еще один источник – естественные процессы генерации углеводородов (УВ), включая пирогенный генезис и разложение органических веществ. Поэтому для горнопромышленных районов высока вероятность обнаружения полициклических ароматических углеводородов (ПАУ). Они присутствуют в геосредах, начиная от карьеров добычи песка (выбросы при работе техники) до объектов добыче и подготовки УВ.

Несмотря на крайне низкие концентрации (в водной среде концентрации могут иметь порядок первых нг/дм³), ПАУ важны в связи с их канцерогенными и мутагенными эффектами, а также возможностью их использования в качестве маркерных веществ для оценок УВ-загрязнений.

Маркерная роль ПАУ обязана ряду обстоятельств. Во-первых, для различных техногенных процессов выделены специфические ПАУ, преобладающие в эмиссиях предприятий. Присутствие в окружающей среде конкретного ПАУ может свидетельствовать о реализации определенной технологии и времени воздействия. Во-вторых, техногенные источники формируют определенные ассоциации ПАУ, отличные от ассоциаций природного происхождения. Выявив в контролируемых средах набор ПАУ, можно с определенной

уверенностью утверждать об их природном или техногенном происхождении [3]. Третий подход – оценка так называемых индикаторных соотношений ПАУ [1, 2, 4, 7, 12 и др.]. В этом случае рассматривают отношение «кинетических» (более реакционно-активных) и «термодинамических» (более стабильных) изомеров ПАУ. Получаемые значения соотносят с установленными ранее «критическими значениями» и делают вывод о той или иной природе (источнике) загрязнения либо о его «возрасте».

Важнейший методологический момент в изучении загрязнения сред ПАУ – их поведение (в том числе как маркеров) на геохимических барьерах различного генезиса (естественные, техногенные). Именно на барьерах создаются критические условия, позволяющие оценить реакцию различных изомеров ПАУ и их способность к ассоциативности [8]. Последнее свойство принципиально для оценок степени техногенеза в горнопромышленных районах и при выборе технологий реабилитации.

На практике контроль загрязнения геосред ПАУ осложнен рядом проблем как аналитического характера (сложности определения ПАУ в водной среде из-за их низкой растворимости и трудности экстракции), так и «административного». В России официально обязателен для контроля лишь бенз(а)пирен. Отметим, что это не самый информативный представитель ПАУ, хотя во многих исследованиях его поведение *распространяют на все семейство полиаренов* (их более 200). Считается, что это наиболее токсичный представитель ПАУ, но его активное определение при анализах геосред обязано истории изучения (эффект Шпольского) и наличию нормативов, часто научно недостаточно обоснованных.

В противоположность этому во многих странах активно используют рекомендации Агентства по охране окружающей среды США по контролю 16 приоритетных ПАУ. При этом подходе возможно решение многих важных практических задач (мониторинг компонентов ГС; установление источников загрязнения и путей миграции; построение прогнозных моделей; расчеты комплексобразования в средах при УВ-загрязнении, в том числе для супертоксикантов; создания систем защиты подземных вод и др.).

До настоящего времени имеются лишь отдельные работы, посвященные процессам миграции комплекса ПАУ в компонентах ГС. Так, можно привести пример моделирования загрязнения грунтов ПАУ [1], доказавшего их сорбцию на органических составляющих грунтов и вероятность естественного разложения при достижении зоны насыщения.

При анализе УВ-загрязнений в настоящее время для оценки качества грунтов чаще всего применяют нормативы концентраций ПАУ (или даже суммарных НП) в почвах; непосредственно для грунтов нормы не установлены. Важнейшее различие между почвами и грунтами – в активнейшем участии живого вещества в трансформации поступающих УВ-загрязнений, включая разложение ПАУ, что хорошо иллюстрируется расчетами баланса энтропии [5]. Грунты по сравнению с почвами – более слабый трансформант, но наличие всех форм органики и содержание влаги делает их активной средой по отношению к ПАУ даже в анаэробных условиях.

Очевидно, что при выработке нормативов загрязнения с учетом многокомпонентности почв и грунтов необходимо учитывать характеристики УВ, процессы их трансформации и деградации, свойства загрязняемой среды, перспективы загрязнения сопредельных сред, комплекс последствий для потенциальных объектов этих воздействий.

Принципиально важен учет возможности самовосстановления загрязняемых природных комплексов, т.е. ассимиляционного потенциала компонентов ГС, а также хозяйственный и экологический статусы территории. Чаще всего разработка и применение нормативов сталкиваются с отсутствием достоверных данных о роли трансформации УВ для почв, грунтов и, соответственно, мигрирующих вод как *единого взаимосвязанного комплекса ГС*. В пользу этих доводов приведем следующие положения.

Существующую систему экологического нормирования составляют преимущественно гигиенические нормативы, ориентированные на сохранение здоровья человека, либо на оценки и поддержание отдельных биологических видов. Альтернатива – подходы, основанные на *экосистемном нормировании*, с детальным учетом параметров функционирования природных комплексов в целом. При обосновании таких нормативов исходят из того, что каждая экосистема образована из взаимосвязанных элементов со специфическими реакциями на различные виды воздействий. Реакции оцениваются через ассимиляционный потенциал и структуризацию территории, через оценку частных характеристик (нормативов) элементов ландшафта с последующим свертыванием их в один или несколько обобщающих показателей. Но каждый природный комплекс уникален; создание экосистемных нормативов требует детального изучения основных параметров их функционирования (в том числе специфики реакции на УВ-загрязнение). Из-за трудоемкости работ экосистемные нормативы на практике не применяются или применяются крайне ограничено.

Согласно СП 11-102-97 «Инженерно-экологические изыскания для строительства» при загрязнении почвы одним или несколькими компонентами *органического происхождения* степень загрязнения определяется исходя из ПДК и класса опасности вещества. В нашем случае этот подход можно применить лишь для бенз(а)пирена.

В соответствии с «Порядком определения размеров ущерба от загрязнения земель химическими веществами» уровень загрязнения определяется по комплексу показателей. *Условно чистыми* считаются земли с содержанием загрязнителей не выше ПДК. Таким образом, из всего перечня ПАУ нормируется снова лишь бенз(а)пирен, который в редких случаях попадает в зону насыщения, что обусловлено его физико-химическими свойствами (прежде всего, слабой растворимостью в воде). Не менее интересный объект с точки зрения риска проникновения загрязнений с поверхности – более растворимые и химически активные представители группы ПАУ (например, нафталин или флуорен), однако они в отечественных нормативах практически не фигурируют.

Зарубежные подходы к нормированию загрязнения грунтов НП характеризуются значительным разнообразием. Наиболее детально они разработаны в Канаде, США и Голландии.

Так, в Канаде принципиальная особенность подхода к нормированию – *учет вида землепользования* (рассматриваются четыре варианта, определяющих пути попадания токсиканта в организм) [6]. Нормативы влияния на окружающую среду и здоровье человека различны; их можно условно назвать «санитарно-гигиеническими» и «экологическими». Минимальные концентрации, обеспечивающие защиту от каждого пути воздействия, приняты как *норматив качества почв с точки зрения охраны здоровья человека*. Наименьшие из значений «экологических» и «санитарно-гигиенических» нормативов назначаются *итоговыми нормативами качества почвы* для каждого вида землепользования. Также нормативы сопоставляют с фоновыми концентрациями. Нормативы действуют для глубин до 1.5 метров почвенного (грунтового) профиля. Более глубокие слои менее доступны для контакта с человеком, хотя и могут быть источником косвенного воздействия через газовую фазу и подземные воды.

В табл. 1 приведены сводные данные о критических концентрациях некоторых ПАУ в почвах и грунтах в России, Беларуси, США, Канаде, Австралии, Нидерландах [6, 9-11 и др.].

Таблица 1

**ПДК и критические концентрации ароматических соединений
в почвах и грунтах, мг/кг**

Вещество	Россия	Беларусь	США ¹	Канада ²	Австралия (экологический уровень)	Нидерланды ⁴
3,4-бенпирен	0,02	0,02	0,98/ 0,09	0,60-0,77	1	0,0005/ нет
Нафталин	нет	0,015 (ОДК)	1,8	0,014/ 0,017	5	0,01/нет
Сумма ПАУ	нет	1,0 (ОДК)	нет	20 ... 100 ⁽³⁾	нет	нет/40
Бензол	0,3	0,3	0,03	0,046/ 0,078	1	0,2/1,1
Толуол	0,3	0,3	12	0,52/ 0,12	3	7/32
Ксилол	0,3	0,3	5,6	15/ 28	5	0,2/17

¹ В числителе: нормативы для территорий внутри населенных мест, в знаменателе – за пределами [11].

² В числителе – нормативы для тонкозернистых почв, в знаменателе – для крупнозернистых [6].

³ Норматив для суммы ПАУ санитарно-гигиенический: от 20 до 100 мг/кг в зависимости от категории площадки.

⁴ В числителе – целевое значение для подземных вод, мкг/л; в знаменателе – уровень, требующий вмешательства, для почв, мг/л; концентрации в почвах – для «стандартных почв» (1% органического вещества и 25% глины) [10].

Значительные различия норм в табл. 1 вызваны как разнообразием природных условий, для которых создавались данные нормативы, так и различиями в системе методических подходов обоснования нормативов.

Анализ зарубежного опыта нормирования показал возможности применения некоторых подходов к нормированию и для России. Однако непосредственное копирование в данном случае недопустимо. Так, обоснованной критике подверглись разработанные для условий Санкт-Петербурга нормативы содержания ПАУ в донных отложениях, являющиеся «калькой» с нидерландских норм.

По нашему мнению, необходимо сформировать систему критериев и индексов, на основе которой возможно проводить комплексные оценки в системе «почвы – грунты – подземные воды» с учетом взаимодействия УВ и их миграционной проницаемости. При этом следует принимать во внимание различие свойств индивидуальных ПАУ; обобщение их как «сумма ПАУ» или ориентация на один лишь бенз(а)пирен не способны отразить реальную картину загрязнения. Однако в настоящее время чаще всего индивидуальные ПАУ не рассматриваются. Из ароматических УВ значения ПДК в России установлены для бензола, этилбензола, ксилола, толуола и нафталина, а также бенз(а)пирена. В случае контроля качества воды для НП действует СанПиН 2.1.4.1074.01, установивший допустимую концентрацию 0,1 мг/л суммарно. Однако при реабилитации территории такие показатели труднодостижимы, т.к. в лучшем случае извлекается до 50% НП, включая и ПАУ (преимущественно растворенных форм).

Поэтому для каждого природного объекта (бассейна и структуры) необходимы свои целевые показатели, позволяющие отслеживать состояние среды. Такой подход сложился в настоящее время в странах ЕС, где с 2000 г. действует Рамочная директива, регулирующая вопросы качества подземных вод и их контроля. Можно отметить, что аналогичные принципы применяются в России при управлении качеством водных ресурсов на основе бассейнового подхода – при разработке нормативов допустимого воздействия и создании схем комплексного использования и охраны водных объектов.

Литература

1. Галицкая И.В., Позднякова И.А. К проблеме загрязнения подземных вод и пород зоны аэрации нефтепродуктами и ПАУ на территории города Москвы // Геоэкология. Инженерная геология. Гидрогеология. Геокриология. – 2011. – №. 4. – С. 337-343.
2. Редина М.М., Хаустов А.П. Экологическая безопасность в нефтегазовом комплексе. – М.: РУДН, 2016. – 192 с.
3. Ровинский Ф.Я., Теплицкая Т.А., Алексеева Т.А. Фоновый мониторинг полициклических ароматических углеводородов. – Л.: Гидрометеиздат, 1988. – 226 с.
4. Хаустов А.П., Редина М.М. Индикаторные соотношения концентраций полициклических ароматических углеводородов для геоэкологических исследований природных и техногенных объектов // Геоэкология. Инженерная геология. Гидрогеология. Геокриология. – 2016. – № 3. – С. 220-223.

5. Хаустов А.П. Техногенная геохимическая зональность углеводородов как продукт биотрансформации // Известия вузов. Геология и разведка. – 2016. – № 1. – С. 106-110.
6. Canadian Council Ministers of the Environment. Canada-Wide Standard for Petroleum Hydrocarbons (PHC) in Soil: Scientific Rationale Supporting Technical Document January 2008 PN 1399. Canadian Council of Ministers of the Environment, 2008.
7. Khaustov A.P., Redina M.M. Identification of Sources of Environmental Pollution at the Sites of Production, Storage and Transportation of Oil Using the PAH Indicator Ratios/ SPE Annual Caspian Technical Conference and Exhibition, 12-14 November, Astana, Kazakhstan. Conference proceedings.
8. Khaustov A.P., Redina M.M. Transformation of Petroleum Products in the Geological Environment Accompanying Changes in Their Bitumen Status // Water Resources. – 2014. – Vol. 41. – № 7. – P. 854-864.
9. Neue Niederlandische Liste. Altlasten Spektrum 3/95.
10. Soil Remediation Circular 2009.
11. Summary of Maximum Allowable Concentrations of Chemical Constituents In Uncontaminated Soil Used as Fill Material At Regulated Fill Operations (35 Ill. Adm. Code 1100. Subpart F). – URL: <http://www.epa.state.il.us/land/ccdd/new-max-allowable-concentrations-table.pdf>. Проверено 10.10.2015.
12. Yunker M.B., Macdonald R.W., Vingarzan R. et al. PAHs in the Fraser River basin: a critical appraisal of PAH ratios as indicators of PAH source and composition // Organic Geochemistry. – 2002. – Vol. 33. – P. 489-515.

СОВРЕМЕННЫЕ ЗАДАЧИ КОМПЛЕКСНОГО МОНИТОРИНГА СОСТОЯНИЯ ГОРНТЕХНИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ

В.В. Ческидов

НИТУ «МИСиС», Москва, Ленинский пр-т, д. 6. E-mail: vcheskidov@yandex.ru

На сегодняшний день крупные горные предприятия – это уникальные природно-технические системы (ПТС), проектирование которых осуществляется преимущественно на основе теоретических заключений и расчетов. Во второй половине XX и начале XXI веков в добывающей отрасли были сформированы объекты с резко отличающимися характеристиками: подземные выработки глубиной более четырех километров, отвалы вскрышных пород высотой в сотни метров или отсыпанные на слабом основании, в том числе намывном. Подобная ситуация во многом обусловлена резким увеличением спроса на многие виды полезных ископаемых, истощением ресурсной базы в освоенных регионах, как например, на Урале, и как следствие усложнение горно-геологических условий разработки месторождений. Таким образом, прогноз поведения объектов современных горнопромышленных ПТС и самой системы в целом на стадии планирования и проектирования практически невозможен, что определяет значительные риски при освоении месторождений.

На стадии эксплуатации для безаварийного функционирования сложных горнопромышленных природно-технических систем и обеспечения про-

мышленной и экологической безопасности основным инструментом на сегодняшний день является мониторинг. В рамках которого осуществляется наблюдение за изменением состояния объектов в пространственно-временном отношении. При этом могут измеряться такие показатели как уровень техногенного водоносного горизонта в отвальном массиве или ограждающей дамбе для оценки их устойчивости, величина порового давления в основании сооружений и в теле гидроотвалов для определения степени уплотнения и оценки процесса консолидации, величины деформаций поверхности и т.д. [1].

Практически на всех современных горных предприятиях внедрены в той или иной степени системы мониторинга состояния горнотехнических сооружений; сюда можно отнести инженерно-геологические, геомеханические, маркшейдерские и гидрогеологические наблюдения за состоянием бортов карьеров и других откосных сооружений, оснований отвалов, изменением гидрогеологической обстановки в районе освоения месторождения полезных ископаемых. Для сбора информации с небольшой степенью временной изменчивости на отечественных горных предприятиях применяют методы с непосредственным участием человека (визуальные наблюдения, замеры высоты столба воды в наблюдательных скважинах, маркшейдерские съемки и т.д.). В случаях, когда характеристики объекта обладают высокой изменчивостью для получения значений характеристик в последние десятилетия применяют систем автоматизированного сбора данных (рис. 1). С их помощью определяют уровень деформаций откосных сооружений, положение депрессионной кривой, величину порового давления в глинистых породах и другие параметры.

Таким образом, модель сбора данных о состоянии ПТС включает два уровня: неавтоматизированный (объем информации относительно небольшой, но трудно представимый в виде цифровой модели) и автоматизированный (большой объем сведений, преимущественно числового характера). Кроме того, большой объем получаемой информации используется для решения частных задач без проведения прогноза и моделирования объектов и изменения их состояния во времени.

Проведенный анализ опыта добычи полезных ископаемых в странах Северной Америки (Канада, США), Австралии, Великобритании и др. показывает, что более эффективно использовать концепцию, при которой на этапе проектирования горнопромышленной ПТС строится ее детализированная модель, а на всех последующих этапах жизненного цикла происходит ее корректировка и уточнение на основе результатов мониторинга. Такого рода подход обеспечивает получение типовых моделей и их дальнейшее применение для объектов аналогов [2-6].

Кроме того, необходимо отметить, что оценки состояния объектов на большинстве отечественных добывающих предприятиях и уровень безопасности их функционирования оценивается через расчетные параметры, при этом их определение ведется независимо и часто без учета корреляционных связей, что приводит к недостоверным, часто завышенным или заниженным оценкам.

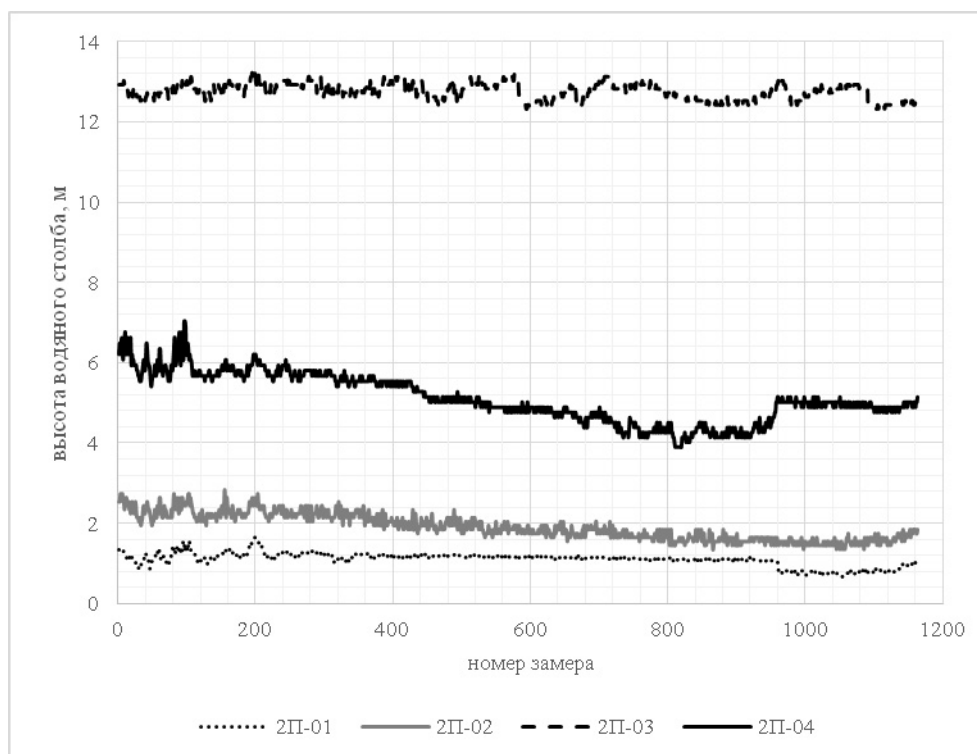


Рис. 1. Динамика изменения уровня столба воды в скважинах контрольного автоматизированного профиля 2П плотины защиты отвалов хвостохранилища с 1 января по 17 октября 2016 г.

На основе анализа действующей нормативно-правовой базы, отечественного и зарубежного опыта проведения мониторинга в добывающей и строительной отраслях, а также структуры предприятий и принципов проектирования информационных систем была разработана схема сбора, анализа и обработки данных о состоянии горнопромышленной природно-технической системы (рис. 2).

Использование представленной системы дает возможность осуществлять на предприятии контроль выполнения всего комплекса современных требований безопасности. Блок «Анализ выполнения критериев нормативно-правовой базы» дает возможность подразделениям предприятия получать отчеты с заданной частотой о состоянии ПТС и о необходимости проведения очередного инструктажа сотрудника, повышения его квалификации, тарировочных испытаний оборудования и других показателей, что в свою очередь способствует минимизации нарушений и повышению качества эксплуатации горнопромышленных природно-технических систем.

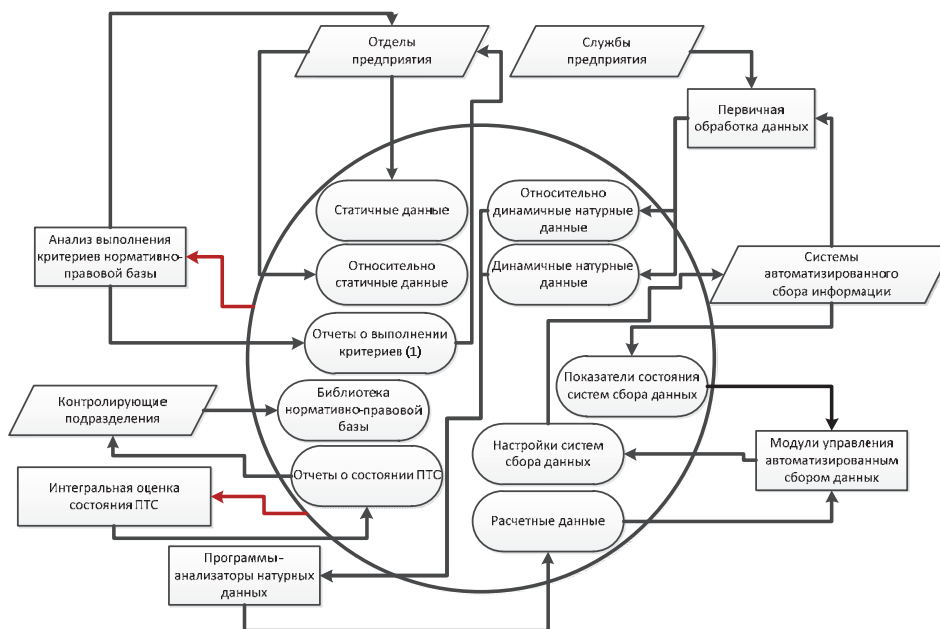


Рис. 2. Схема сбора, анализа и обработки информации системы комплексного мониторинга состояния ПТС

Общая оценка качества выполнения требований безопасности на предприятии осуществляется с помощью блока «Интегральная оценка состояния ПТС», полученные при этом результаты определяют вероятность нештатной ситуации на горном предприятии на основе теории рисков. С этой целью по качественным и количественным показателям устанавливаются пороговые значения нескольких уровней, по достижению которых происходит изменение интегральной оценки состояния природно-техногенного объекта.

Проектирование и развертывание современных систем мониторинга состояния горнотехнических сооружений должны основываться на двух главных принципах: комплексность получения информации об объектах и использование возможностей современного математического, геостатистического и других видов моделирования для прогнозирования изменения состояния элементов горнопромышленных природно-технических систем в пространственно-временном отношении.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 16-35-60116 мол_а_дк «Разработка комплексной системы контроля безопасности эксплуатации горнотехнических сооружений».

Литература

1. Гальперин А.М., Кириченко Ю.В., Кутепов Ю.И. Комплексный подход к экологически безопасному освоению техногенных массивов // Горная промышленность. – 2011. – № 5 (99). – С. 22-23.
2. Киянец А.В., Филенко А.А., Гасанов Ф.М. Магнитометрический мониторинг глубинных деформаций бортов карьера в рыхлых отложениях ОАО «Михайловский ГОК» // Черная металлургия. – 2016. – № 1 (1393). – С. 21-25.
3. Родионова И.А., Литина С.А., Журавель В.П., Пушкарев В.А. Обеспечение экологической безопасности: государственное управление арктическим регионом // Современные проблемы науки и образования. – 2015. – № 1-1. – С. 624.
4. Сергина Е.В. Геолого-маркшейдерский мониторинг при реформировании гидротехнического сооружения (ГТС) в природно-техническую систему (ПТС) // Маркшейдерия и недропользование. – 2013. – № 6 (68). – С. 49-52.
5. Ческидов В.В. Инженерно-геологическое обеспечение управления состоянием массивов горных пород на оползнеопасных территориях // Горная промышленность. – 2015. – № 1 (119). – С. 84.
6. Ческидов В.В., Коликов К.С., Маневич А.И. Мониторинг состояния откосных сооружений и оснований на горнодобывающих предприятиях // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2015. – № S1-1. – С. 124-137.
7. Gurung N., Haneberg W.C., Ramana G.V., Datta M. Engineering geology and stability of the laprak landslide, gorkha district, western Nepal // Environmental and Engineering Geoscience. – 2011. – Vol. 17. – P. 23-38. – ISSN: 10787275 DOI: 10.2113/gseegeosci.17.1.23.

6. ГИДРОГЕОЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ В РАЙОНАХ РАЗРАБОТКИ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

ГИДРОГЕОЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ ГОРНОРУДНОГО КОМПЛЕКСА ЮЖНОГО УРАЛА

Р.Ф. Абдрахманов, В.Г. Попов, Р.М. Ахметов

Институт геологии Уфимского научного центра Российской академии наук,
450077 г. Уфа, ул. К. Маркса, 16/2. E-mail: hydro@ufaras.ru

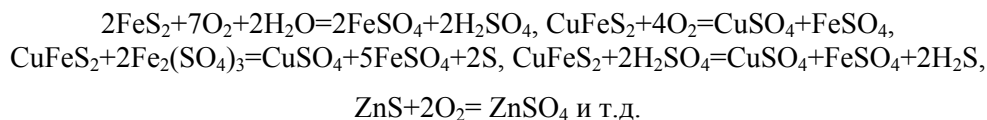
Южный Урал – один из основных поставщиков медных и цинковых концентратов металлургическим заводам России. Доля региона в общероссийской добыче меди в концентратах составляет 12–15%, цинка – 49%; в общеуральской – меди 35% и цинка 69%. Юбилейное, Подольское, Сибайское, Учалинское, Новоучалинское и Гайское месторождения относятся к числу крупнейших на Урале. Объем рудничных и подотвальных вод на них достигает 9 млн. м³/год. Минерализация (М) вод от 3 до 40, иногда до 365 г/л при сульфатном, хлоридно-сульфатном кальциево-магниевом, магниевом-натриевом, магниевом-кальциевом составе. Концентрации микроэлементов превышают фоновые для этого региона значения: Cu, Zn на 1–4, As и Cd на 1–3, Li и Be на 1–2 порядка.

На восточном склоне Южного Урала, в тектоническом отношении отвечающем Магнитогорскому мегасинклинию, развиты скопления вод двух классов: трещинно-грунтового – в зоне выветривания (60–80 м) и трещинно-жильного – в зонах разломов. Помимо интрузивных и метаморфических гидрогеологических массивов, соответствующих выходам на поверхность кислых (граниты, гранито-гнейсы), средних (диориты, андезиты, порфириты), основных (базальты, диабазы) и ультраосновных (перидотиты, пироксениты, серпентиниты) пород, широкое развитие получили адартезианские бассейны, сложенные вулканогенно-осадочными толщами силура, девона и карбона. В естественных условиях воды вулканогенных и вулканогенно-осадочных толщ палеозоя обычно пяти- и шестикомпонентные: SO₄-Cl-Mg-Ca-Na, HCO₃-SO₄-Cl-Ca-Mg-Na и др. В подобной литолого-гидрогеохимической ситуации сложен и солевой состав вод, представленный практически всеми солевыми ассоциациями [2]. Но главную роль среди них все же играют NaCl, Ca(HCO₃)₂ и MgSO₄, а подчиненную – CaSO₄, Na₂SO₄, Mg(HCO₃)₂, MgCl₂.

Формирование химического состава вод магматических и вулканогенно-осадочных образований палеозоя Южного Урала происходит главным образом под влиянием гидролиза (углекислотного выщелачивания) алюмосиликатных и силикатных минералов, в его южной засушливой части при участии процессов континентального засоления. В результате обмена ионов H^+ , источником которого служит диссоциация угольной кислоты и частично самой воды, на ионы металлов в кристаллической решетке силикатов в зависимости от геохимической специализации минералов (альбит, анортит, микроклин, оливин и др.), литологии и генезиса пород формируются гидрокарбонатные воды различного катионного состава.

При кратковременном взаимодействии инфильтрационных вод с труднорастворимыми полиминеральными алюмосиликатными и силикатными породами литолого-гидрогеохимического равновесия не достигается, в результате чего образуются воды с низкой M , обычно смешанного катионного состава. В такой ситуации вода покидает горную породу в сильно ненасыщенном химическими соединениями состоянии. Не способствуют установлению равновесия низкие концентрации в водах CO_2 и генетически связанного с ней иона H^+ , трещинный тип коллекторов, определяющий небольшую площадь контакта твердой и жидкой фаз, а также наличие на поверхности минералов защитной пленки, состоящей из окислов кремния, алюминия и железа. Поэтому металлу (Na , Ca , K , Mg) для выхода в раствор нужно быть вытесненным ионом H^+ из кристаллической решетки минерала и затем преодолеть не только первичную субстанцию – собственно минеральную часть породы, но и вторичное новообразование – защитную «рубашку» [5].

Рудные месторождения – мощный фактор изменения геохимического облика подземных вод. Рудные массы термодинамически неустойчивы в зоне гипергенеза и, стремясь к равновесию с новой средой, так изменяют свой химический состав, что значительная часть их компонентов переходит в жидкую фазу многокомпонентной гетерогенной системы «вода – порода – газ – ОВ». Одной из форм миграции токсикантов из техногенно-минеральных образований являются гидрогенные потоки в виде жидких производственных отходов (карьерные, шахтные и подотвальные воды, жидкая фаза материала хвостохранилищ). Гипергенные изменения минералов месторождений колчеданной формации приводят к переводу труднорастворимых сульфидов (пирит, халькопирит, сфалерит и др.) в хорошо растворимые сульфаты [3]:

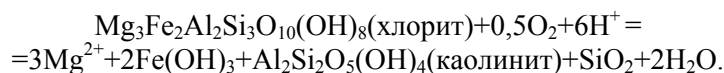


Образующаяся при этом H_2SO_4 в известных литолого-гидрогеохимических ситуациях нейтрализуется карбонатным веществом, в результате чего образуются SO_4 - Ca и SO_4 - Mg - Ca воды с M до 8-12 г/л (Учалинское, Сибайское, Бурибаевское и другие месторождения):



При взаимодействии с кислородсодержащими водами в результате реакций окисления и гидролиза $\text{Fe}^{2+} + 3\text{H}_2\text{O} = \text{Fe}(\text{OH})_3 + 3\text{H}^+ + \bar{e}$ двухвалентное железо переходит в трехвалентное состояние. Такие гипергенные трансформации рудной массы представляют гидрогеохимическое следствие увеличения концентрации ионов SO_4^{2-} и Fe^{3+} (рис. 1), которые являются Eh-pH-задающими системами. Здесь Fe – главный типоморфный Eh-pH-управляющий компонент, действие которого не сдерживается другими Eh-pH-задающими веществами (OH^- , CO_3^{2-} , HCO_3^- , HSiO_4^- и др.) [3].

Окислительные трансформации сопровождаются переходом в дренажные воды горных выработок и в фильтраты твердых отходов значительных количеств иона H^+ , что вызывает резкое снижение pH и увеличение величины Eh (до +800 мВ) этих вод. Формируются очень кислые воды типа IV по [6], в которых концентрация $\text{HCO}_3^- = 0$. При непрерывной генерации H_2SO_4 , H_2S , $\text{S}_2\text{O}_8^{2-}$, S^0 , SO_3^{2-} , поступлении в воды атмосферного O_2 и понижении pH возникают условия, благоприятные для окисления. Кислые рудничные и подотвальные воды активно растворяют вмещающие породы, например:



H_2S , наряду с иными формами серы, – источник энергии для ряда специфических бактерий (*Thiobacillus*), которые еще больше понижают pH и влияют на подвижность гидролизатов [7]. В результате в зоне влияния горных выработок и техногенных образований формируются обширные гидрогеохимические поля аномально кислых сульфатных вод, характеризующихся высокой концентрацией тяжелых металлов и других элементов, среди которых можно выделить две группы. Первую составляют халькофильные элементы самих окисляющихся сульфидов: Fe, Cu, Zn, Pb, Cd, Co, Ni, As, Mo, Se, Te. Ко второй группе относятся элементы, переходящие в агрессивные кислые воды из вмещающих пород: Al, Be, Si, Sc, Ga, Nb, Li, Cs и др.

Среди элементов, присутствующих в сточных водах горных предприятий, экологически наиболее опасны не сами типоморфные элементы месторождений (Cu, Zn, Pb), а микроэлементы-спутники, такие как Cd, Hg, As, Sb, имеющие минимальные ПДК в питьевой воде. Эти элементы опасны еще и в том, что большая их часть подвержена процессам метилирования с образованием различных форм $\text{Cd}(\text{CH}_3)^+$, $\text{Hg}(\text{CH}_3)^+$, $\text{As}(\text{CH}_3)_3$, токсичность которых много выше, чем у простых катионных форм.

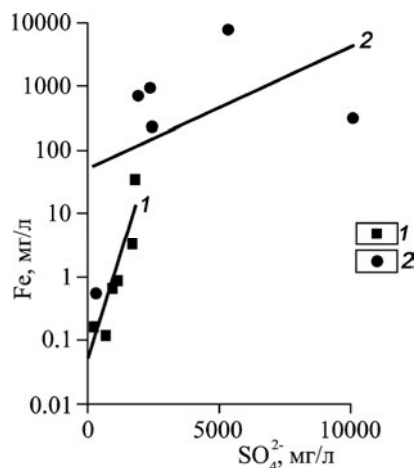


Рис. 1. Связь сульфат-иона и железа в рудничных стоках (1) и подотвальных водах (2)

Рудничный (карьерный и шахтный) водоприток образуется при дренаже горизонтов, вскрытых горными выработками. В пределах Сибайского месторождения развиты преимущественно $\text{HCO}_3\text{-Ca}$ и $\text{HCO}_3\text{-Na}$ воды с M 0,26–0,95 г/л и pH 6,8–7,7. Концентрации микрокомпонентов в водах близки к фоновым (мг/л): Cu 0,5–1,0, Zn 1,3–11,0, Pb 0,1–0,2, Mn 0,4, Hg 0,01. В зоне геохимического влияния месторождения в результате смешения подземных и рудничных вод образуются природно-техногенные растворы $\text{HCO}_3\text{-SO}_4$, $\text{SO}_4\text{-Mg-Na-Ca}$, Mg-Ca состава с высоким содержанием микрокомпонентов (мг/л): Fe до 45, Cu 0,002–0,6, Zn 0,03–2,0 и др. В зонах, примыкающих к рудным телам, формируются $\text{SO}_4\text{-Ca}$ воды с M 0,66–1,5 г/л, pH 6,7–7,6, содержащие широкий спектр микрокомпонентов (мг/л): Fe (1,5–160), Cu (0,007–1,75), Zn (0,04–62,5), Mo до 0,003 и др. Карьерные воды Сибайского месторождения образуются в объеме 9120 м³/сут и характеризуются следующими параметрами (мг/л): M до 3216, Cu (0,067), Zn (8,68), Cd (0,007), Fe (3,6), Mn (5,94), Cr (0,07), Sr (2,6). Шахтные воды здесь имеют следующие показатели (мг/л): Fe (0,12), Cu (13,36), Pb (1,12), Cr (0,6), Hg (0,02), NO_3^{2-} (6,06). Для карьерных вод pH составляет 5,9, шахтных – 7,21 [1].

В районе месторождения Куль-Юрт-Тау развиты $\text{Cl-HCO}_3\text{-Na}$ (Na-Ca) воды с M 0,1–0,53 г/л, pH 6,5–7,1, концентрациями $\text{Fe} < 1,0$, $\text{Cu} < 0,007$, $\text{Zn} < 0,05$ мг/л. С приближением к рудной серноколчеданной залежи состав вод постепенно изменяется от $\text{HCO}_3\text{-SO}_4\text{-Mg-Ca}$ до типично $\text{SO}_4\text{-Na-Mg-Ca}$ кислого с M до 2,5 г/л. Одновременно pH снижается до 4–2. В $\text{SO}_4\text{-Na-Mg}$ водах содержатся (мг/л): Fe^{2+} (2,5–564), Cu (0,1–1,0), Zn (0,1–0,4), Mo до (2,0). Как примеси в них присутствуют Au , Bi , Pb , Cr , Ti , V , Mn , Sr и др. Карьерные («озерные») воды месторождения характеризуются $\text{SO}_4\text{-Ca-Fe}$ составом. На удалении 100–150 м от отвалов M подземных вод достигает 25 г/л. В них содержится (мг/л): Cu до 6,9 (0,02), Zn до 5,9 (0,014), Pb до 0,05 (0,01), Co – 3,8, Ni – 1,3 (0,012), Mn – 47,5 (0,65), Mo – 0,01 (0,004), Sr – 0,9 (0,9), Cd – 0,05 (0,0002), Be – 0,03 (0,00009), Y – 0,4, Ce – 1,8, Tl – 0,0004, Th – 0,1, U – 0,5 (в скобках приведены средние концентрации микроэлементов в водах зоны выветривания).

Характерной особенностью горнорудного комплекса является глубокое проникновение техногенных процессов в геологическую среду (до 500 м). Наиболее интенсивно техногенез протекает на территориях, где производится промышленное освоение целой группы близко расположенных друг к другу месторождений полезных ископаемых (Баймакский, Учалинский и другие рудные районы). Это приводит к формированию в горнорудных районах специфического сернокислого ландшафта с гидрогеохимическими полями техногенно трансформированных вод [4].

Техногенная деградация подземной гидросферы районов функционирования горнорудных производств Южного Урала продолжается длительное время и характеризуется накоплением громадных объемов твердых отходов (свыше 1 млрд. т). Трещинный и трещинно-жильный характер подземных вод, слабое развитие перекрывающих пород способствуют проникновению высококонцентрированных горнорудных сточных вод, содержащих токсич-

ные элементы-загрязнители, в водоносные горизонты. На Бурибайском, Сибайском, Учалинском и других сульфидных месторождениях формируются очень кислые (рН 2–5) сульфатные воды с М до 20 г/л и высокими концентрациями Fe (до 564 мг/л), Cu (до 140 мг/л), Zn (до 200 мг/л) и других металлов. Наиболее геохимически активными являются подотвальные воды, их М достигает 365 г/л (Сибайское месторождение). Состав SO_4 -Mg-Ca, содержание металлов достигает (г/л) Fe_{общ} 29,4; Al – 14,2; Zn – 12,2; Cu – 3,6; Mn – 0,4; Cd – 0,4; Co – 0,2 и др. Все эти стоки являются причиной глубокой геохимической трансформации подземных вод.

Важно указать, что техногенно-минеральные образования и жидкие стоки колчеданных месторождений Южного Урала в перспективе могут стать источником вторичного минерального сырья. Подотвальные и рудничные воды представляют собой минеральные ресурсы, которые по уровню концентраций главных элементов приближаются к рудам. Правительством РФ (Пр-1640 от 06.06.2010 г.) принято решение: «представить предложения по подготовке долгосрочных целевых инвестиционных программ обращения с твердыми бытовыми и промышленными отходами, по реализации пилотных проектов переработки отходов...». Нашими исследованиями в Южноуральском регионе оценены ориентировочные концентрации металлов в рудничном водосбросе [1]. Эти исследования показали, что рудничными водами только Сибайского месторождения выносятся (кг/год): Cu $n \times 10^5$, Zn $n \times 10^5$, Fe $n \times 10^5$, Pb $n \times 10^4$. Переработка техногенных минеральных образований и горнорудных стоков позволит улучшить экологическую обстановку региона, уменьшить нагрузку на природную среду.

Литература

1. *Абдрахманов Р.Ф., Ахметов Р.М.* Гидрогеохимия горнорудных районов // Геохимия. – 2016. – № 9. – С. 829-840.
2. *Абдрахманов Р.Ф., Попов В.Г.* Геохимия и формирование подземных вод Южного Урала. – Уфа: Гилем, 2010. – 420 с.
3. *Крайнов С.Р., Рыженко Б.Н., Швец В.М.* Геохимия подземных вод. Теоретические, прикладные и экологические аспекты. – М.: Наука, 2004. – 677 с.
4. *Перельман А.И.* Геохимия ландшафта. – М.: Географгиз, 1961. – 496 с.
5. *Попов В.Г., Абдрахманов Р.Ф.* Ионообменная концепция в генетической гидрогеохимии. – Уфа: Гилем, 2013. – 356 с.
6. *Посохов Е.В.* Общая гидрогеохимия. – Л.: Недра, 1975. – 208 с.
7. *Табаксблат Л.С.* Состав и металлоносность рудничных вод медно-колчеданных месторождений при высокой техногенной нагрузке // Гидрохимические материалы. – 1994. – Т. 111. – С. 31-38.

ВЛИЯНИЕ СУФФОЗИОННЫХ ПРОЦЕССОВ НА СОСТОЯНИЕ ВОДОПОНИЖАЮЩИХ СКВАЖИН ПРИ ОТРАБОТКЕ МЕСТОРОЖДЕНИЯ ИМ. М.В. ЛОМОНОСОВА

Ф.Г. Атрощенко

ООО «Геостройпроект», 199106, Санкт-Петербург, 22 линия, д. 3, к. 4, лит. Г.
E-mail: fatroschenko@mail.ru

В процессе обследования состояния водопонижающих скважин (ВПС) строящегося дренажного контура для карьеров южной группы трубок Архангельской и им. Карпинского-1 месторождения им. М.В. Ломоносова было отмечено, что часть фильтровых колонн этих скважин оказались заполненными мелкозернистым песком мощностью до 6 м. Однако ряд скважин оказались заполненными гравийной обсыпкой. К примеру, в ВПС28 при ее обследовании столб гравийной обсыпки оказался равным 81 м, а в ВПС36 и 32 фильтровые колонны заполнились материалом обсыпки мощностью 53,7 и 87,5 м, соответственно, при очистке забоя. При попытке повторной чистки фильтровой колонны ВПС32 на поверхности скважины произошло проседание почвы диаметром 5,5 м и высотой в центре 0,4 м. С целью перекрытия несвязных грунтов перекрывающих образований, залегающих по линии расположения дренажного контура, была произведена забивка трубы вибратором вокруг ВПС32 до глубины 24,5 м. В результате произошло самопроизвольное опускание грунта, залегающего между стенками забивной трубы и фильтровой колонной, на глубину 12 м.

Анализ приведенных данных с учетом геолого-гидрогеологических условий, сложившихся на месторождении, однозначно показал, что основной причиной возникновения аварийных ситуаций на ВПС дренажного контура явились суффозионные процессы, вызвавшие в осушаемом падунском комплексе в прифильтровых зонах образование свободных полостей.

На практике, по данным ряда исследователей [1, 3, 4], проникновение песчано-глинистых частиц в скважину обусловлено воздействием фильтрационного потока на осушаемый горизонт, в процессе которого происходит изменение его структуры за счет удаления отдельных частиц из околоскважинной зоны. При низких скоростях фильтрации силы сцепления между частицами превосходят силы гидродинамического давления, и суффозии не наблюдается. С увеличением скоростей фильтрации силы гидродинамического давления разрушают структурные связи между частицами. Скорости, при которых начинается разрушение структурных связей и начинается суффозия, называют критическими. В реальных условиях на суффозионные процессы влияют не только скорости фильтрации, размер частиц и коэффициент трения породы, но и степень неоднородности частиц, кольматация пласта при вскрытии, характер освоения скважины и другие многочисленные факторы. При этом отмечается, что абсолютная скорость после установившегося ре-

жима фильтрации особенно для малых скоростей, слабо влияет на вынос частиц. К резкой интенсификации выноса песчано-глинистых частиц приводит изменение скорости фильтрации, как в сторону увеличения, так и в сторону уменьшения, т.е. вынос частиц существенно возрастает при дестабилизации режима фильтрации. Отметим, что в первые годы строительства скважин дренажного контура количество аварийных остановок ВПС из-за отключений и переключений дизельных генераторов достигало 15 раз в течение одного календарного месяца [5]. В результате каждая остановка насоса, действующая как гидравлический удар в прискважинной зоне, приводила при возобновлении его работы к резкому возрастанию содержания взвешенных частиц в откачиваемой воде, повышая тем самым более частый выход насосов из строя. В частности, как утверждается в работе [2], в начальный момент откачки при резком снижении уровня в ее стволе возникает значительная депрессия на пласт, т.е. в начальный момент включения насоса в прифильтровых интервалах возникает разрыв потока, создается вакуум, способствующий подсосыванию в интервал основного потока песчано-глинистых частиц, заполняющих скважину.

Динамика развития суффозии в пластах, сложенных чередующимися слоями песков (слабыми песчаниками) и глинистыми породами, представлена на рис. 1, а развитие суффозионного процесса при резких перепадах давления показано на рис. 2 [1-3].

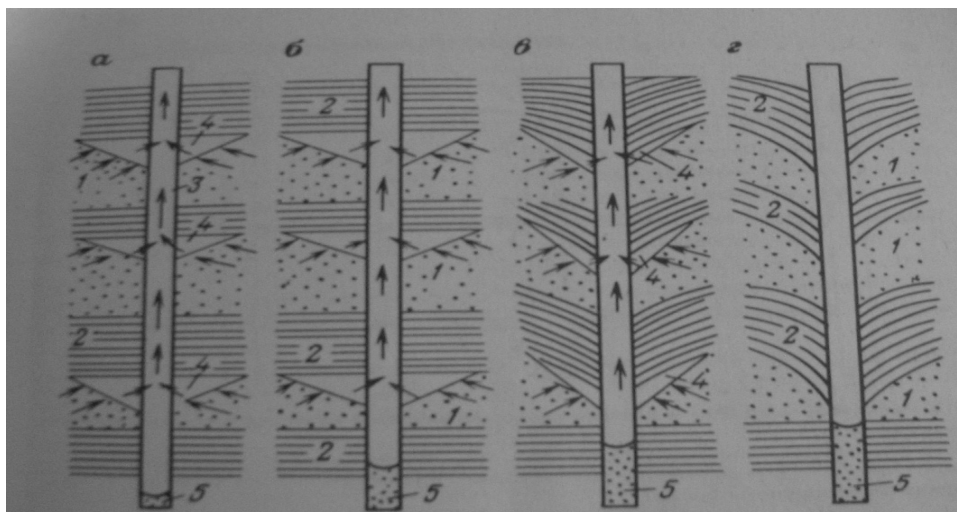


Рис. 1. Развитие суффозии в песчано-глинистых пластах [2]:

a – освоение скважины и образование воронок; *б* – развитие воронок;
в – обрушение воронок; *г* – возможное экранирование фильтрующего интервала;
 1 – песок; 2 – глинистая порода; 3 – скважина; 4 – каверна; 5 – песчаная пробка

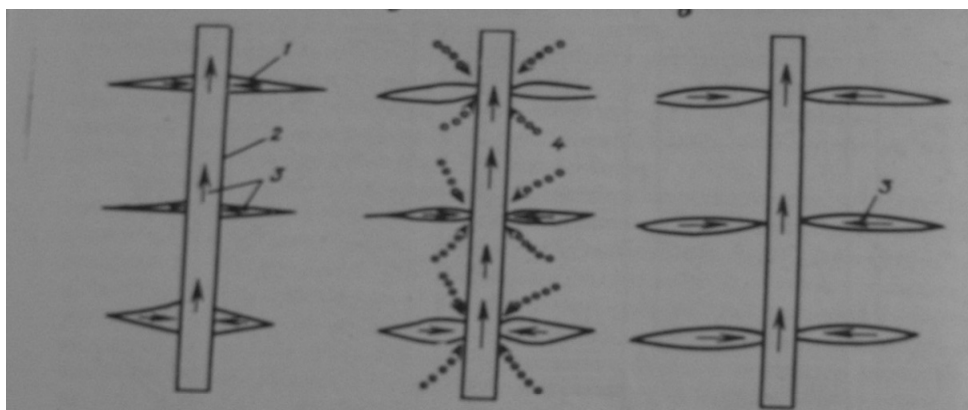


Рис. 2. Развитие суффозии в относительно устойчивых породах при резких перепадах давлений по [1-3]:

1 – трещины или пропластки с повышенной проницаемостью; 2 – скважина;
3 – направление потока воды; 4 – направление перемещения породы

В сложившихся геолого-гидрогеологических условиях на месторождении суффозионный процесс идет за счет выноса глинистого заполнителя горизонтальных и вертикальных трещин, развитых во вмещающих породах падунской свиты, с постепенным расширением этих трещин за счет выщелачивания глинистых и мелкозернистых частиц песка. Отметим, что размер фракций песчано-глинистых частиц осадка во всех обследованных ВПС находился в пределах 0,01-0,05 мм [5], что меньше диаметра пор в созданном слое гравийной обсыпки при принятой конструкции фильтров. В этой связи материал обсыпки, представленный гравием фракцией 2 мм, мог попасть в фильтровые колонны ВПС только в случае нарушения целостности проволочной обвивки фильтра или самой колонны.

Механизм нарушения целостности фильтровой колонны представляется следующим:

1) исходя из геолого-гидрогеологических условий, литологического состава вмещающих и перекрывающих отложений, пустоты образовались по всей длине фильтровой колонны.

2) в моменты включения насосов с высокой производительностью (до 120 м³/час) в пласте создавался резкий перепад давления, вызывающий вакуум, при котором и шло значительное по объему всасывание песчано-глинистого материала в ствол скважины, т.е. происходило увеличение объема каверн и их постепенное объединение;

3) в некоторый момент при образовании относительно большого объема взаимосвязанных пустот под действием всасывающего давления и вибрации фильтровой колонны, вызываемой при пусках насоса, пустоты начинают заполняться гравийной обсыпкой с параллельно происходящими вывалами

обводненных несвязных пород перекрывающих отложений в освобожденном от обсыпки пространстве;

4) под действием силы удара вывала и всасывающего давления вызывалось ускоренное падение столба обсыпки вглубь горизонта, которое на своем пути могло срывать проволочную обшивку первого фильтрового интервала, а также привести к смятию стенки фильтровой колонны с образованием вертикальной трещины или к смещению обсадных труб на плохо сваренных стыках.

Для оценки влияния техногенных процессов на вынос песчано-глинистых частиц и понимания физической сути процесса обрушения грунта в перекрывающих образованиях с возможным нарушением целостности фильтровых колонн были проанализированы выявленные случаи образования проседания грунта вокруг устья ВПС 32 и данных обследования ВПС34 и 38. Так, объем пустот в падунском комплексе в околоскважинном пространстве ВПС32 с учетом провала грунта в межтрубье составил $7,5 \text{ м}^3$. Однако этот расчетный объем пустот является заниженным, так как не все пустоты могли оказаться заполненными обсыпкой, из-за того, что произошло нарушение целостности фильтровой колонны и обсыпке стало энергетически выгоднее проникать в пустой ствол скважины, о чем свидетельствуют данные обследования ВПС34 и 38, более полно характеризующие физическую суть процесса обрушения грунта в перекрывающих образованиях и возможного нарушения целостности фильтровых колонн. В частности, в ВПС38 за счет повышенной концентрации взвесей в откачиваемой воде, расчетный объем пустот в при-скважинной зоне составил почти 12 м^3 . Расчетные данные подтверждены тем, что объем дополнительной обсыпки составил 8 м^3 . Но ни провала возле устья скважины, ни нарушения фильтровой колонны здесь не произошло. Данное обстоятельство связано с тем, что обсадная труба, изолирующая перекрывающие отложения, после окончания бурения скважины не была извлечена. По этой причине, опускание столба обсыпки в нижние слои падунского комплекса по объединенным пустотам шло постепенно по мере увеличения объема полостей без его ускоренного падения, как это произошло в ВПС28, 32 и 36.

В ВПС34, в которой обсадная труба, перекрывающая обводненные слабосвязанные грунты перекрывающих пород, также не была извлечена, выявлено, что гравийная обсыпка при заполнении пустот, образовавшихся в падунском комплексе, опустилась на глубину до 53 м. При этом опускание обсыпки вглубь горизонта происходило поэтапно (таблица 1). Анализ табличных данных показывает, что первоначально в пласте образуется сеть разнокалиберных пустот, соединяющихся через узкие ходы, и даже перекрытых тонкими перемычками. При увеличении объемов пустот (расширении узких ходов между пустотами и уменьшении толщины перемычек) с момента превышения сил давления, создаваемого столбом обсыпки, над силами трения, происходит продавливание гравия вглубь разреза. Опускание обсыпки идет до тех пор, пока силы трения не сравняются с давлением веса столба обсыпки над первой каверной. В промежутках между формированием дополнитель-

ных объемов пустот в обводненном массиве падунского комплекса и очередным этапом опускания обсыпки на новую глубину, на поверхности гравия создавалась перемычка из песчано-глинистого материала, вымывающегося из перекрывающих пород. Сопоставление разреза по скважине, пробуренной в 45 м от ВПС34, с этапами формирования пустот и песчано-глинистых перемычек, показывает, что мощность перемычки оказалась в прямой зависимости от мощности глинистых песков в интервале глубины, на которую опускался гравий.

По аналогии с ВПС34 можно предположить, что в грунтах, прилегающих к фильтровым колоннам водопонижительных скважин 28, 32 и 36 также есть пустоты объемом не менее 10-15 м³. В районе прискважинных зон ВПС16, 19, 21, 26 и 30 объем образовавшихся пустот, скорее всего, колеблется в пределах 4-10 м³, однако провалов вокруг устьев указанных скважин при их чистке не наблюдалось, что свидетельствует о наличии здесь более крепких и плотных пород разреза и об образовании в них не большого объема пустот, не связанных в единое пространство.

Таким образом, в скважинах, в которых обсадная труба, перекрывающая обводненные слабосвязанные грунты перекрывающих пород, была извлечена, то в некоторый момент, когда в околоскважинном пространстве за время эксплуатации скважины образовались взаимосвязанные пустоты объемом 10-15 м³, в момент включения насоса с высокой производительностью, с высокой вероятностью может происходить ускоренное падение столба обсыпки вглубь осушаемого пласта под воздействием создаваемого в нем вакуума и падения вывала слабосвязанных пород на кровлю обсыпки, которая к этому времени опустилась на глубину 20-30 м. Именно в процессе ускоренного падения столба обсыпки вдоль фильтровых колонн ВПС28, 32 и 36 произошло не только смещение проволоочной обвивки фильтра, но возможно и смятие фильтровой колонны с образованием вертикальной трещины.

Таблица 1

Этапы опускания обсыпки в районе ВПС 34

№ п/п	Интервалы глубин, освобожденные при опускании обсыпки, м	Объем пустот, м
1	0,0-2,6	Висячий слой
2	2,6-16,5	4,32
3	16,8-20,0	0,89
4	20,3-28,0	2,05
5	28,4-41,0	4,18
6	44,0-50,0	1,78
7	50,5-53,0	0,68

Примечание. Уровень грунтовых вод на момент запуска ВПС34 в эксплуатацию находился на глубине порядка 14 м.

Литература

1. *Баикатов А.Д.* Предупреждение пескования скважин. – М.: Недра 1991. – С. 177.
2. *Баикатов А.Д., Касаткин Д.В.* Предупреждение пескования скважин // Специальные строительные работы. Вып. 12. – М.: ЦБНТИ, 1988. – С. 12-38.
3. *Баикатов А.Д. и др.* Сооружение гравийных фильтров за рубежом // Техника и технология геологоразведочных работ; организация производства. – М.: ВИЭМС, 1985. – С. 4-12.
4. *Гаврилко В.Н., Алексеев В.С.* Фильтры буровых скважин. – М.: Недра, 1985. – С. 135.
5. *Давыдов А.С., Костылев А.А., Шкиль И.Э.* Технические аспекты сооружения и эксплуатации системы осушения при отработке месторождения алмазов им. М.В. Ломоносова // Горный журнал. – 2012. – № 5. – С. 29-34.

ЗАКОНОМЕРНОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ГИДРОДИНАМИЧЕСКОГО И ГИДРОХИМИЧЕСКОГО РЕЖИМОВ ПОДЗЕМНЫХ ВОД В Г. СЛАНЦЫ В СВЯЗИ С ЗАТОПЛЕНИЕМ ШАХТ

Г.И. Батрак

Институт геоэкологии им. Е.М. Сергеева РАН, Уланский пер. 13, стр. 2, 101000, г. Москва.
E-mail: gib74@mail.ru

Ленинградское месторождение горючих сланцев расположено на восточном крыле Прибалтийского сланцевого бассейна. Горючие сланцы залегают на глубине от 50 до 110 м и приурочены к нижней части кукерского горизонта среднего ордовика. Старейшей на месторождении является шахта им. С.М. Кирова, заложенная в 1930-х гг.; отработанная площадь на поле шахты – 17,8 км². В 1934 г была заложена шахта № 1, отработанная площадь – 23,8 км², в 1939 – шахта № 2, отработанная площадь шахты – 25 км². В 1953 г. началась работа шахты № 3 с площадью к моменту ликвидации – 21,3 км². Добыча сланца в районе велась более 70 лет. За это время в недрах сформировалось огромное техногенное пространство – около 150 млн. м³. В ходе идущего сейчас затопления выработанного пространства происходит размывание и выщелачивание горных пород, что оказывает существенное влияние на минерализацию подземных вод, на активизацию процессов карстопроявления, разрушение оставшегося крепежного материала. Все это может привести к образованию провалоопасных зон, в том числе на территориях жилой застройки. В рамках экологического мониторинга в районе г. Сланцы проводится гидрогеологический мониторинг.

Основными выявленными закономерностями гидродинамического режима, которые являются общими для исследованных участков, являются:

1. Переход в фазе затопления шахты от искусственного режима к сильно нарушенному. Под искусственным режимом мы понимаем, согласно

Е.С. Дзекцеру, режим подземных вод, который полностью формируется под влиянием искусственных факторов. Так как при эксплуатации шахты строго поддерживается требуемая глубина осушения, то режим не зависит от природных факторов и является искусственным. После прекращения водопонижения колебания подземных вод начинают происходить в соответствии с природными циклами, однако, многие из этих циклов существенно преобразованы техногенезом, а также природные условия больше не являются постоянными, они существенно изменяются на всех этапах развития системы подземных выработок, в том числе, и на этапе ликвидации. Из этого следует вторая закономерность.

2. Режим подземных вод затопляемых шахт формируется при постоянном изменении параметров, которые при формировании природных режимов, являются неизменными. Это границы водоносных горизонтов и фильтрационные параметры, которые изменяются под влиянием разрушения целиков между лавами и проседания кровли лав при затоплении шахт. Часто это приводит к формированию фильтрационных окон над зоной выработки и изменению гидродинамической связи с вышележащими горизонтами.

3. Нарушенная вертикальная разность напоров между лежащими выше выработанного пространства водоносными горизонтами приводит к сложному сильно нарушенному типу режима, который можно назвать «компенсационным». Его суть состоит в том, что на стадии отработки шахт и при начале их затопления происходит инверсия перетока в некоторых горизонтах, особенно в зонах разгрузки около крупных рек. Эта инверсия приводит к ускорению процесса затопления шахт. На водоразделах инверсии не происходит, но наблюдается усиление перетока вниз за счет увеличения градиентов напора. По окончании затопления шахт будет происходить обратная инверсия, и перетекание будет осуществляться в естественном направлении, однако, за счет значительно возросших фильтрационных свойств и сформировавшихся за счет обрушения кровли фильтрационных окон расходы перетекания и разгрузки в реку шахтных вод будут возрастать.

4. Стадию режима подземных вод, протекающую во время заполнения шахт водой, будем называть «реактивной». Это стадия, когда техногенез в составе ПТС больше не является фактором происходящих изменений, но причиненные геологической среде деформации бесследно не проходят. Природная среда пытается компенсировать нарушения сложившегося баланса.

Куст №1. Пос. Сельхозтехника. В кусте три скважины на разные водоносные горизонты. Все горизонты расположены выше выработанного пространства. Глубина скважин: 10, 20 и 70 м (рис. 1). Скважины демонстрируют очень тесную гидравлическую связь разных водоносных горизонтов. Режим подземных вод во всех скважинах идентичный. Так как наблюдения были начаты в 2016-м г. в конце марта незадолго до снеготаяния, то можно констатировать, что уже в конце лета были получены данные по максимальному и минимальному значению внутригодовых уровней подземных вод. Внутригодовая амплитуда составила от 1,1 до 1,3 м. Сроки наступления предвесеннего минимума и весеннего максимума по всем скважинам идентичны. По всей

видимости, неподалеку от наблюдательного куста имеют место существенные нарушения сплошности водоупоров между горизонтами или природные зоны повышенных фильтрационных свойств, которые позволяют горизонтам иметь практически идентичный режим. Особенно стоит отметить, что в конце лета, когда должен был формироваться спад уровней, приуроченный к летне-осенней межени, сформировался значительный подъем, превосходящий по величине весенний паводок. Эта аномалия в режиме приурочена к большому количеству дождевых осадков, выпавших в это время. Отбор проб воды осуществлялся из двух скважин №2 и 3, глубиной 20 м и 70 м, соответственно. Пробы воды показали практически идентичный состав. Отличия заключаются в том, что с глубиной несколько возрастает содержание хлоридов, однако оно остается в несколько десятков раз ниже нормы. В целом качество воды находится на высоком уровне. В скважине №2 значения компонентов находятся в пределах ПДК. В скважине №3 есть превышения по свинцу в 1,5 раза по отношению к рыбохоз. ПДК, однако, культ.-быт. ПДК не превышен. В целом, гидрохимический режим можно характеризовать как слабо нарушенный. Гидрохимический режим в первых трех кварталах 2016 г. стабилен.

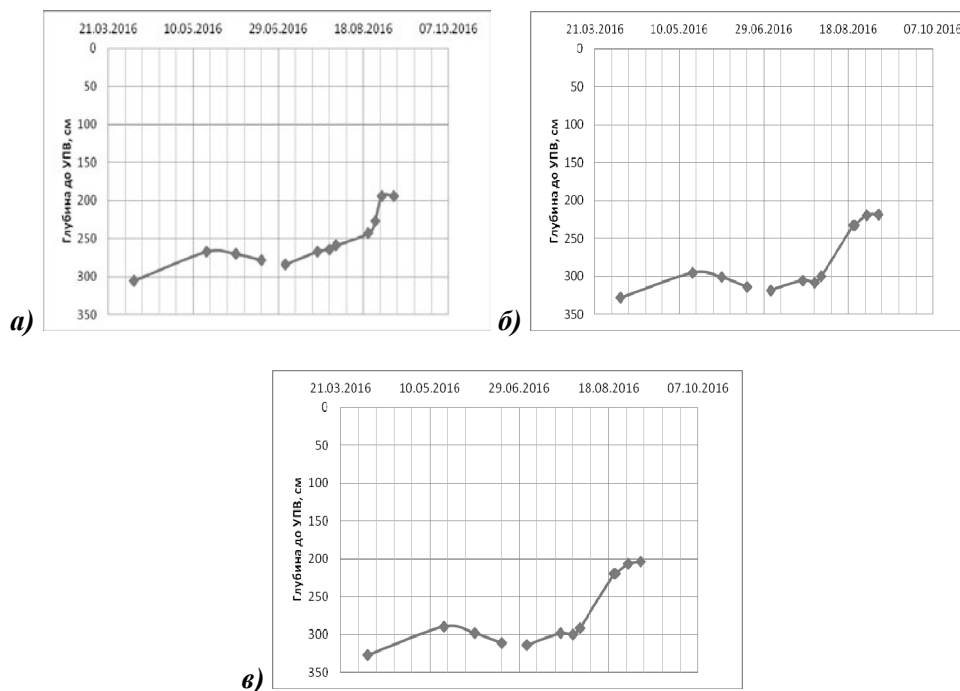


Рис. 1. Режим уровня подземных вод по скважинам № 1, 2 и 3, куст 1, пос. Сельхозтехника

Куст № 2. Пос. Сельхозтехника. В кусте три скважины на разные водоносные горизонты. Все горизонты расположены выше выработанного пространства. Глубина скважин: 10, 20 и 70 м. Куст расположен на низкой террасе реки. Режим можно охарактеризовать, как слабо нарушенный. В верхнем горизонте глубина до воды ниже, чем в следующем, как в предвесеннюю межень, так и в паводок. Срок наступления максимального уровня в верхнем горизонте более поздний, чем в следующем за ним. Это может частично объясняться частотой замера уровней, а частично разницей в фильтрационных свойствах. Так, вода из верхнего горизонта может сработаться быстрее после паводка. В принципе, в приречных областях напор в нижележащем горизонте часто превышает напор в вышележащем. Это объясняется тем, что области питания нижележащего горизонта на водоразделе могут быть гипсометрически выше. Если в верхних двух горизонтах амплитуда колебаний составляет 125-165 см, что объясняется небольшой глубиной от поверхности земли, то в третьем водоносном горизонте амплитуда колебаний уровней за полгода составила 2 м. Это значительная величина, однако она может иметь и естественные причины. Срок наступления весеннего максимума приходится на май и отстает от таковых в верхних двух горизонтах, что соответствует природной вертикальной зональности. Отбор проб осуществлялся из скважин глубиной 20 и 70 м. Вода показывает схожую минерализацию и схожий состав. Отмечено превышение ПДК по железу и марганцу в обоих горизонтах. При этом вышележащий горизонт показал худшие значения концентраций. Зато в нижележащем горизонте обнаружено превышение по барии по отношению к ПДКрыб-хоз в 32 раза. Скорее всего, все отмеченные превышения ПДК носят природный характер. Перманганатная окисляемость падает в обоих горизонтах. Это показатель падения содержания органического вещества, которое поступило в водоносные горизонты с весенним паводком.

Куст № 3. Пос. Сельхозтехника. В кусте три скважины на разные водоносные горизонты. Все горизонты расположены выше выработанного пространства. Глубина скважин: 10, 20 и 70 м. Куст расположен на средней террасе реки. Режим можно охарактеризовать как слабонарушенный. В верхнем горизонте глубина до воды ниже, чем в следующем как в предвесеннюю межень, так и в паводок. Срок наступления максимального уровня в верхнем горизонте более поздний, чем в следующем за ним. Это может частично объясняться частотой замера уровней, частично разницей в фильтрационных свойствах. Так, вода из верхнего горизонта может сработаться быстрее после паводка. Кроме того, имеет место инверсия разности напоров в приречных областях, как это наблюдается в кусте №2. Если в верхних двух горизонтах амплитуда колебаний составляет 120 см, что объясняется небольшой глубиной от поверхности земли, то в третьем водоносном горизонте амплитуда колебаний уровней за полгода составила 2,1 м. Срок наступления весеннего максимума приходится на май и опережает таковые в верхних горизонтах, что не соответствует природной вертикальной зональности и может объясняться техногенными причинами. Отбор проб осуществлялся из скважин глубиной 20 и 70 м. Вода показывает схожую минерализацию и схожий

состав. Отмечено превышение ПДК по железу верхнем горизонте. И по марганцу, меди и барию – в нижнем. В целом, гидрохимический режим можно характеризовать как слабо нарушенный. Пробы, отобранные в третьем квартале, показывают очень близкие значения к тем, что были отобраны ранее.

Куст Аэродром. В кусте две скважины на разные водоносные горизонты. Все горизонты расположены выше выработанного пространства. Глубина скважин: 15 и 65 м. Куст расположен на водоразделе. Режим можно охарактеризовать как слабонарушенный. В нижнем горизонте вода устанавливается на глубинах около 21 м, в верхнем – около 3,5 м. Присутствующий во всех скважинах августовский скачок уровня здесь наиболее велик и составляет около 7 м. Это очень много для подобных глубин. Причины скачка непонятны. Отбор проб осуществлялся из скважин глубиной 20 и 70 м. Вода показывает схожую минерализацию и схожий состав. Отмечено превышение ПДК по железу верхнем горизонте. И по марганцу, меди и барию – в нижнем. Гидрохимическим режим стабилен и в третьем квартале.

Ствол шахты им. Кирова. Наблюдения ведутся на выработанное пространство шахты. За полгода произошло повышение уровня на 4,5 м – с 44,5 м до 39,8 м. Сезонных амплитуд не отмечено. Режим – сильно нарушенный. Далее подъем уровня остановился. Скорее всего, это связано с тем, что вода стала переливаться в незатопленные ранее горные выработки. После их заполнения подъем уровня должен возобновиться (рис. 2).

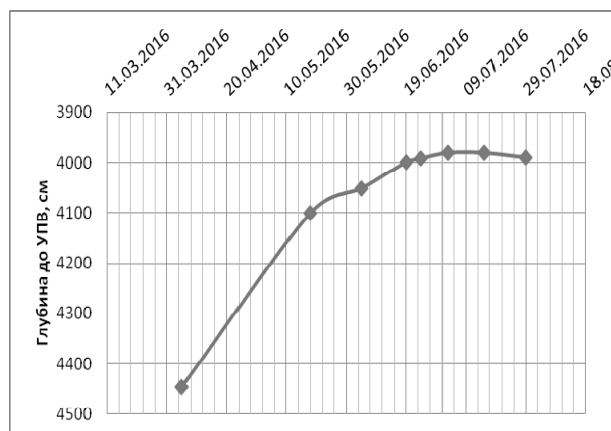


Рис. 2. Режим шахтных вод во вспомогательном стволе шахты им. Кирова

Куст Сижно. В кусте три скважины на три горизонта. Все расположены выше выработанного пространства. Глубина скважин: 10, 30 и 70 м (рис. 3).

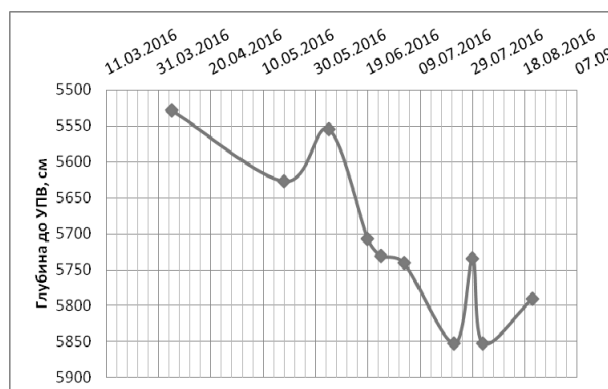


Рис. 3. Режим уровня подземных вод по скважине № 18, куст д. Сижно

Куст расположен на средней террасе реки. Режим в верхних двух горизонтах можно охарактеризовать как слабонарушенный. В верхнем горизонте глубина до воды меньше чем в следующем как в предвесеннюю межень, так и в паводок, что соответствует вертикальной зональности. Срок наступления максимального уровня в верхнем горизонте такой же, как в следующем за ним. В нижнем горизонте имеет место явный тренд к падению уровня. Это является следствием разрушения нижнего водоупора и перетока вод из горизонта в выработанное пространство. Режим в третьем горизонте – сильно нарушенный. Если в верхних двух горизонтах амплитуда колебаний составляет 140-175 см, что объясняется небольшой глубиной от поверхности земли, то в третьем водоносном горизонте амплитуда колебаний уровней за полгода составила 4,5 м. Срок наступления весеннего максимума приходится на апрель и опережает таковые в верхних двух горизонтах, что не соответствует природной вертикальной зональности и может объясняться техногенными причинами.

Гидрохимический режим. Отбор проб осуществлялся из всех трех скважин. Вода показывает схожую минерализацию и схожий состав. Отмечено превышение ПДК по тяжелым металлам – железу, свинцу, меди, а также по барии. В верхнем горизонте превышение по хлору вследствие работы туалетов и септиков в деревне. Состав подземных вод остается стабильным в третьем квартале.

Скважина ДОК. Одна скважина глубиной 70 м показывает слабонарушенный гидродинамический режим с паводком в мае и глубинами до воды более 10 м. Нисходящий тренд, как и в глубокой скважине в Сижно, видимо, объясняется нарушением водоупора между третьим горизонтом и выработанным пространством. Гидрохимический режим не опробовался.

Куст Тухтово. В кусте две скважины на разные горизонты. Оба лежат выше выработанного пространства. Глубина скважин: 20 и 70 м (рис. 4).

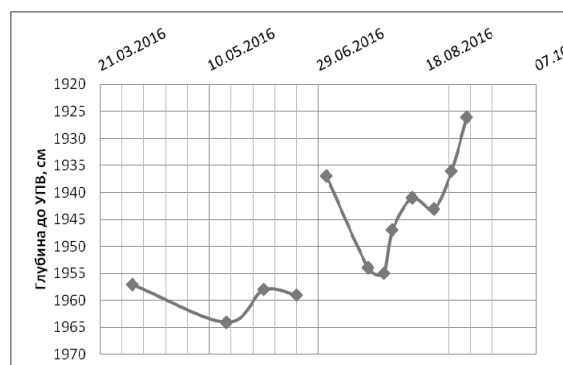


Рис. 4. Режим уровня подземных вод по скважине № 1, куст д. Тухтово

Куст расположен на водоразделе. В обоих горизонтах отмечена инверсия режима, когда в паводковое время, в середине мая, отмечено понижение уровней. Скорее всего, это связано с наличием затрудненной взаимосвязи с поверхностью земли – талые воды дошли до уровня только в июне. Режимы отличаются высокой синхронностью и не очень большими сезонными амплитудами, что характерно для таких глубин. Химический состав соответствует другим участкам. Превышения, отмеченные по железу, марганцу и барию, носят естественный характер. Состав подземных вод стабилен во времени.

Выводы. Основными опасными природно-техногенными процессами, порождающими риск для населения г. Сланцы и сопредельных населенных пунктов являются провалообразование под влиянием разрушения выработанного пространства шахт, подтопление шахтными водами, самоизлив загрязненных шахтных вод в реки, отравление атмосферы рудничными газами.

Наблюдения за гидродинамическим режимом подземных вод показывают, что в верхних двух горизонтах, находящихся над шахтным полем, режим пока близок к естественному и регулируется ходом атмосферных осадков. В третьем горизонте, находящемся непосредственно над выработанным пространством, в скважинах глубиной 65-70 м режим демонстрирует нисходящие тренды. Это обусловлено разрушением водоупора и перетоком воды вниз в выработанное пространство.

Гидродинамический режим в выработанном пространстве показывает устойчивый тренд к росту, который сейчас несколько замедлился. Скорее всего, это связано с переливом воды в незатопленные выработки. После их заполнения быстрый подъем уровня должен возобновиться.

Гидрохимический режим в водоносных горизонтах над выработанным пространством пока не претерпел существенных нарушений. Превышения ПДК по некоторым компонентам объясняются природными аномалиями и хозяйственной деятельностью человека на поверхности земли. Однако, с подъемом уровня рудничных вод эта ситуация должна резко измениться.

МИГРАЦИЯ ЗАГРЯЗНЕНИЙ В ФОРМЕ ВЗВЕСЕЙ И КОЛЬМАТАЦИЯ ПОРОВОГО ПРОСТРАНСТВА

А.Н. Гараева, М.Г. Храмченков

Казанский федеральный университет, г. Казань, ул. Кремлевская, 18.
E-mail: mkhramch@gmail.com

Введение. Кольматация порового пространства коллектора частицами взвесей, поступающими в пласт вместе с закачиваемой водой или буровым раствором – достаточно часто встречающееся явление в практике работы предприятий горнопромышленного комплекса. Особенно распространено данное явление в коллекторах с определенным содержанием глинистой составляющей, поскольку при этом дополнительный объем глинистых частиц может быть мобилизован фильтрационным потоком за счет суффозии в областях, где скорость фильтрации особенно велика (в призабойной зоне закачивающих скважин).

Математическая модель. Кольматацией называется процесс уменьшения объема порового пространства за счет выпадения взвешенных в фильтрующейся жидкости твердых частиц с образованием осадка, приводящий к закупорке пор. Это вызывает иногда существенное ухудшение фильтрационных характеристик породы. Экспериментальное изучение и теоретическое описание этого процесса в силу его важности для горнопромышленной отрасли было начато достаточно давно и имеет солидную библиографию. Чтобы поучить представление о состоянии дел, можно сослаться на суммирующие работы [2, 4]. Однако нам хотелось бы расширить традиционные подходы к описанию процесса кольматации порового пространства и включить в описание реакцию пористого скелета на изменение условий отжима фильтрующейся жидкости при кольматации. Другими словами, хотелось бы построить объединенную фильтрационно-деформационную модель, описывающую процесс кольматации.

Кольматацию можно рассматривать в рамках модели массообмена между жидкой и твердой фазой при фильтрации [6, 7], с детализацией вида функции источника/стока для скорости массообмена. Процесс массообмена приводит к изменению массы пористого скелета; таким образом, сначала необходимо построить систему уравнений фильтрации в деформируемой пористой среде с пористым скелетом переменной массы. Из определения дилатансии θ [8] имеем

$$\theta = (V - V_0)/V_0 \quad (1)$$

В предположении малости значений θ можно получить следующее соотношение

$$V = V_0 \exp \theta. \quad (2)$$

Здесь V – объем представительного элемента пористой среды, нижний индекс «0» означает значение соответствующей величины в начальный момент времени. Тогда для массы вещества пористого скелета M_s запишем

$$M_s = (1 - m)\rho_s V_0 \exp \theta. \quad (3)$$

Здесь ρ_s – плотность вещества твердой фазы, m – пористость породы. Продифференцируем последнее уравнение по времени и преобразуем результат к виду

$$\frac{\partial m}{\partial t} = \frac{(1 - m)}{\rho_s} \frac{\partial \rho_s}{\partial t} + (1 - m) \frac{\partial \theta}{\partial t} - \frac{(1 - m)}{M_s} \frac{\partial M_s}{\partial t}. \quad (4)$$

Запишем теперь уравнение баланса массы твердого вещества объема V

$$\partial[(1 - m)\rho_s] / \partial t + \operatorname{div}[(1 - m)\rho_s \mathbf{W}] = j. \quad (5)$$

Здесь \mathbf{W} – скорость движения вещества твердой фазы, j – источник/сток массы вещества в составе скелета за счет массообмена.

$$j = \frac{1}{V} \frac{\partial M_s}{\partial t}. \quad (6)$$

Из (5) – (6) получаем

$$\partial \theta / \partial t = \operatorname{div} \mathbf{W}. \quad (7)$$

Запишем уравнение баланса массы флюида во флюидонасыщенной горной породе:

$$\partial(m\rho) / \partial t + \operatorname{div}(m\rho \mathbf{V}) = 0. \quad (8)$$

Здесь ρ – плотность флюида, \mathbf{V} – скорость движения флюида. Вводя относительную скорость движения флюида в пласте (скорость фильтрации) $\mathbf{q} = m(\mathbf{V} - \mathbf{W})$, запишем на основании уравнений (6) – (8)

$$(1 - m)\rho^{-1} \frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial \theta}{\partial t} + \operatorname{div} \mathbf{q} = \frac{(1 - m)}{V_s} \frac{\partial V_s}{\partial t}. \quad (9)$$

Для концентрации частиц в растворе имеем

$$\frac{\partial(mc)}{\partial t} + \operatorname{div}(c\mathbf{q}) + mc \frac{\partial \theta}{\partial t} = \rho_s \frac{\partial m}{\partial t} + D\Delta c. \quad (10)$$

Полученные уравнения должны быть дополнены соответствующими реологическими соотношениями [6, 7]. В расчетах в качестве реологических соотношений выбирался обобщенный закон Гука [5]. Для скорости фильтрации имеем закон Дарси вида

$$\mathbf{q} = -\frac{m^3}{T^2 s^2 \mu} \nabla p; T = \text{const.} \quad (11)$$

Здесь использована формула Козени-Кармана для проницаемости, T – извилистость, μ – вязкость суспензии, s – удельная поверхность, для которой в расчетах будем использовать наиболее простую зависимость вида $s = 6(1 - m) / d$, где d – диаметр зерна пористой среды. Для зависимости вязкости от концентрации суспензии использовалась формула Эйнштейна $\mu = \mu_0(1 + \alpha c)$, $\alpha = \text{const}$.

Запишем уравнение массообмена для процесса кольтматации в виде [4]:

$$-\beta s c = \rho_s \frac{\partial m}{\partial t}; \beta = \text{const.} \quad (12)$$

Далее задача, соответствующая одномерному случаю, решалась численно. Параметры определялись по данным работы [7]. Полученное решение приведено на рис. 1.

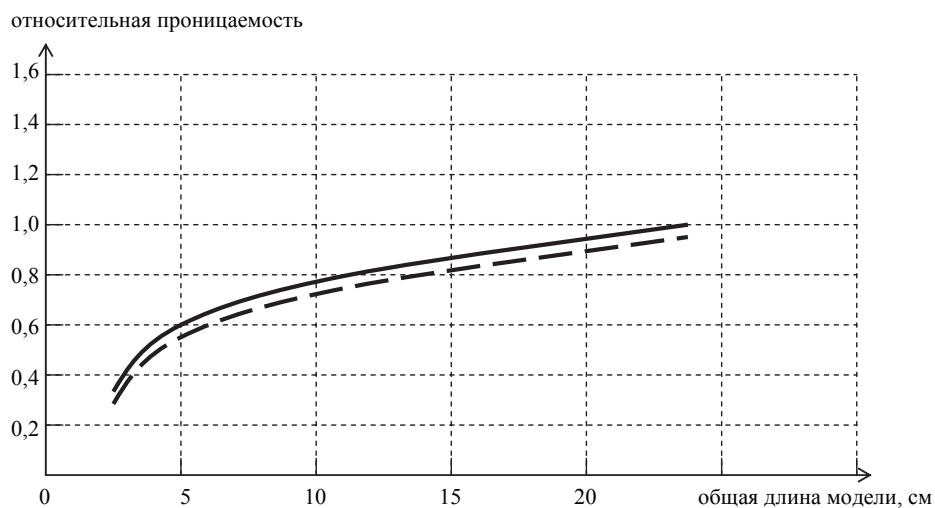


Рис. 1. Экспериментальные (сплошная линия) и расчетные (пунктирная линия) кривые изменения коэффициента проницаемости образцов по длине составной модели. Экспериментальные данные взяты из работы [3]

Чтобы корректно сравниться с нашим экспериментом, описание которого дается ниже, рассмотрим частный случай (15): $\rho = \text{const}, \theta = 0$. Тогда из (9) имеем:

$$\text{div} \mathbf{q} = -\frac{\partial m}{\partial t}. \quad (13)$$

Для слабо концентрированных суспензий формулу Эйнштейна для вязкости суспензии можно переписать в виде $\mu^{-1} = \mu_0^{-1}(1 - \alpha c)$, $\alpha = \text{const}$. Тогда, используя для скорости фильтрации закон Дарси (11), а для связи пористости и концентрации суспензии соотношение (12), получим из (13) уравнение относительно пористости и ее производных:

$$\frac{\partial m}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left[\frac{(\Delta p d^2) m^3}{36 T^2 L \mu_0 (1 - m)^2} \left(1 + \frac{\alpha d \rho_s \partial m / \partial t}{6 \beta (1 - m)} \right) \right] = 0; \quad (14)$$

$$\Delta p, L = \text{const}$$

Далее полученное уравнение решалось численно, а неизвестные параметры определялись из проведенного нами эксперимента (см. ниже).

Экспериментальные исследования. Экспериментальные исследования проводились на насыпных песчаных моделях с отслеживанием изменения коэффициента фильтрации со временем при закачке раствора, содержащего взвешенные частицы, аналогично работе [1]. Далее проводилось сравнение с моделью (рис. 2).

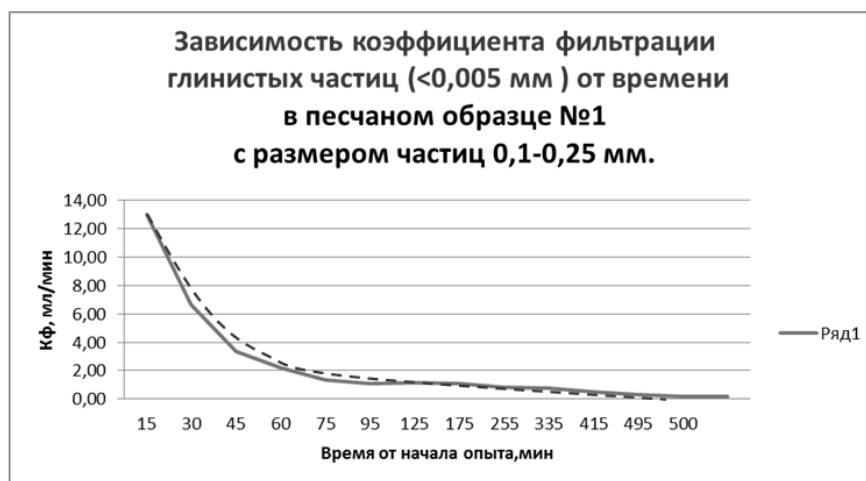


Рис. 2. Экспериментальные (сплошная линия) и расчетные (пунктирная линия) кривые изменения коэффициента фильтрации образцов с течением времени

Выводы. Проведено изучение процесса коагуляции пористой среды за счет осаждения взвешенных частиц. Разработана математическая модель, адекватно описывающая процесс коагуляции деформируемой пористой среды за счет осаждения взвешенных частиц. Проведены расчеты по модели. По результатам расчетов и их сравнения с экспериментальными данными продемонстрировано хорошее согласие расчетных и экспериментальных данных. Разработанная модель позволяет прогнозировать величины изменения проницаемости горной породы во времени и в зависимости от концентрации фильтрующегося раствора во многих практических важных случаях.

Литература

1. Димов С.В., Кузнецов В.В., Рудяк В.Я., Тропин Н.М. Экспериментальное изучение фильтрации микросуспензии в высокопроницаемой пористой среде // Механика Жидкости и Газа. – 2012. – № 2. – С. 47-56.
2. Максименко А.А. Микромеханический анализ течения неньютоновских жидкостей и взвесей в пористой среде: дис. ... канд. физ.-мат. наук. – 2001. – 108 с.
3. Плюснин Г.В., Мендограло Ф.В. Моделирование нефтедобычи в низкопроницаемых коллекторах терригенных пород // Вестник ПНИПУ. Геология. Нефтегазовое и горное дело. – 2012. – № 3. – С. 110-118.
4. Рыжиков Н.И. Экспериментальное исследование динамики захвата частиц и изменения проницаемости при фильтрации суспензии через пористую среду: дис. ... канд. физ.-мат. наук. – 2014. – 150 с.
5. Coussy O. Poromechanics. – London: Wiley, John & Sons, 2004.
6. Jaeger J.C., Zimmerman R.W. Fundamentals of Rock Mechanics, 4th ed. – Oxford: Wiley, 2007.
7. Khranchenkov M., Khranchenkov E. A new approach to obtain rheological relations for saturated porous media // International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences. – 72 (2014). – P. 49-53.
8. Nikolaevskiy N.V. Geomechanics and fluid dynamics. – Dordrecht: Kluwer Academic Publishers; 1996.

АНАЛИЗ ВОЗДЕЙСТВИЯ МЕСТОРОЖДЕНИЙ РАЗЛИЧНЫХ ПРОМЫШЛЕННЫХ ТИПОВ НА ПОДЗЕМНУЮ ГИДРОСФЕРУ

О.К. Криночкина, А.А. Лаврусевич

Московский государственный строительный университет,
129337, Москва, Ярославское шоссе 26. E-mail: vdovinaok@mail.ru

Изучением воздействия месторождений полезных ископаемых (МПИ) различных промышленных типов на подземную гидросферу (ПГС) занимаются уже многие годы как на локальном уровне (сами разработчики МПИ), так и на региональном, т.к. некоторые из них имеют значительную площадь и соответствующее влияние на большинство компонентов окружающей среды

(ОС). Например, известно, что площади депрессионных воронок, сформировавшихся при откачке подземных вод в ходе разработки многих крупных МПИ, достигают нескольких десятков км.

Воздействие месторождений на гидросферу обусловлено, в основном, составом руд и условиями их залегания. Если же посмотреть шире, то кроме упомянутых, среди основных факторов влияния на формирование гидросферы МПИ можно выделить следующие: состав вмещающих пород и их трещиноватость; ландшафтно-геохимические условия, а также условия добычи и обогащения руд. Все эти факторы, а особенно природные, тесно связаны между собой. Еще С.Л. Шварцевым для зон гипергенеза было доказано, что состав воды является гетерогенным, так как одна часть элементов поступает из атмосферы, другая часть – из биосферы, а третья – из литосферы [4]. На качество подземных и поверхностных вод рудных отвалов месторождений полезных ископаемых также весьма значительную роль играет действие испарительного и криогенных барьеров [2, 3].

Авторами изучалось воздействие полиметаллических месторождений на Южном Урале, Алтае и апатит-нефелиновых месторождений Хибинских тундр.

Состав руд и вмещающих пород. Рассмотрим воздействия на ПГС полиметаллических месторождений Южного Урала и Алтая.

Прежде всего, эти месторождения – колчеданные, что сразу ставит их в ряд наиболее опасных по степени воздействия на всю ОС и гидросферу, в частности. Этот промышленный тип месторождений отличает наличие больших запасов руд и представлены они токсичными элементами: Pb, Zn, Cu и др. Кроме того, окисление сульфидов создает кислую среду, в которой миграционные способности большинства тяжелых металлов возрастают порой в несколько раз. В сравнении с природными водами, в кислых подотвальных водах происходит глубокая трансформация состава. По данным Емлина [2] воды Южно-уральских полиметаллических месторождений являются сульфатными железо-алюминиево-магниевыми. Появление сульфат-иона в анионной части и железа и алюминия в катионной в качестве доминирующих свидетельствует о типичном сернокислотном техногенезе. Вовлечение в миграционные циклы типичного литофильного элемента – алюминия (до 320 мг/л), свидетельствует о глубокой трансформации геотехнической системы. По мнению авторов, присутствие алюминия в столь значительном количестве связано с взаимодействием вод с вмещающими породами. Для МПИ рассматриваемой группы, вмещающими породами являются вулканогенно-осадочные толщи, в составе которых преобладают алюмосиликаты (риолиты, базальты). И хотя растворимость алюмосиликатов в поверхностных и близ поверхностных условиях – довольно редкое явление, агрессивные рудничные воды при участии сульфатредуцирующих бактерий и газов месторождений, по-видимому, способны обогащаться некоторыми их элементами.

Загрязнение подотвальных вод теснейшим образом связано с загрязнением всей подземной гидросферы зоны влияния месторождений. По нашим данным в общем водосборнике Учалинского месторождения (Южный Урал)

воды имеют состав (среднее по 2013г): рН 4,5, сухой остаток 7,2 г/дм³, содержание (мг/дм³): Cu⁺⁺ 32,5; Zn⁺⁺ 212; Fe⁺⁺ 62,2; Mn⁺⁺ 36,96; Cd 0,6; NH⁴⁺ 10,4. По данным локального мониторинга (табл. 1) их состав отражен в табл. 1.

Таблица 1

Химический состав шахтных вод Учалинского месторождения

Место отбора	Год отбора	рН	М, г/дм ³	Ингредиенты, мг/дм ³						Cu ⁺⁺ мг/дм ³	Zn ⁺⁺ мг/дм ³
				HCO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	Cl	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺ +K ⁺		
Дренажный штрек, гор. 120 м	1977	8,5	1,91	207,5	795,2	365,9	280,6	188,5	39,1	0,2	0,8
	1978	6,9	2,98	170,3	836,6	378,7	380,8	109,4	151,5	0,11	1,7
	1990	4,1	6,96	0	4168	230,4	330,7	376,9	899,1	8,4	209,3
	1993	3,6	8,4	0	4176	228,2	340,1	412,8	978	62,4	257,5
	1995	3,9	9,62	0	4947	175,4	294,6	417	1137,3	59,4	204,1
Общий водосборник, нор. 120 м	1981	4,4	2,73	0	1523	373,3	460,9	152	10,8	4,7	207,4
	1985	3,3	2,65	0	1672	253,7	360,7	237,1	110,6	17,3	212,1
	1987	4,2	2,12	0	1259	223,3	310,6	182,4	141,9	24,7	268,8
	1995	4,1	5,24	0	3024	147,9	400,8	221,3	510,6	40,3	153,9

Рассмотрим тот же фактор влияния на гидросферу МПИ, но в других условиях на примере месторождений Кукисвумчорр и Расвумчорр, разрабатываемых ОАО «Апатит».

Вмещающими породами для рассматриваемых месторождений являются нефелиновые сиениты, а сами руды представляют собой нефелин-апатитовый концентрат. Это, безусловно формирует щелочную среду всех компонентов ландшафта, т.к. именно коренные породы задают геохимический фон местности [1]. Для щелочных горных пород характерны повышенные концентрации аниогенных компонентов. Из-за наличия щелочных пород вся природная вода имеет повышенную щелочность рН>7. Одновременно с этим в бассейне реки Белой складываются отходы обогатительной фабрики в виде хвостов обогащения, которые также имеют повышенную щелочность. Наложение техногенной нагрузки увеличивает щелочность воды до максимальных значений и рН достигает 12. Аниогенные элементы (Al, Mo, Be, Ga, Sc, Y, Zr) в такой обстановке мигрируют чаще всего в форме растворимых солей щелочных металлов – Na₂SiO₃, Na₂AlO₂, Na₂MoO₄ и др.

Для Хибинского объекта важным являются количественные показатели следующих химических элементов в воде: F, Na, P, Al, Ca, Sr. Они связаны с химическим составом пород, и, соответственно, уровни их накопления могут отражать процессы, возникающие в результате взаимодействия природных вод и горных пород. Анионы, за исключением HCO₃, заимствуются главным образом из пород.

Высокие концентрации фтора в рудничных водах Расвумчоррского месторождения обусловлены повышенными содержаниями в породах и рудах природных фторидов. Он концентрируется в водах рр. Лопарской и Юкспорйок, дренирующих Кировский и Расвумчоррский рудники, с максимальным накоплением в отстойниках.

Трещиноватость вмещающих пород. Подземные воды на колчеданных полиметаллических месторождениях Южного Урала и Алтая приурочены, как правило, к зонам повышенной трещиноватости. Высокая трещиноватость и сульфидные руды создают специфичный геохимический фон этих территорий. Подземные воды зон трещиноватости обычно гидравлически взаимосвязаны и имеют безнапорный характер, образуя небольшие бассейны с интенсивным водообменом, что предопределяет развитие ультрапресных и пресных природных вод с повышенными уровнями загрязнения сульфат-ионом. Например, на Учалинском месторождения (Южный Урал) зона окисления, благодаря интенсивной трещиноватости пород, достигает 1000 м и глубже. При водоотливе кислород вместе с потоками подземных вод проникает до самых глубоких горизонтов. Все это формирует своеобразный состав гидросферы полиметаллических колчеданных месторождений.

Для большинства месторождений Хибинских тундр характерна малая трещиноватость пород. Как правило, именно она определяет высокий напор подземных вод и их химическую инертность по отношению к загрязнениям. И потому одной из особенностей гидрогеохимических характеристик подземной гидросферы месторождений Хибинских тундр является преобладание ультрапресных и пресных вод. По составу они, как правило, гидрокарбонатно-натриевые.

Ландшафтные условия. Немаловажную роль в формировании состава подземных вод МПИ играет тип почв. Почвы часто играют роль своеобразного буфера. Особенно это касается черноземов, в составе которых достаточное количество карбонатов, глинистых частиц и органических веществ. И именно черноземы преобладают в пестром составе почв рассматриваемых рудных районов Урала и Алтая. Благодаря вышеперечисленным факторам загрязнение вод локализуется, в основном, в пределах самих МПИ, или фиксируется на довольно незначительных расстояниях. Так, изучение зоны загрязнения р. Глубочанки Белоусовским ГОКом (Алтайский край) показало, что даже при функционировании предприятия в течение нескольких десятилетий, зона загрязнения в донных осадках имеет протяженность не более 10 км.

Рассматривая влияние Хибинских почв на формирование состава вод месторождений, следует отметить, что они не обладают достаточной буферностью, т.к. почвы тут примитивные, малогумусовые, иллювиально-малогумусовые, реже – торфяно-болотные

Климатический фактор при определенных условиях также может вносить свой вклад в загрязнение гидросферы МПИ.

В условиях Южного Урала и Алтая процессы испарения и вымораживания в отвалах месторождений идут очень активно, что также способствует обогащению вод токсичными элементами. При взаимодействии руд форми-

руются испарительный и криогенный геохимические барьеры, благодаря которым происходит обогащение гидросферы рудными элементами.

Климатические особенности местности также довольно значительно влияют на формирование Хибинской гидроэкосистемы. Для ее гидросферы принципиальное значение имеет среднегодовое количество осадков (которое на участке разработки Кукисвумчоррского месторождения составляет около 750 мм) и низкая испаряемость.

Наиболее наглядно это проявляется в минерализации природных вод. Если для колчеданных месторождений Урала она достигает 14 г/дм^3 , то максимальные ее значения даже в районе отстойников апатит-нефелиновых фабрик ОАО «Апатит» не превышают $0,7 \text{ г/дм}^3$. Низкая минерализация природных вод объясняется обильным количеством выпавших атмосферных осадков, которые, как правило, уменьшают минерализацию поверхностных и подземных вод. Также этому способствует и низкая испаряемость в пределах гидроэкосистемы месторождений Хибинских тундр.

Преобладание процессов испарения над выпадением осадков ведёт к росту минерализации подземных и поверхностных вод в зоне влияния Южно-уральских месторождений, в то время как на месторождениях Хибинских тундр при преобладании выпадения осадков над испарением этот показатель уменьшается; среднее значение общей минерализации отличается в 20 и более раз (рис. 1).

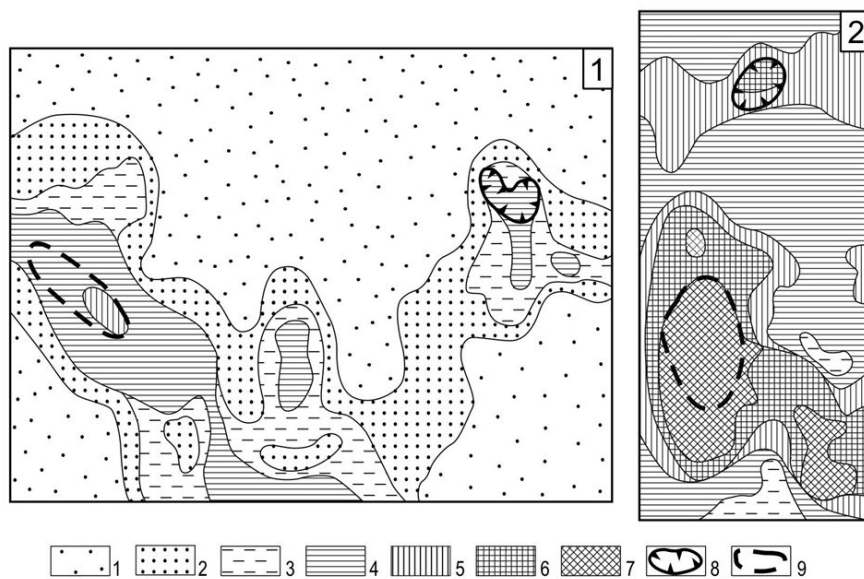


Рис. 1. Распределение общей минерализации на участках разработки Кукисвумчоррского месторождения, Хибины (слева) и Учалинского, Южный Урал (справа):

1-7 – общая минерализация в г/дм^3 : 1 – меньше 0,05; 2 – от 0,5 до 1,0;
3 – от 0,1 до 0,2; 4 – от 0,2 до 0,5; 5 – от 0,5 до 1,0;
6 – от 1,0 до 2,0; 7 – больше 2,0; 8 – карьеры; 9 – хвостохранилища

В заключение следует отметить, что основными природными факторами, влияющими на степень загрязнения подземной гидросферы, являются состав руд, состав вмещающих пород и степень их трещиноватости. Среди ландшафтных факторов рассматриваются тип почв и климат.

Литература

1. *Вдовина О.К., Лаврусевич А.А., Высокинская Р.В., Евграфова И.М., Полякова К.С.* Роль геохимического фона при оценке инвестиционной привлекательности рекреационных территорий // Вестник МГСУ. – 2014. – № 8. – С. 98-106.
2. *Емлин Э.Ф.* Техногенез колчеданных месторождений Урала. – Свердловск: Изд-во УрГУ, 1991. – 256 с.
3. *Перельман А.И.* Геохимия элементов в зоне гипергенеза. – М.: «Недра», 1972. – 288 с.
4. *Шварцев С.Л.* Гидрогеохимия зоны гипергенеза. – М.: «Недра», 1978. – 287 с.

ЗАГРЯЗНЕНИЕ ПОДЗЕМНОЙ ГИДРОСФЕРЫ В НЕФТЕДОБЫВАЮЩИХ РЕГИОНАХ И ОПТИМАЛЬНЫЕ ПУТИ РЕШЕНИЯ ЭТОЙ ПРОБЛЕМЫ (НА ПРИМЕРЕ ТАТАРСТАНА)

Р. Х. Мусин

Казанский федеральный университет, Казань, Россия. E-mail: Rustam.Musin@kpfu.ru.

Одной из основных геоэкологических проблем нефтедобывающих регионов является интенсивное загрязнение гидросферы. В Татарстане эта проблема наиболее актуальна в пределах её крупнейших месторождений – Ромашкинского, Ново-Елховского и Бавлинского.

Особенности строения месторождений и вариации их гидрогеохимических полей удобно рассмотреть на примере Ромашкинского месторождения, которое является одним из крупнейших многопластовых объектов платформенного типа не только в Волго-Уральской провинции, но и в мире [1, 2]. Это месторождение, расположенное в пределах Южно-Татарского свода Русской платформы, было открыто в 1943 г., а в разработку введено в 1952 г. Его площадь составляет 6000 км². В разрезе девонских и каменноугольных отложений месторождения установлена нефтеносность 22 горизонтов, при этом наиболее продуктивными являются пашийский и кыновский терригенные горизонты верхнего девона, на долю которых приходится более 80% разведанных запасов [1].

Разработка Ромашкинского месторождения с самых ранних этапов ведется с широким использованием различных методов заводнения продуктивных горизонтов, при этом первоначально оно было разрезано рядами нагне-

тательных скважин на 22 самостоятельно разрабатываемые площади. Для заводнения использовались воды следующих типов – пресные речные, солоноватые нижнепермских отложений и попутные нефтяные. О масштабности использования этих вод могут свидетельствовать следующие данные – расход речных вод в системах поддержки пластового давления (ППД) в 1960–1963 гг. составлял 200–300 тыс. м³/сут. [2]. В последнее время в системах ППД используют, в основном, промысловые сточные (попутные нефтяные) воды. Закачка разнотипных вод привела к существенной трансформации пластовых гидрогеохимических условий. Первоначально воды пашийско-кыновского гидростратиграфического уровня являлись хлоридными кальциево-натриевыми рассолами с минерализацией 200–300 г/дм³, в настоящее время минерализация этих вод варьирует от 3–10 до 280, при преобладании значений 140–200 г/дм³, но хлоридный кальциево-натриевый состав ещё сохранился.

Более чем 50-летняя разработка Ромашкинского месторождения привела к нарушению гидрогеоэкологического равновесия и в верхней части разреза, за счет загрязнения как поверхностных, так и подземных вод попутными нефтяными водами [2, 5]. Зона активного водообмена охватывает в пределах месторождения комплекс пермских и плиоцен-четвертичных отложений мощностью до 300–350 м. В её верхней части до 1970-х годов преимущественным распространением пользовались гидрокарбонатные и сульфатно-гидрокарбонатные воды благоприятного питьевого качества, а в нижней части – солоноватые воды сульфатного состава. С указанного времени практически повсеместно проявляется тенденция замещения гидрокарбонатных и сульфатно-гидрокарбонатных подземных вод водами с долей хлоридов более 20%-моль, при этом их минерализация может достигать 5–10 г/дм³, а общая жесткость – 40–70 ммоль/дм³. Доля загрязненных (с повышенной долей хлоридов) подземных вод в составе нижнеказанского сульфатно-карбонатно-терригенного водоносного комплекса, являвшегося в нефтяном регионе Татарстана наиболее продуктивным элементом разреза в отношении вод питьевого качества, сейчас составляет не менее 60–70%. Загрязнение пресных подземных вод происходит за счет внедрения в зону их распространения высокоминерализованных хлоридных вод как “снизу” – заколонные и межпластовые перетоки, так и “сверху” – утечки, часто аварийные, из трубопроводов и емкостей хранения. К началу 1970-х гг. выявлено, что такое загрязнение происходит в первую очередь из-за разливов нефти и попутных рассолов, а одной из главных причин разливов и утечек является коррозионное разрушение нефтепромыслового оборудования и трубопроводов. Число ежегодно ликвидируемых порывов на промысловых трубопроводах в различные периоды освоения месторождений варьировало от 4 до 17 тыс., максимумом – в середине 1980-х гг., когда были зафиксированы наивысшие концентрации хлоридов и других контаминантов в речных водах. В период наиболее интенсивной добычи нефти (1970–1980-е гг.) ежегодные потери попутно добываемых рассолов на поверхности в результате разливов, аварийных порывов и скрытых утечек составляли не менее 4–5 млн. м³ [2]. Масштабные

гидрогеоэкологические исследования, проведенные в нефтяном регионе в 1990–2000-х гг., подтвердили, что загрязнение пресных подземных вод в основном происходит сверху [5]. Данное изменение гидрогеохимических условий в верхней части гидрогеологического разреза обусловило почти катастрофическое положение с качеством хозяйственно-питьевого водоснабжения многих населенных пунктов, базирующемся на каптаже подземных вод. Скорее всего, именно этот фактор ответственен за рост заболеваемости местного населения с начала интенсивной разработки нефтяных месторождений [2]. В связи с этим масштабное загрязнение попутно добываемыми высококонцентрированными рассолами почв, пород зоны аэрации, поверхностных и подземных вод является основной гидрогеоэкологической проблемой нефтяного региона Татарстана [6].

Пути решения отмеченных гидрогеоэкологических проблем являются уменьшение негативного влияния процессов нефтедобычи на верхнюю часть гидрогеологического разреза, организация альтернативного питьевого водоснабжения, защита ещё действующих крупных питьевых подземных водозаборов от загрязнения. Мероприятия первого и второго направлений в последние десятилетия активно осуществляются компанией “Татнефть”. Это замена металлических трубопроводов на коррозионно более устойчивые металлопластиковые, тампонаж бездействующих скважин и т.д.; проведение масштабных гидрогеологических исследований с начала 1990-х гг., основной целью которых являлось выявление месторождений питьевых подземных вод и оценка их эксплуатационных запасов, картирование крупных источников загрязнения пресных подземных вод, постоянный мониторинг их гидрогеохимических и гидродинамических характеристик; доведение качества используемых для хозяйственно-питьевых целей подземных вод до питьевого стандарта на министанциях доочистки или опреснения, установленных в отдельных малых населенных пунктах. Для защиты же ещё действующих водозаборов наиболее оптимальным представляется откачка загрязненных подземных вод и параллельная их закачка в нефтепродуктивные горизонты, т.е. использование этих вод в системах ППД. При этом могут проявиться побочные негативные явления в виде солеотложения в нефтяных горизонтах, скважинах и коммуникациях. Вероятность отложения карбонатов и сульфатов кальция, как основных солей, осложняющих нефтедобычу в Татарстане [4], определялась расчетным способом по анализу составов подземных вод нижеказанских (15 проб), верхнедевонских (358 проб) отложений и их смесей в пропорции 1:1 (465 смесей) в пределах одной из нефтяных площадей в центральной части Ромашкинского месторождения.

Для прогнозной оценки выпадения карбонатов кальция использован метод Стиффа-Дэйвиса, который основан на сопоставлении реального рН с расчетным (pH_s), а вероятность солеотложения определяется индексом насыщения (IS) и индексом стабильности (IS_t); для выявления возможности отложения сульфатов кальция – методика Б. П. Зверева, по которой основным рассчитываемым параметром является дефицит насыщения воды этим соединением (X_{CaSO_4}) [3]. В данном рассмотрении участвовали:

1) воды нижнеказанского комплекса с широкими вариациями состава (от хлоридно-гидрокарбонатных магниевых-кальциевых до хлоридных магниевых-кальциевых и натриевых), минерализации (0,6–7,3 г/дм³), общей жёсткости (9,4–61,0 ммоль/дм³), рН (7,0–8,1); содержаний (в мг/дм³) HCO₃⁻ (104–513), Ca²⁺ (113–727), SO₄²⁻ (14–1329);

2) воды пашийско-кыновского стратиграфического уровня, характеризующиеся: хлоридным кальциево-натриевым и хлоридным натриевым составами, минерализацией 2,6–278 г/дм³, рН 3,0–8,3, содержаниями (мг/дм³) HCO₃⁻ 0–366, Ca²⁺ 177–22985, SO₄²⁻ 0–1300; в водах нефтеносного горизонта с увеличением минерализации отмечается снижение рН и содержаний гидрокарбонат-иона, а также рост концентраций ионов кальция, значения коэффициентов парной корреляции соответственно составляют -0,66, -0,61 и +0,96.

Устойчивость приповерхностных подземных вод в отношении солеотложения рассчитывалась для температурного диапазона 5–30⁰С, глубинных вод 30–40⁰С (что соответствует реальным пластовым температурам), а смесей разноглубинных вод – 30⁰С. Значение водородного показателя смесей определялось не как среднеарифметическое, а приближалось к рН глубинных пластовых вод (которые в большинстве случаев ниже рН приповерхностных подземных вод), отличаясь от него на 0,2–0,5, реже 0,7–0,9 единиц, в зависимости от разницы конкретных значений рН смешиваемых вод. Этот расчет рН базировался на экспериментальных данных “ТатНИПИнефть” (г. Бугульма), где рН смесей отличался от рН глубинных вод не более чем на 0,5 единиц.

В целом, отложение сульфата кальция из разноглубинных подземных вод и их смесей маловероятно, в связи с недонасыщенностью вод соответствующими компонентами, за исключением единичных случаев, где концентрации сульфатов в водах пашийско-кыновских образований превышают 1000 мг/дм³.

Ситуация с возможностью отложения карбонатов кальция более сложная. Составы вод нижнеказанского комплекса в естественных условиях – при температуре 5–10⁰С – устойчивы в отношении солеотложения, но при 30⁰С величина индекса стабильности обычно ниже значения 6,4, что отражает возможность выделения осадка. Это связано с уменьшением растворимости CaCO₃ по мере увеличения температуры. В основном устойчивы и составы вод нефтеносных горизонтов. Пониженные значения индекса стабильности (*ISt*<6,4) характерны для интервалов с минерализацией до 30 и более 210 г/дм³. Наиболее же устойчивы (*ISt*>6,4) составы в солевом диапазоне 40–100 г/дм³, что связано с максимальной растворимостью карбоната кальция в растворах с ионной силой, соответствующей этому интервалу минерализации.

Смеси разноглубинных вод не будут сопровождаться солеотложением при большей части возможных гидрогеохимических условий при минерализации 68–104 г/дм³. Наиболее устойчивыми являются смеси на основе вод нефтеносных горизонтов с минерализацией 125–204 г/дм³. Следовательно, участки развития пашийско-кыновского горизонта с такими параметрами

пластовых вод и будут являться наиболее оптимальными для закачки загрязненных вод верхней части гидрогеологического разреза. Общая площадь распространения таких участков составляет 50-60% от размера рассматриваемой нефтяной площади. Важно подчеркнуть, что примерно такими особенностями изменения минерализации и характера площадного развития вод пашийско-кыновского гидростратиграфического уровня обладают практически все нефтяные площади в пределах Ромашкинского месторождения.

Выявление устойчивости подземных вод в отношении солеотложения по использованным методикам представляет собой довольно трудоемкую задачу, связанную с использованием многочисленных номограмм. Для определения возможности упрощения этих расчетов проведен регрессионный анализ данных, которые включали параметры состава подземных вод и их устойчивости в отношении солеотложения. Уравнения множественной регрессии выглядят следующим образом (применительно к температуре 30 °С):

$$Ist(c) = 15,034 - 0,0051 \times HCO_3(n) - 0,0023 \times HCO_3(p) - 0,00008 \times Ca(n) - - \\ 0,0001 \times Ca(p) - 0,5915 \times pH(n) - 0,3304 \times pH(p),$$

$$X_{CaSO_4}(c) = 2373,71 - 0,84 \times SO_4(n) - 0,684 \times SO_4(p) - 0,118 \times Ca(n) - - \\ 0,183 \times Ca(p) + 0,006 \times Мин(n) + 0,012 \times Мин(p),$$

где Ist – индекс стабильности; X_{CaSO_4} – дефицит насыщения воды сульфатом кальция; HCO_3 , Ca , SO_4 – концентрации соответствующих ионов, мг/дм³; $Мин$ – минерализация, мг/дм³; (n) – воды пашийско-кыновского гидростратиграфического уровня, (p) – воды верхней части гидрогеологического разреза, (c) – смеси разнотерминных подземных вод (в пропорции 1:1).

Сопоставление параметров Ist и X_{CaSO_4} , выявленных по номограммам и рассчитанных по регрессионным уравнениям, показало их высокую сходимость, различия в значениях не превышают 3-4%, при этом в диапазоне минерализации нефтяных вод 40-200 г/дм³ эти различия в 50% случаев не превышают 1% (для Ist это составляет 0,05 единиц).

Выводы.

1. Выявлена принципиальная возможность использования в системах поддержки пластового давления на Ромашкинском месторождении загрязненных (за счёт процессов нефтедобычи) подземных вод верхней части гидрогеологического разреза.

2. Наиболее оптимальна закачка вод в пашийско-кыновский гидростратиграфический уровень с минерализацией пластовых вод 125–204 г/дм³.

3. Для закачки можно использовать практически все разновидности загрязненных приповерхностных подземных вод, но отложение карбонатов и сульфатов кальция с высокой вероятностью не проявится при закачке вод с параметрами:

$$pH \leq 8,0; HCO_3^- < 500 \text{ мг/дм}^3; SO_4^{2-} \leq 1500 \text{ мг/дм}^3.$$

4. Выявлены уравнения множественной регрессии, которые позволяют с высокой точностью определять величины индекса стабильности (ISt) и дефицита насыщения воды сульфатом кальция ($XCaSO_4$) в смесях разноглубинных водах, при этом необходимы лишь данные по содержаниям в этих водах ионов Ca^{2+} , HCO_3^- , SO_4^{2-} , а также значений минерализации и pH.

5. При несоответствии загрязненных подземных вод верхней части разреза каким-либо требованиям нормативных документов [7] возможно проведение необходимой водоподготовки, затраты на которую окупятся улучшением гидрогеоэкологической обстановки в нефтяном регионе Татарстана.

Литература

1. Геология и разработка крупнейших и уникальных нефтяных и нефтегазовых месторождений России / под ред. Н.Н. Гавуры: В 2 т. – М.: ОАО “ВНИИОЭНГ”, 1996. – Т. 2.
2. Гидрогеоэкологические исследования в нефтедобывающих районах Республики Татарстан / под ред. А.И. Короткова, В.К. Учаева. – Казань: Изд-во НПО “Рефер”, 2007. – 300 с.
3. *Кацавцев В. Е., Гаттенбергер В.Е., Люшин С.Ф.* Предупреждение солеобразования при добыче нефти. – М.: Недра, 1985. – 215 с.
4. *Кацавцев В.Е., Миценко И.Т.* Солеобразование при добыче нефти. – М: Орбита, 2004. – 432 с.
5. *Мусин Р. Х., Мусина Р. З.* Гидрогеологические исследования в нефтяном регионе Татарстана // Нефть. Газ. Новации. – 2009. – № 9. – С. 28-38.
6. *Мусин Р. Х., Салихова А.А., Ханафеева А.Р.* О важнейшей гидрогеоэкологической проблеме нефтегазового комплекса Татарстана // Георесурсы, геоэнергетика, геополитика. – 2011. – Вып. 2(4). – 16 с.
7. ОСТ 39-225-88. Вода для заводнения нефтяных пластов. Требования к качеству. – М.: ВСЕГИНГЕО, 1988. – 8 с.

ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ТЕРРИТОРИИ ОЗЕРА ЭЛЬТОН

Н.Г. Мязина

Оренбургский государственный университет, 460018, г. Оренбург, просп. Победы, д. 13.
E-mail: miazinanatalia@rambler.ru

Район исследования располагается в зоне Эльтонской солянокупольной структуры закрытого типа. Надсолевая структура, расположена во внутренней зоне развития крупных куполов изоморфной структуры, вокруг которых по краям компенсационных депрессий образуются дочерние купола второй генерации. Приподнятое залегание галогенной толщи отмечено в 2-х блоках структуры – северо-восточном и юго-западном. Между этими блоками находится «компенсационная» котловина оз. Эльтон. На формирование поверхности территории большое влияние оказали неотектонические процессы. При-

мером этого служат г. Улаган и возвышенность Пресный Лиман, являющиеся отдельными блоками единого Эльтонского соляного купола [1]. Современный рельеф района образовался в четвертичное время, сопровождался неоднократными трансгрессиями моря.

Озеро Эльтон и его окрестности богаты ресурсами целебных грязей и рассолов. На их базе с 1910 г. действует бальнеогрязевый санаторий. Кроме грязей и рассолов недра богаты подземными минеральными водами, многочисленные выходы источников наблюдаются по речкам Хара, Ланцуг, Бол. Сморогда, Чернявка и др.

В гидрографическом отношении описываемая территория относится к Прикаспийскому бессточному району. Бессточная котловина оз. Эльтон, представляющая собой огромную (187 км^2) компенсационную впадину, заполненную современными хемогенными осадками с абсолютными отметками – $-16,9$ - $-18,4$ м. Общая длина береговой линии – 51 км, площадь водосборного бассейна 1365 км^2 [2].

Береговые склоны озера имеют три террасы. В береговой части озеро окаймляется пляжем шириной от 0,1 до 2,0 км, изрезанным руслами речек и оврагов, впадающих в озеро. Овраги глубокие (3-8 м) и короткие (2-4 км) с V-образным поперечным профилем. Общий уклон окружающей местности к озеру прослеживается до 25-ой горизонтали, а выше местность выполаживается и переходит в равнину со слабоволнистым рельефом.

В оз. Эльтон впадают мелкие степные речки. Ближайшей является р. Бол. Сморогда. Длина реки 19 км, площадь бассейна 130 км^2 . Общее падение от истока до устья – 37 м. Постоянный водоток начинается от родника, расположенного в 9 км от устья. Минерализация воды в р. Бол. Сморогда в многолетнем годовом разрезе изменяется в пределах $6,3$ - $8,87 \text{ г/дм}^3$. В целом на территории формируются воды высокой минерализации. Пресные воды встречаются редко, чаще всего в виде линз, плавающих на соленых водах.

Водоносный современный аллювиальный горизонт (aQ_{IV}) распространен в долине р. Бол. Сморогда. Водовмещающие породы представлены супесями, песками мощностью до 2-3 м. Горизонт опробован несколькими колодцами, на глубине 0,8-2 м. Дебиты немногочисленных колодцев не превышают 0,2 л/с при понижениях 1-2 м. По химическому составу воды сульфатно-хлоридные натриевые с минерализацией до 3 - 4 г/дм^3 и более.

Питание горизонта происходит за счет инфильтрации атмосферных осадков и разгрузки в него вод хвалынских и хазарских отложений. Разгрузка осуществляется в основную дренаж – оз. Эльтон.

Относительно водоносный современный озерный горизонт (hQ_{IV}) распространен в котловине оз. Эльтон и приурочен к верхнему соляному слою. Верхней его границей является соляное зеркало озера, нижней – мощная толща (до 30 м) подстилающих озерных илов и глин.

Мощность рассольного горизонта изменяется от 0,5-5 м в прибрежной части озера до 18,2 м в центре озера. Минерализация рапы 340 - 470 г/дм^3 , среднее содержание брома – $1,75 \text{ г/дм}^3$, магния – $81,6 \text{ г/дм}^3$.

Водоносный иренский горизонт (P_{1ir}) распространен к северу и северо-западу от возвышенности Улаган. Кровля его вскрывается на глубине 100-330 м. Уровень напорных вод устанавливается на глубине 30-64 м. Водовмещающими породами являются гипс-ангидритовые породы кепрока, трещиноватые, иногда закарстованные. Дебит скважин обычно изменяется в пределах 2,35-8,4 л/с при понижении 1-13,2 м. Средняя водопроницаемость горизонта составляет 47 м²/сут. Воды хлоридные натриевые с минерализацией от 10 до 208 г/дм³. Увеличение минерализации наблюдается с глубиной.

Относительно водоупорный иренский горизонт распространен повсеместно и представлен каменной солью с прослоями калийно-магниевого солей и ангидритов. Кровля горизонта в сводовых частях купола залегает на глубине 270-450 м, мощность соляной толщи более 1000 м [3, 4].

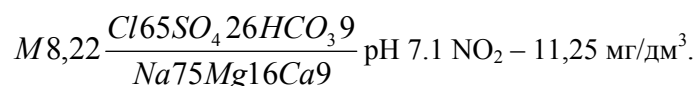
Для производства режимных наблюдений был создан пост «Эльтонский» № 100 в 2000 г. в районе санатория. Создание наблюдательной сети и ведение мониторинга геологической среды и состояния подземных вод в пределах Эльтонской природного парка приурочено к полосе, примыкающей к железной дороге к востоку от оз. Эльтон. Железнодорожная станция Эльтон – основной техногенный очаг негативного воздействия на окружающую среду и на состояние подземных вод.

Апшеронский водоносный комплекс опробован пробуренными поисково-разведочной и наблюдательными скважинами и характеризуется наличием солоноватых вод (до 5 г/дм³) в интервале 24-28 м и сильносолоноватых (6,46 мг/дм³) – в интервале 34-38 м, хлоридного натриевого состава. В естественном состоянии воды данного комплекса имеют повышенные (ПДК) содержания хлоридов, сульфатов, натрия. Величина окисляемости выше нормы, в 3,5-4,8 раза. Воды апшеронских отложений жесткие (15,7-26,35 мг-экв/дм³), нейтральные и близкие к нейтральным (рН=7,1-8,0).

Сморогдинский источник используется местным населением для лечения болезней органов пищеварения. Родник восходящего типа, слабо газирует. Расположен в правом борту пойменной террасы р.Бол.Сморогда, дренирует воды хазарских отложений. Дебит самоизлива 0,6 л/с (56,84 м³/сут).

Воды источника солоноватые с минерализацией 7,0 г/дм³. Содержание железа выше ПДК в ~ 4,7 раза, азота аммонийного – в 11,25 раза (ПДК=2 мг/дм³), окисляемость выше нормы в 4,32 раза. Содержание в воде Сморогдинского источника СО_{2св.} – 110 мг/дм³.

По данным исследований, проведенных Российским НЦВМ и К (г. Москва), по общей минерализации М=7,5-8,5 г/дм³. Подземные воды Сморогдинского источника относятся к среднеминерализованным, сульфатно-хлоридного натриевого состава:



Содержание биологически активных компонентов, брома (3,0 мг/дм³) и йода (0,2 мг/дм³) не достигают бальнеотерапевтических нормативов.

Таблица 1

Геохимическая характеристика рек, впадающих в озеро Эльтон

№ п.п.	Название озер	Минерализация, г/л	Катионы и анионы, мг/дм ³ /мг*экв						pH Уд. вес	Br, B мг/л	I, г/л	H ₂ S мг/л	Формула химического состава	Индекс воды по О.А. Але- куну
			HCO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺ +K ⁺						
1	р. Большая Сморогда	4,906	646,8 10,6	1004,9 20,9	1666,9 46,95	32,06 1,6	30,99 2,54	1713,96 74,52	7,5 —	—	—	—	$\frac{Cl160, SO_4 27, HCO_3 13}{(K+Na)95 Mg 3 Ca 2}$	S Cl ^{Na} ₁
2	б. Сорочья впадающая в Бол. Сморогду	5,26	665,09 10,9	1116,81 23,27	1648,56 46,44	210,4 10,5	182,3 14,99	1269,6 55,2	7,0 —	—	—	—	$\frac{Cl 158, SO_4 29, HCO_3 13}{(Na+K)68 Mg 19 Ca 13}$	S Cl ^{Na} _{1a}
3	р. Солянка	22,204	488 8,0	196,7 4,1	13297,6 374,6	801,6 40,0	668,8 55,0	6718,3 292,1	7,0 —	33,3	0,38	22,1	$\frac{Cl 197, HCO_3 2, SO_4 1}{(Na+K)75 Mg 15 Ca 10}$	Na Cl III б

Токсичные и нормируемые микроэлементы не обнаружены или их содержание значительно ниже предельно допустимых концентраций для минеральных вод. Обращает внимание повышенное содержание железа (суммарное) – до 12,0 мг/дм³.

В процессе проведения мониторинга было опробовано 2 поверхностных водотока: р. Бол. Сморогда и б. Сорочьей, впадающих в оз. Эльтон на его восточной части (табл. 1). Основным источником питания поверхностных вод – родники и атмосферные осадки.

Минерализация воды в р. Бол. Сморогда и в б. Сорочьей составляла 4,9, 5,3 г/дм³. В обоих поверхностных водотоках воды по химическому составу сульфатно-хлоридные натриевые. Содержание преобладающих компонентов выше ПДК: хлора – в 4,8 раза, сульфатов – в 2,2 раза и натрия – в 3,4 раза. В р. Бол. Сморогда по сравнению с водотоком в б. Сорочьей меньше концентрация магния и кальция, вода мягкая (общая жесткость 4,15 мг-экв/дм³), но отмечается повышенная в 4 раза (8 мг О₂/дм³ при ПДК=2 мг О₂/дм³) окисляемость.

Минерализация воды в р. Бол. Сморогда в 1975 г. составляла 9,5 г/дм³, в 1990 – 7,5 г/дм³ и в 2000 – 4,9 г/дм³, прослеживается опреснение поверхностных вод реки.

Все реки, впадающие в оз. Эльтон, содержат в составе своих вод ионы магния. Эльтон накапливает ионы магния, которые к началу осени достигают максимальной концентрации. По данным Г.А. Васильева содержание брома и хлористого магния в поверхностной рапе озера выше, чем в межкристаллической и составляет соответственно 2,325 и 360,49 кг/м³ в поверхностной рапе, снижаясь до 1,754 и 283,42 кг/м³ – в межкристаллической. Состав рапы оз. Эльтон выражается формулой:

$$Br1,3M474,8 \frac{Cl91SO_4,9}{Mg99(Na + K)1} pH5,2$$

Рассол хлоридный магниевый тип воды IIIa. Накоплению магниезиальных солей способствует длительный испарительный период (с апреля до ноября), в течение которого испаряется слой пресной воды до 1,5 м толщиной, превращают Эльтон в богатейший склад магниезиальных солей.

В Эльтоне, в районах устьев рек Ланцуг, Хара, Бол.Сморогда, Чернявка и др. находятся залежи грязи. Общая площадь их составляет более 6 км², а объем – не менее 3 млн. м³, по химическому составу и ряду показателей: поглощению микробов, красок, содержанию железа, сероводорода – грязь Эльтона близка грязям Мертвого моря.

В районе оз. Эльтон разрабатывается месторождение грязей на участке Старого курорта а также имеется ряд перспективных залежей: в устье б.б. Мал. Сморогда, Карантинка и урочище Старый Эльтон.

Выводы. На территории санатория «Эльтонский» отсутствуют воды, пригодные для хозяйственно-питьевых нужд и бальнеологического назначения. Вскрытые поисково-разведочной скважиной № 1-р в толще апшеронских отложений в интервалах 24-25 и 34-38 м слабоводоносные песчаные прослои, содержат воды хлоридного натриевого состава, солоноватые (до 5 г/дм³) в интервале 24-28 м и сильносолончатые (6,46 мг/дм³) – в интервале 34-38 м, Воды жесткие, с повышенным содержанием железа и высокой окисляемостью. По своему качеству они не соответствуют требованиям ГОСТа и санитарным правилам для питьевых и лечебных вод. Воды Сморогдинского источника могут быть использованы как лечебно-столовые и для лечения болезней желудочно-кишечного тракта, эндокринных (сахарный диабет) и почечных заболеваний.

Целесообразна организация стационарного полигона для изучения экзогенных геологических процессов ЭГП и прогноза их развития во времени, определение качества и количества материала, выносимого с морской хвалынской равнины при плоскостном смыве, влияния последнего на состав лечебных грязей при аккумуляции продуктов сноса в озере Эльтон и в устьевых частях балок, в частности в устье р. Бол. Сморогда.

Поверхностные водотоки – р. Бол. Сморогда и б. Сорочья, впадающие в оз. Эльтон – хлоридно-сульфатно-натриевые I и IIa типа с минерализацией 4,9–5,26 г/дм³. Питание происходит за счет атмосферных осадков и разгрузки вод хвалынских и хазарских отложений.

Поверхностная вода р. Солянки соленая хлоридная натриевая хлоркальциевого типа (IIIб) с минерализацией 22,2 г/дм³. Содержание йода, брома – 33 мг/л, сероводорода – 22,1 мг/л. Питание рек в северной части осуществляется за счет подтока хлоркальциевых рассолов по зонам разломов по периметру соляного купола.

Литература

1. Мязина Н.Г. Закономерности формирования и распространения минеральных вод в гидрогеологических структурах Волгоградской области: монография. – Волгоград: Изд-во ВолГУ, 2008. – 212 с.
2. Мязина Н.Г. Сопоставление гидрохимических особенностей озера Эльтон и Мертвого моря // Водное хозяйство России. Екатеринбург. 2013. № 1. С. 52-59.
3. Мязина Н.Г. Гидрогеохимические особенности рассолов надсолевого комплекса Прикаспийской синеклизы // Геология, география и глобальная энергия. – Астрахань, 2013. – № 4 (51). – С. 96-100
4. Мязина Н.Г. К вопросу гидрогеологического районирования надсолевого этажа Прикаспийской впадины: сб тр. Фундаментальные и прикладные вопросы гидрогеологии нефтегазоносных бассейнов / Материалы III Всеросс. науч. конф. с международным участием (к 90-летию А.А.Карцева). – Вып. 1(1). – М.: ГЕОС, 2015. – С. 77-79.

ТЕХНОГЕННЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ В ПОДЗЕМНЫХ ВОДАХ РАЙОНОВ ДОБЫЧИ УГЛЕВОДОРОДОВ (НА ПРИМЕРЕ ЮЖНОГО ПРЕДУРАЛЬЯ)

Ю.М. Нестеренко, М.Ю. Нестеренко

Отдел геоэкологии Оренбургского научного центра Уральского отделения
Российской академии наук, 460014 Оренбург, а/я 59. E-mail: geocol-onc@mail.ru

Интенсификация добычи нефти и газа в крупных нефтегазоносных районах обуславливает изменения в природной геологической среде, в том числе значительную перестройку гидрогазодинамических и геодинамических процессов в земной коре на глубины до десяти и более км на площадях до нескольких десятков тысяч кв. км, создавая условия возникновения ряда экологических проблем, существенно влияющих на развитие природы и качество жизни населения в регионе. В Южном Предуралье, расположенном на юго-востоке Восточно-Европейской платформы, более сорока лет интенсивно эксплуатируются крупнейшее в Европе Оренбургское нефтегазоконденсатное месторождение (ОНГКМ) и более сотни месторождений нефти. Высокая плотность месторождений и интенсивная их разработка обусловили техногенные изменения в геологической среде и подземных водах на площадях до 5000 км². В результате в крупных нефтегазоносных районах развиваются опасные физико-геологические и техноприродные процессы, обуславливающие повышение сейсмической активности с непредсказуемыми последствиями. Сложность проблемы заключается в охвате техногенезом больших объемов верхней части сложной по строению и естественной динамике земной коры на глубины до 10 км.

В основу решения обусловленных добычей углеводородов (УВ) геоэкологических проблем положены результаты исследования техногенно-природных изменений в системе подземных вод, гидрогазодинамических, геодинамических и геофизических процессах в районах разрабатываемых месторождений УВ Южного Предуралья.

В результате интенсивной эксплуатации месторождений газа и нефти в связи с уменьшением пластового давления значительно изменились природные процессы в системах подземных вод – их гидродинамика, направления и скорости движения и др., и, соответственно нарушились геодинамические равновесия в содержащей их геологической среде. Это привело к формированию опасных геодинамических процессов и многократному увеличению количества и интенсивности сейсмических событий в районах добычи УВ. По данным наших исследований [1, 3], на разрабатываемых месторождениях УВ в Южном Предуралье фиксируется в среднем 2-3 сейсмических события в месяц с магнитудой M_l 1 – 2 и более, что на порядок больше, чем за пределами месторождений. Техногенные изменения в недрах Земли в платформен-

ных условиях при добыче УВ протекают относительно быстро в сравнении с естественной геодинамикой и, как правило, имеют отдаленные последствия. Изменения в динамике подземных вод обуславливают соответствующие мало исследованные техногенные изменения в геодинамике твердой части земной коры. Их последствия могут привести к крупнейшим техногенным катастрофам и чрезвычайным ситуациям: землетрясениям, провалам земной поверхности, изменениям в балансе и качестве подземных вод зоны активного водообмена.

На примере Южного Предуралья нами установлено, что добыча углеводородов оказывает основное влияние на верхнюю часть земной коры через водную систему. Техногенно измененная динамика подземных вод перераспределяет напряжения в геологической среде. В геологических структурах при значительных изменениях давлений в водной системе формируется новая структура напряженно-деформированного состояния и повышается сейсмическая активность.

За время эксплуатации ОНГКМ извлечено 1,3 триллиона м³ УВ-сырья и более 30 млн. м³ попутных пластовых вод. В результате давление в продуктивной толще снизилось с 20,6 МПа до 10,0 МПа и ниже. Быстрое падение пластовых давлений создает условия для обводнения продуктивных толщ и усложняет технологию добычи газа. Притоки пластовых вод в газовую залежь идут как сбоку – по латерали, так и снизу и сверху – по вертикали. К настоящему времени по нашим исследованиям и данным ВУНИПИГаз в водонапорной системе ОНГКМ сформировалась гидродинамическая воронка мощностью до 500-600 м, а зона ее влияния простирается на 20-30 км и более к северу и к югу от контура газоносности. По линеаментам, трещинам и разломам в геологических структурах техногенные изменения давлений в водоносных горизонтах распространяются значительно дальше осредненного контура сформировавшейся гидродинамической воронки, перераспределяя по территории энергию, сформированную градиентом давлений в продуктивных пластах и пластовых водах в процессе добычи УВ. Это косвенно подтверждается повышением сейсмической активности вдоль ряда разломов и других нарушений однородности в геологической среде (рис. 1).

В связи с неоднородностью фильтрационно-емкостных свойств горных пород по вертикали и латерали, на месторождении наблюдается нестабильность скорости снижения давления и уровней пластовых вод, формирования зон обводнения, как по площади, так и по разрезу, и во времени. Проявление техногенного воздействия на месторождении на водную систему зафиксировано путем измерения уровней вод в скважинах. Так, до начала разработки месторождения, уровни воды в скважинах устанавливались на глубинах от 52 до 157 м, что соответствует отметкам от +72 до -41 м в абсолютных отметках. В настоящее время уровни воды в скважинах в районе месторождения понизились на 100 – 600 м. Это обуславливает возможность ее обводнения из окружающей водной системы, имеющей более высокое давление.

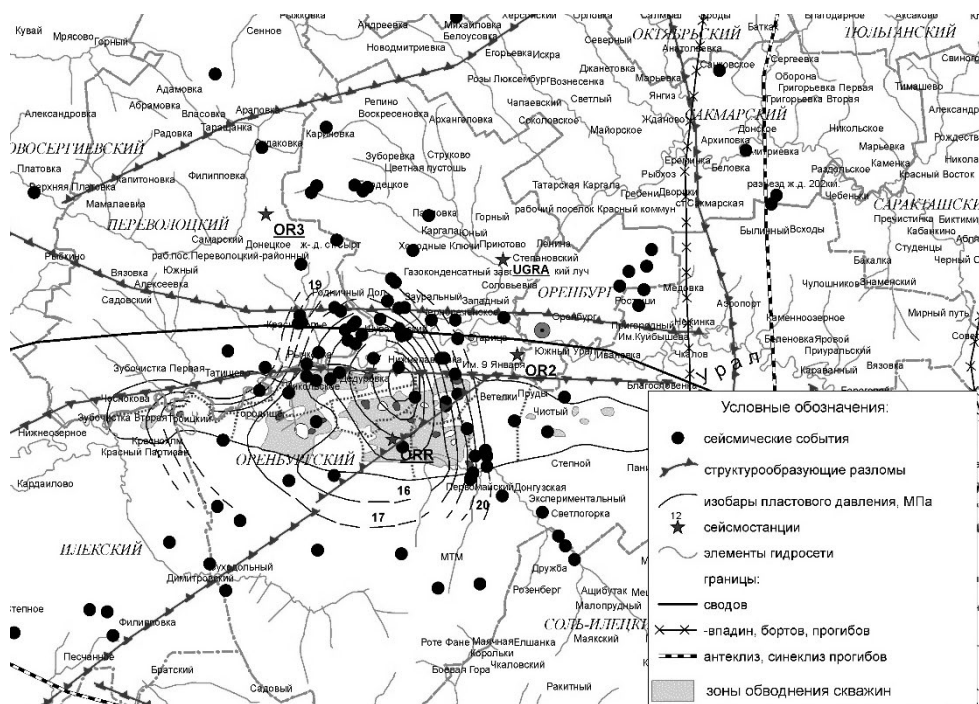


Рис. 1. Распределение давлений в пластовых водах в районе ОНГКМ, зоны обводнения газодобывающих скважин и сейсмической активности в 2010-2015 гг. (по данным авторов и материалам ООО «ВОЛГОУРАЛНИПИГАЗ»)

Оценка количества воды, внедрившейся в газоконденсатную залежь из водонапорной системы к 2015 году выполнена по формуле В.Н. Щелкачева [4]: $V = \beta * V_{\text{в}} * \Delta P$, где V - объем внедрившейся в залежь пластовой воды, тыс. м³; β - коэффициент упругости пласта, для ОНГКМ принимается $2 * 10^{-4}$ МПа⁻¹; $V_{\text{в}}$ - объем воды в водонапорной системе в зоне гидродинамической воронки, тыс. м³; ΔP - снижение пластового давления в водонапорной системе, среднее значение на 2015 г. составляет 3,5 МПа.

Объем воды в водонапорной системе определяется по формуле: $V_{\text{в}} = S * H_{\text{эф}} * K_n$, где S - площадь гидродинамической воронки, тыс. м²; $H_{\text{эф}}$ - эффективная водонасыщенная мощность в водонапорной системе, м; K_n - средний коэффициент пористости водонасыщенных пород.

Площадь депрессионной воронки с учетом распространения ее по разломам, трещинам и тектоническим нарушениям в зоны, где отсутствуют наблюдательные скважины оценивается величиной 2,5 тыс. км². Эффективная толщина водонасыщенных отложений водонапорной системы $H_{\text{эф}} = 500$ м, средний коэффициент пористости $K_n = 0,1$. Таким образом, объем воды в во-

донапорной системе в зоне техногенных изменений составляет $V_{\text{в}} = 125\ 000$ млн. м^3 , а объем внедрившейся в залежь воды составляет $V = 84$ млн. м^3 .

Количество внедрившейся пластовой воды в газоконденсатную залежь составляет всего около 2% от освободившегося объема порового пространства в результате извлечения газа в пластовых условиях.

В процессе длительной разработки ОНГКМ отмечаются участки равномерного снижения пластовых давлений, участки хаотического их колебания и участки стабильных пластовых давлений и уровней (рис. 1). Причиной нестабильности являются неодинаковые скорости обводнения скважин, формирующих зоны обводнения продуктивных толщ.

С уменьшением давления в водной системе на месторождениях углеводородов и прилегающих к ним водоносных горизонтах соответственно уменьшается противодействие гравитационному проседанию выше расположенных горных пород и вспучиванию малопроницаемой подошвы месторождения под действием сохранившегося высокого давления глубже расположенных водоносных горизонтов, что обуславливает повышение их сейсмичности.

Различна роль водного фактора в природных и техногенных сейсмических событиях. В природных землетрясениях подземные воды часто выступают как их предвестники. Повышается или понижается уровень воды в колодцах и скважинах, как правило, на небольшую величину. После землетрясений также может понизиться или повыситься их уровень [2]. В случае природных землетрясений изменения в динамике подземных вод являются следствием геодинамических процессов в земной коре. При техногенной сейсмической активности недр на разрабатываемых месторождениях нефти и газа изменившееся давление пластовых вод воздействует и нарушает сложившуюся природную напряженность в геологических структурах, обуславливая в них те или иные подвижки и соответствующую им техногенную сейсмичность.

Исследование закономерностей влияния техногенных изменений в водной системе района месторождений УВ на сейсмическую и геодинамическую активность выполнено на основе данных сети сейсмических станций, построенной отделом геоэкологии в Южном Предуралье, имеющего блоково-разломное строение геологической среды.

Выявлена роль линеаментов, трещин и разломов в геологической среде, имеющих повышенные в сравнении с ее блоками фильтрационные свойства в передаче по содержащимся в них водам энергию, сформированную градиентом давлений в продуктивных пластах и пластовых водах в процессе добычи УВ далеко за пределы месторождений и формирования возле них повышения сейсмичности (рис. 2). По данным наблюдений за сейсмичностью, выявлено, что в пределах 5 км от разломов плотность событий составляет 0,00263 ед./ км^2 год. В полосе на расстоянии от 5 до 10 км от разлома она уменьшается на 23% – до 0,00203. За пределами 10 км от разлома количество событий уменьшается в 2 – 3 раза в сравнении с их количеством в зонах ближе 5 км и близко к средней плотности сейсмических событий во всей контро-

лируемой сетью сейсмических станций территории нефтегазоносного Южного Предуралья, равной $0,0008 \text{ ед./км}^2\text{год}$. В зоне разломов, составляющей 1% контролируемой сейсмическим мониторингом территории Южного Предуралья, происходит около 30% всех событий.

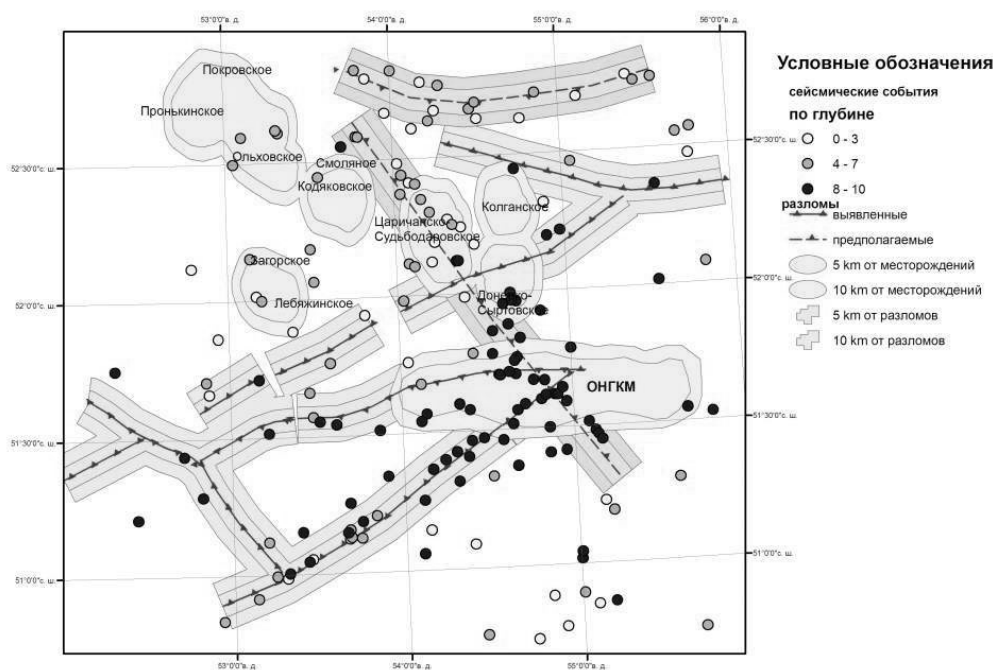


Рис. 2. Сейсмические события в 2010-2015 гг. и зоны разломов и месторождений в Южном Предуралье

Выполненные исследования позволяют заключить, что в Южном Предуралье при интенсивной эксплуатации месторождений нефти и газа уменьшение пластового давления достигает 10 МПа и более. В результате изменяются направления и скорости движения подземных вод, а также фильтрационно-емкостные свойства окружающей геологической среды, ее геодинамическое равновесие и интенсифицируются техногенные и техногенно-природные землетрясения. Мониторинг природной и техногенной сейсмичности дает возможность уточнять геологическое строение верхней части земной коры, в том числе положение разломных структур и выявлять территории техногенных нарушений давления в системе подземных вод.

Литература

1. *Нестеренко М.Ю.* Геоэкология недр нефтегазоносных районов Южного Предуралья. – Екатеринбург: УрО РАН, 2012. – 137 с.
2. *Нестеренко М.Ю., Нестеренко Ю.М., Соколов А.Г.* Геодинамические процессы в разрабатываемых месторождениях углеводородов (на примере Южного Предуралья). – Екатеринбург: УрО РАН, 2015. – 186 с.
3. *Нестеренко Ю.М., Нестеренко М.Ю., Днистрянский В.И., Глянцев А.В.* Влияние разработки месторождений углеводородов на геодинамику и водные системы Южного Предуралья // Литосфера. – 2010. – № 4. – С. 28-41.
4. *Щелкачев В.Н., Лапук Б.Б.* Подземная гидравлика. – Ижевск: НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика», 2001. – 736 с.

МЕТАМОРФИЗАЦИЯ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА ВОДЫ В ОТСТОЙНИКАХ ПРИ ДЛИТЕЛЬНОМ ХРАНЕНИИ НА МЕСТОРОЖДЕНИИ БОМ-ГОРХОН

А.М. Плюснин, В.С. Ташлыков, В.В. Дабаева

Геологический институт СО РАН, 670047, г.Улан-Удэ, ул. Сахьяновой, д. 6а.
E-mail: plusnin@gin.bsnet.ru; dv.viktoriya@mail.ru

Бом-Горхонское вольфрамное месторождение расположено в западной части Забайкальского края, в Цаган-Хуртейском хребте, в верховьях речки Бом-Горхон, левого притока реки Хилок. Месторождение приурочено к юго-западному эндоконтакту Бом-Горхонского гранитного массива, сложенного мелко-среднезернистыми биотитовыми гранитами гуджирского комплекса. Вольфрамное оруденение связано с кварцевыми жилами, сопровождающимися зонами грейзенизации. Мощность жил достигает первых метров в раздувах. Главными минералами жил являются кварц, микроклин, мусковит, пирит, гюбнерит. Второстепенные минералы представлены флюоритом, тонкочешуйчатым мусковитом, биотитом, альбитом, эпидотом, молибденитом, сфалеритом, висмутином и козалитом (табл. 1).

Для переработки руды применена флотационно-гравитационная технология с получением вольфрамитового и сульфидного концентрата. Хвосты переработки размещаются в долинах ручьев Бом-Горхон и Зун-Тигня, где заскладировано сотни тысяч тонн песков с содержанием WO_3 от 0,1 до 0,35%, что соответствует бедным вольфрам-содержащим россыпям. Это техногенное месторождение в настоящее время разрабатывается с применением традиционной для вольфрамных руд технологии, которая дает извлечение вольфрама менее 30% от химически определяемого в хвостах [2].

Для промывки песков создана система отстойников, которые различаются длительностью использования и хранения промывных вод. В отстойники с поверхностным и подземным стоком проникают и атмосферные осадки,

выпадающие в пределах хранилища. При дренировании хвостов переработки осадки взаимодействуют с рудной минерализацией, вмещающими породами и обогащаются растворимыми продуктами выветривания. На побережье отстойников на испарительном барьере происходит отложение сульфатных, гидроксидных, карбонатных минералов [3].

Таблица 1

**Минеральный состав и относительная распространенность минералов
Бом-Горхонского рудного поля [1]**

Относительное распространение	Эндегенные минералы		Экзогенные минералы
	Жильные	Рудные	
Главные	Микроклин Кварц Мусковит	Пирит Гюбнерит	Гидроокислы железа Ярозит
Второстепенные	Флюорит Серицит Альбит	Молибденит Сфалерит Висмутин Козалит	Мартит Гидрогематит Базовисмутин Ферримолибденит
В малом количестве	Адуляр Апатит Хлорит Карбонаты	Шеелит Халькопирит Касситерит Магнетит Гематит Галенит Станин Пирротин	Халькозин Ковеллин
Редкие	Берилл	Тетрадимит Самородный висмут Бисмутоплагионит	

Нами исследован химический состав вод отстойников в сравнении с рудничными водами, которые накапливаются в горных выработках за счет фильтрации атмосферных осадков. Рассматриваемые водные объекты различаются степенью взаимодействия кислых вод с вмещающими рудную минерализацию породами. Химический состав рудничных вод формируется за счет растворения продуктов выветривания рудной минерализации, которые накопились в зоне окисления месторождения. Рудничные воды перемещаются в горные выработки по разрывным нарушениям. При этом их степень взаимодействия с вмещающими оруденение породами нами оценивается как минимальное, так как поверхность взаимодействия ограничивается поверхностью разрывных нарушений и дном карьеров. Другое дело – отстойники промывных вод. В них хранятся воды, которые прошли стадию промывки песков. Как нами было показано ранее, при взаимодействии с длительно хранящимися хвостами переработки руд, закисление вод происходит очень быстро [4]. Поэтому при промывке с песками взаимодействуют уже кислые воды. Пески издроблены в технологическом процессе и обладают большой поверхностью. Даже при использовании вод в однократной промывке степень

взаимодействия воды с породами выше, чем в рудничных водах, а эти воды использовались для промывания много раз. Таким образом, степень их взаимодействия с породами значительно выше, чем у рудничных вод.

Исследования отстойников Бом-Горхонского ГОКа показали, что при хранении воды значительно возрастают содержания высокотоксичных элементов, относящихся к первой и второй группе опасности (табл. 2). Содержание бериллия (1 группа) превышает фоновые значения, за которые принята концентрация в пруде, расположенном в 300м от полигона хранения хвостов, в 164 раза, ПДК превышено в 135 раз. Содержание кадмия (2 группа) превышает ПДК в 440 раз [5]. В десятки и сотни раз превышают фоновые концентрации ряд тяжелых металлов и алюминий.

Вода в карьере слабокислая по химическому типу сульфатная кальциевая, минерализация ее одна из самых низких среди других техногенных водных объектов месторождения и составляет 672 мг/дм³. В анионном составе преобладает сульфат. Несмотря на выработку рудных жил, его концентрация обеспечивается окислением сульфидов во вмещающих породах.

Таблица 2

Содержание тяжелых металлов и лантаноидов в рудничных водах и прудах-отстойниках Бом-Горхонского ГОКа, мкг/л

Элементы	Карьер рН=3,67	Штольня 4 рН=4,7	Штольня 7рН=2,72	Пруд, рН=8,53	Мочаж. под дам- бой рН=6	Дренаж под дам- бой рН=5	Отстойник рН=3,5
	<i>Горные выработки</i>			<i>Отстойники в долине реки Зун-Тигня</i>			
Be	18,82	12,42	27,22	0,182	66,71	56,53	26,99
Mn	5711,67	639,21	5510,76	1221,66	53609,74	50017,44	21302,83
Fe	16,27	17,11	35,21	123,61	459,00	1604,37	14206,65
Co	8,46	2,19	13,36	0,534	343,51	289,96	131,43
Ni	19,27	14,67	13,12	5,02	254,86	243,17	106,65
Cu	31,06	51,75	67,38	9,47	372,92	173,34	346,37
Zn		1166,92	16371,92	319,97	74529,24	64946,09	41033,19
Cd	341,71	19,61	293,37	5,69	780,50	521,44	441,45
Al	10385,2	3011,6	4835,3	160,6	207794,8	191277,6	108439,9
La	2,97	6,30	33,14	1,43	81,41	53,81	151,04
Ce	3,90	6,77	40,33	1,53	140,18	105,01	324,09
Pr	0,403	0,622	2,70	0,526	9,64	7,61	26,89
Nd	1,172	1,908	7,516	0,353	33,06	26,53	97,47
Sm	0,189	0,245	0,837	0,052	6,120	5,021	17,17
W	3,28	0,097	0,311	0,235	0,046	0,097	0,026
Pb	0,824	0,479	1,447	4,57	5,018	4,90	1,25

Воды в штольнях слабокислые сульфатного кальциевого состава. Концентрации металлов в штольневых водах существенно выше, чем в воде карьерного озера, и по ряду элементов достигают миллиграммовых значений (Zn, Cu, Al). Более минерализованы воды, дренирующие глубокие горизонты месторождения (914 мг/дм³), им же, свойственны и более высокие концентрации микроэлементов. В целом, воды рудного объекта содержат гораздо более низкие содержания сульфата – в среднем около 298 мг/дм³ против 1425,2 мг/дм³ в прудах-отстойниках.

Вода в прудах-отстойниках в долине р. Бом-Горхон слабокислая с минерализацией до 1350 мг/дм³. Воды отстойников долины реки Зун-Тигня имеют рН около трех и отличаются еще большим содержанием сульфата и микроэлементов. Общая минерализация достигает 3853 мг/дм³. Общая минерализация воды растет с увеличением кислотности, главным образом вследствие сернокислотного разложения вмещающих пород, при этом увеличиваются не только содержание основных катионов, но и алюминия, а также редкоземельных элементов.

Определен состав донных отложений прудов – отстойников. Распределение элементов, типичных для минеральных ассоциаций месторождения, одинаковое как в долине р. Зун-Тигня, так и в долине р. Бом-Горхон, поскольку обогащение донных отложений происходит по одному сценарию – исключительно за счет процессов выноса из отвалов и высаживания в виде труднорастворимых соединений в отстойниках. Повышенные концентрации Fe, Zn, Bi объясняются присутствием в руде таких минералов, как пирит, сфалерит, висмутин. Выявлено обогащение донных отложений стронцием (до 360 г/т), и высокое содержание таких элементов как – Rb (до 768 г/т), Zr (до 453 г/т). Огромные содержания ряда элементов в донных отложениях являются результатом неэффективной переработки руды (рис. 1).

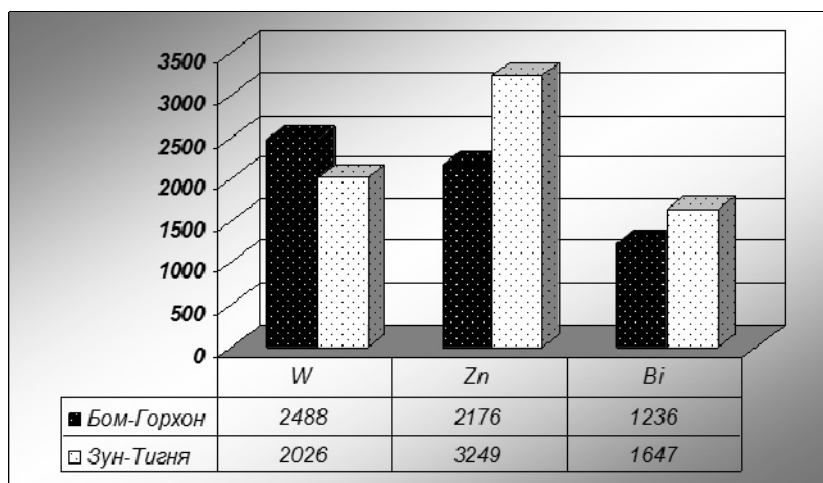


Рис. 1. Содержание некоторых элементов в донных отложениях отстойников, г/т

Нами проведен эксперимент по взаимодействию крупных глыб известняка с водой в отстойнике Бом-Горхонского ГОКа. Глыбы находились в контакте с водой в течение одного месяца, затем они были извлечены и проанализированы. С поверхности глыбы покрылись отложениями коричневого цвета. Реакция известняка с кислыми водами захватила слой мощностью 3-4 см. Были отобраны пробы из измененной и неизмененной части известняка, которые проанализированы различными методами в нескольких повторах. Установлено, что на поверхности известняка высаживаются из раствора породообразующие элементы Si, Al, Fe. Карбонатная порода в условиях кислой среды, концентрирует в себе и ряд металлов, таких как Cu, Cr, V, Co, Ni, содержание меди достигает сотен грамм на тонну. И самое главное в измененной части известняка концентрируются редкие земли, результаты представлены в табл. 3.

Таблица 3

Содержание редких земель в известняке, помещенном на 1 месяц в отстойник кислых вод Бом-Горхонского ГОКа, г/т

Элементы	БГ-1Н	БГ-1И	БГ-2Н	БГ-2И	БГ-3Н	БГ-3И
La	3,3	94	40	94	26,0	34,7
Ce	6,0	190	85	200	48,3	66
Pr	<2	16,0	6,6	15,5	4,2	5,4
Nd	2,4	62,0	27,5	63,0	17,5	25,4
Sm	<1	11,4	5,1	11,5	3,0	4,6
Eu	0,12	1,86	0,87	1,95	0,54	0,79
Gd	<2	7,85	3,7	8,1	2,2	3,3
Tb	<0,5	1,3	0,66	1,4	<0,5	0,65
Dy	<1	6,7	3,0	6,7	1,9	2,8
Ho	<0,5	1,15	0,5	1,1	<0,5	0,50
Er	<0,5	3,1	1,4	3,1	0,84	1,35
Tm	<0,3	0,34	<0,3	0,50	<0,3	<0,3
Yb	0,24	3,0	1,3	2,9	0,95	1,5
Lu	<0,15	0,42	0,18	0,38	<0,15	0,22
Y	3,9	35,9	16	35,0	9,8	14,0

Примечание. Буквой Н обозначен неизмененный известняк, проба отобрана из внутренней части глыбы; буквой И обозначен измененный известняк, проба отобрана с поверхности глыбы.

Литература

1. Сизых В.И. Бом-Горхонское вольфрамовое месторождения // Месторождения Забайкалья. – М.: Геоинформмарк, 1995. – Т. 1. – Кн. 1. – С. 134-138.
2. Соколова А.Д., Стрельцова А.А. Исследование хвостов вольфрамовых руд Бом-Горхонского месторождения на обогатимость // Известия высших учебных заведений. Серия: Химия и химическая технология. Ивановский государственный химико-технологический университет (Иваново). – 2014. – С. 37-39.

3. *Еремин О.В., Эпова Е.С., Смирнова О.К., Юргенсон Г.А.* Экспериментальное и теоретическое изучение взаимодействий воды с породами и рудами вольфрамового месторождения Бом-Горхон (Забайкалье) // Современные проблемы геохимии: мат. Всероссийского совещания. – Иркутск, 2012. – С. 202-206.

4. *Плюснин А.М., Жамбалова Д.И., Дабаева В.В.* Миграция токсичных элементов в толще намывного хвостохранилища Джидинского ГОКа. Минералогия и геохимия ландшафта горнорудных территорий. Рациональное природопользование. Современное минералообразование. – Чита: Поиск, 2014. – С. 54-59.

5. СП 11-102-97 «Инженерно-экологические изыскания для строительства». – М., 1997. – 47 с.

ИЗМЕНЕНИЕ РАЗГРУЗКИ ПОДЗЕМНЫХ ВОД ПРИ ОТРАБОТКЕ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ЦЕМЕНТНОГО СЫРЬЯ (СВЕРДЛОВСКАЯ ОБЛАСТЬ, Г.СУХОЙ ЛОГ)

П.А. Рыбников, Л.С. Рыбникова

Институт горного дела Уральского отделения Российской академии наук, 620075,
г. Екатеринбург, ул. Мамина-Сибиряка, 58. E-mail: ribnikoff@yandex.ru

При оценке ресурсов подземных вод одним из важнейших элементов является изучение количества и качества родникового стока. Источники формирования такого стока достаточно сложны и не всегда очевидны. Традиционный подход, заключающийся в геолого-геоморфологическом определении принадлежности стока тому или иному водоносному горизонту, не всегда корректно позволяет определить источники формирования ресурсов.

В пределах горноскладчатого Урала наиболее водообильными являются карбонатные породы. В частности, месторождения подземных вод, расположенные в пределах Восточно-Уральской карстовой провинции, используются для водоснабжения городов Каменск-Уральский, Богданович.

Один из феноменов, присущих изучаемой территории – практически полное отсутствие разгрузки подземных вод в русло реки. Вышесказанное хорошо иллюстрируется опытом наблюдений в районе г. Сухой Лог – суммарный дебит выявленных и задокументированных родников составляет порядка 50% всего общего стока территории: общий сток – 98 л/с, суммарный дебит зафиксированных на водосборной площади родников – 40-55 л/с, а абсолютные отметки выхода родников выше уреза воды в реке на 5-15 м. Родники каптируют трещинно-карстовый водоносный комплекс и палеогеновый водоносный горизонт.

Описываемый район расположен в зоне сочленения Уральской гидрогеологической складчатой области и Западно-Сибирского артезианского бассейна. Основным водоносным комплексом является трещинно-карстовый, приуроченный к визейским известняками и терригенным породам карбона.

В восточной части рассматриваемой области локальное распространение приобретает палеогеновый водоносный горизонт (мощностью до 50 м), который приурочен к опокам серовской свиты и отделен от трещинно-карстового водоносного комплекса толщей (до 20 м) слабопроницаемых меловых глин.

В районе расположена группа месторождений цементного сырья: Кунарское месторождение известняка, Курьинское месторождение трепелов и опок, Ново-Сухоложское месторождение аргиллитов. Месторождения отрабатываются с середины 1970-х гг. Водоотлив на Кунарском месторождении действует с 1986 г. (среднегодовое значение 4500 м³/сут), на Ново-Сухоложском с 2000 г. (среднегодовое значение 1000 м³/сут), Курьинское месторождение отрабатывается выше уровня подземных вод.

Для оценки воздействия отработки на окружающую среду была создана сеть мониторинга, в том числе наблюдательные скважины на известняки, терригенные породы и опоки. На начальном этапе наблюдений в районе Курьинского месторождения трепелов и опок было выявлено повышенное содержание иона хлора (рис. 1) в воде одной из наблюдательных скважин (13н).

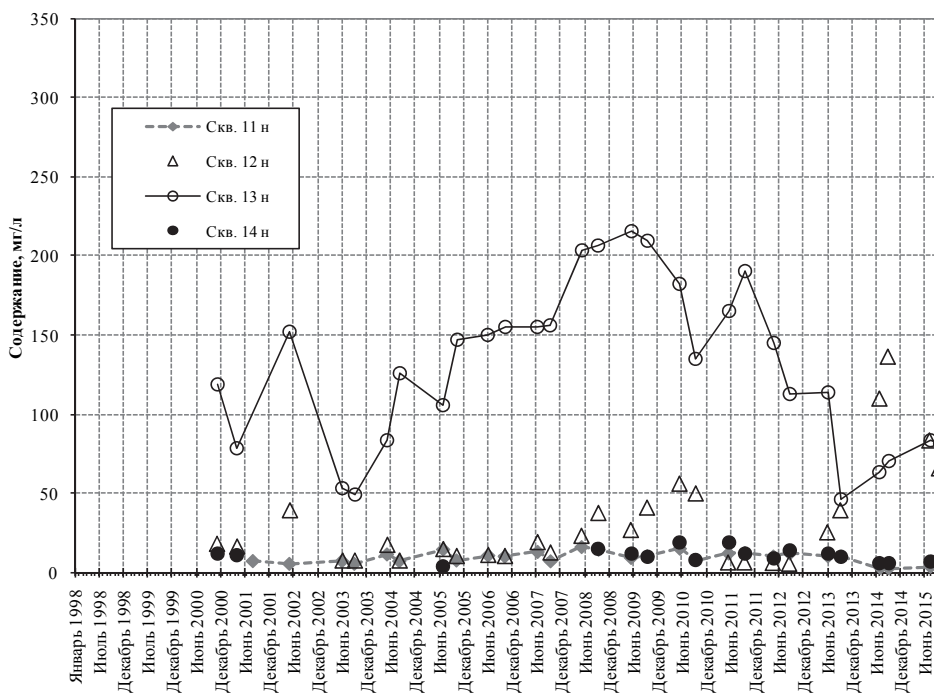


Рис. 1. Графики изменения концентрации иона хлора в наблюдательных скважинах

После включения в наблюдательную сеть техногенных водоемов (затопленных карьеров «Белая глина» и «Огнеупорных глин») был установлен источник загрязнения – затопленный карьер «Белая глина», вода в котором характеризовалась минерализацией до 2 г/л, при содержании хлоридов до 1,2 г/л (рис. 2).

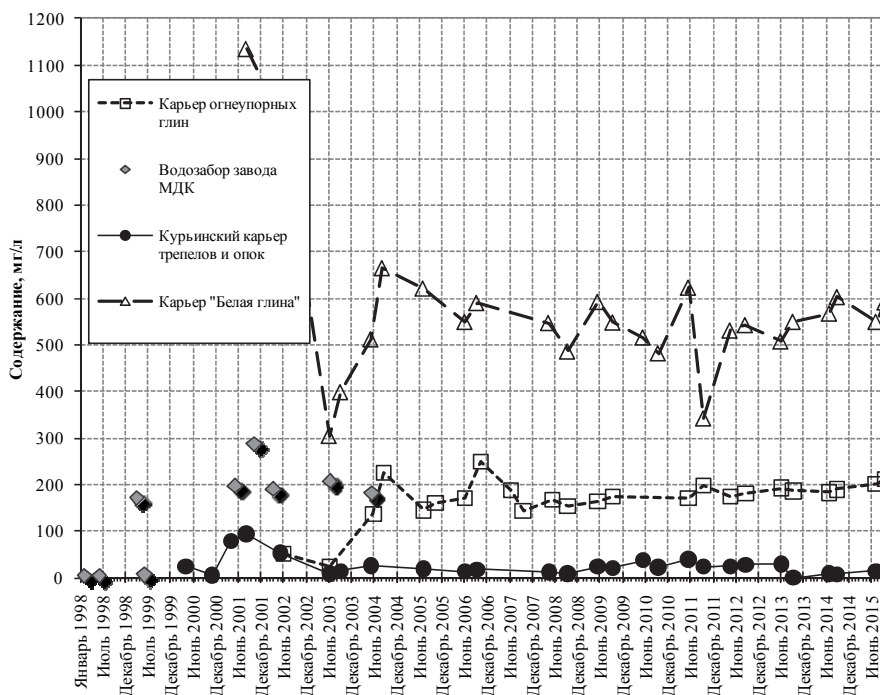


Рис. 2. Графики изменения концентрации иона хлора в техногенных водоемах и водозаборной скважине

Для оконтуривания ареала загрязнения в наблюдательную сеть были включены родники в долине реки Пышма, каптирующие трещинно-карстовый водоносный комплекс и палеогеновый водоносный горизонт с суммарным дебитом порядка 20-25 л/с. По результатам опробований было выявлено повышенное содержание хлоридов в воде родника №1 (рис. 3), каптирующего трещинно-карстовый водоносный комплекс (дебит родника достаточно стабильный и составляет 8-12 л/с). Родник геоморфологически расположен вне зоны развития опок, координаты точки выхода подземных вод надежно определены топогеодезическими работами.

Карьером «Белая глина» отрабатывалось месторождение огнеупорных глин, отработка завершена в 1973 г., данных о глубине вскрытия месторождения не сохранилось. Никаких предпосылок для роста концентрации хлори-

дов в процессе затопления карьера не было: в разрезе присутствуют опоки, меловые глины и известняки, минералогический состав пород идентичен близлежащему (500 м) месторождению огнеупорных глин. По опыту эксплуатации карьера Курьинского месторождения трепелов и опок, карьера огнеупорных глин и согласно наблюдениям за изменениями химического состава подземных вод фоновые значения хлоридов в подземных водах не превышают 20 мг/л.

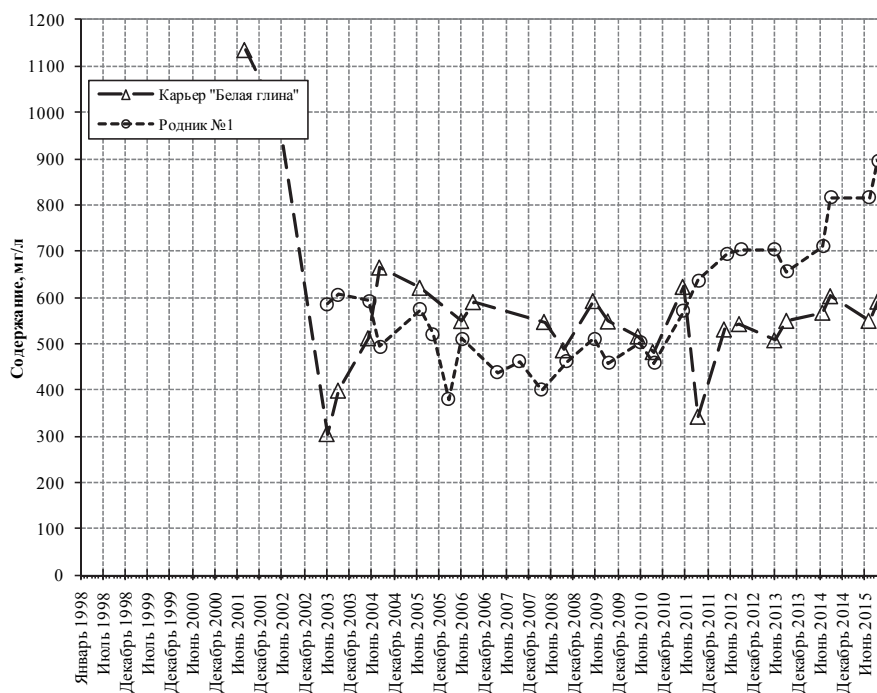


Рис. 3. График изменения концентрации иона хлора в роднике №1 и карьере «Белая глина»

В процессе маршрутных обследований было установлено, что основным источником загрязнения воды в затопленном карьере «Белая глина» является несанкционированный сброс промышленных стоков завода мостовых и дорожных конструкций (МДК) в карьер. Стоки завода МДК характеризуются минерализацией до 20 г/л, концентрация хлоридов – до 10 г/л.

В связи с хорошей корреляцией изменения химического состава воды родника №1 и воды в затопленном карьере «Белая глина» был сделан вывод о том, что карьер является своеобразным «гидрогеологическим окном»: из карьера загрязненные воды напрямую инфильтруются в трещинно-карстовый водоносный комплекс и затем разгружаются в виде родника в долине реки Пышма.

Базовый этап мониторинга позволил определить виновника и источник загрязнения, найти область разгрузки загрязненных подземных вод, предварительно выявить ареал загрязнения.

Вопрос с уточнением возможных путей миграции загрязненных вод возник при составлении проекта углубления и расширения Кунарского карьера известняка. При обосновании дренажной системы карьера требовалось не только определить прогнозный водоприток, но и дать прогноз качества дренажных вод.

Кунарский карьер известняка отрабатывается с внутрикарьерным дренажным водоотливом (зумпфом) с 1986 года, глубина карьера в настоящее время 40 м – в отработке находится горизонт +120 м, в ближайшее время планируется углубление карьера до горизонта +100 м и увеличение площади карьера почти в полтора раза.

К моменту разработки проекта осушения Кунарского карьера были получены данные о качестве воды водозабора завода МДК, расположенного ниже по потоку на 300 м от затопленного карьера «Белая глина». Водозабор оборудован на трещинно-карстовый водоносный комплекс (известняки) и последние 10 лет работает со стабильным дебитом 210-300 м³/сут. Качество воды характеризуется повышенными относительно фоновых концентрациями хлоридов – до 200 мг/л. При этом концентрации хлора в воде родника №1 достигают 900 мг/л.

При решении обратных задач было установлено, что при достаточно надежно определенном диапазоне изменения таких параметров, как величина инфильтрационного питания и проводимость трещинно-карстового водоносного комплекса дебит, родника не может превышать 5 л/с, а концентрации хлора в воде водозабора не могут быть ниже, чем в воде родника. Следовательно, представление о карьере «Белая глина» как о «гидрогеологическом окне» не соответствуют действительности и требуется объяснить механизм формирования качества воды родника и установить балансовые составляющие.

Единственная правдоподобная гипотеза, позволяющая объяснить сложившийся парадокс, заключается в следующем: сток родника формируется из двух источников – разгрузки палеогенового водоносного горизонта в области выклинивания опок и разгрузки трещинно-карстового комплекса. Для проверки этой гипотезы была решена серия эпигнозных задач, воспроизводящих процесс формирования фронтов загрязнения в палеогеновом водоносном горизонте и трещинно-карстовом водоносном комплексе (рис. 4). Выдвинутая гипотеза подтвердилась модельными расчетами, как при определении балансовых составляющих, так и при анализе распространения загрязнения.

По результатам решения обратных задач было принято решение о проведении дополнительных маршрутных обследований, направленных на поиск зоны разгрузки палеогенового водоносного горизонта. Зона разгрузки была обнаружена в виде рассредоточенного выхода подземных вод в области выклинивания опок. Палеогеновый водоносный горизонт разгружается в виде

ГИДРОДИНАМИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ЗАТОПЛЕНИЯ РУДНИКОВ ГОРНОСКЛАДЧАТОГО УРАЛА

Л.С. Рыбникова, П.А. Рыбников

ФГБУН «Институт горного дела Уральского отделения Российской академии наук»,
620075, г. Екатеринбург, ул. Мамина-Сибиряка, 58. E-mail: ribnikoff@yandex.ru

Введение. К настоящему времени многие страны, ранее в течение столетий интенсивно развивавшие горную промышленность, исчерпали запасы полезных ископаемых и прекратили добычу, либо значительно снизили горнодобывающую активность. После отключения всех откачивающих устройств начинается заполнение емкости горных выработок, подработанного массива, а также восстановление уровня подземных вод в пределах ранее созданной депрессионной воронки. Прогноз предельного положения уровня и времени его достижения определяет восстановительные мероприятия и способы очистки шахтных вод, но является весьма неопределенным. Несмотря на наличие хорошо проработанных моделей (аналитических, эмпирических и численных) для прогноза заполнения депрессионных воронок в районе отработанных шахт, достоверная оценка для конкретного объекта всегда проблематична независимо от сложности используемого аппарата. Как правило, закономерности, установленные опытным путем, в значительной мере могут определить успех калибровки численных моделей, которые основываются на концептуальных моделях.

Целью работы является обоснование концептуальной гидродинамической модели района затопливаемых горных выработок и разработка методики прогноза гидрогеологических условий аналитическими методами после остановки шахтного водоотлива в условиях, характерных для рудников Среднего Урала.

Гидродинамические процессы, сопровождающие затопление подземных рудников. В процессе затопления приток воды в шахту все время изменяется: максимальные значения наблюдаются в начале процесса затопления, к завершению его при подъеме уровня приток уменьшается. Это связано с тем, что, с одной стороны, снижается градиент потока между поднимающимся уровнем в затопливаемой шахте и уровнем подземных вод в области питания, с другой – уменьшается объем депрессионной воронки.

В обобщенном виде время затопления t может быть представлено как функция ряда параметров [8, 9]

$$t = f(V_m, V_r, c_r, A, P, E, R),$$

где V_m – объем выработанного пространства; V_r – объем пористой матрицы пород; c_r – соотношение между пустотностью (пористостью, трещиноватостью) пород и объемом шахтных выработок; A – осушенная площадь; P – осадки; E – испарение и эвапотранспирация; R – поверхностный сток.

Основная задача при прогнозе затопления заключается в определении осушенного объема пород и величины водопритоков. Даже если все исходные данные оценены достаточно точно и решены прогнозные задачи, технические и метеорологические особенности конкретных шахт могут приводить к катастрофическим прорывам. Например, 13 января 1994 г. на оловянной шахте Cornish Wheal Jane (Англия) 30 тыс.м³ загрязненных шахтных вод залпово вышло на поверхность [8]. Для прогноза последствий и процесса затопления медно-цинковой шахты Mežica (Словения) был выполнен большой объем работ (запуск трассеров, лабораторные исследования, детальный анализ периода отработки шахты), время затопления было оценено в 1245 дней, реально затопление завершилось в три раза быстрее. При анализе возможных причин ошибочного прогноза было высказано предположение, что был завышен объем осушенных пород, т.е. объем депрессионной воронки [8].

Прогноз заполнения депрессионной воронки при ликвидации угольных шахт. На практике используются зависимости, отражающие историю отработки шахты [3, 4]

$$t = \frac{K_{\text{п}} V_{\text{м}}}{Q}, \quad (1)$$

где $K_{\text{п}}$ – коэффициент пустотности (заполнения); $V_{\text{м}}$ – объем вынутой горной массы. Коэффициенты заполнения зависят от горно-геологических условий, параметров отработки, для шахт Донбасса они оцениваются величинами от 0,2 до 0,8 [3]. Для ориентировочных оценок режима затопления горных выработок рекомендуется применять значения коэффициента пустотности $K_{\text{п}} = 0,2 \div 0,3$ [4].

На основе статистического анализа результатов мониторинга режима затопления 26 шахт Кузбасса (рис. 1, а) получена эмпирическая зависимость для расчета времени затопления t , которое прямо пропорционально объему удельной горной массы $V_{\text{удгм}}$ и обратно пропорционально среднегодовому водопритоку Q в шахту перед его отключением [7]

$$t = 0,0783 K_{\text{г}} \frac{V_{\text{удгм}}}{Q}, \quad (2)$$

где t – время затопления, месяцы; $K_{\text{г}} = H_i/H_{\text{ср}}$ (при $H_{\text{ср}} = 205$ м); $V_{\text{удгм}} = V_{\text{гм}}/H$ – объем удельной горной массы, м³, на 1 погонный метр глубины шахты, $V_{\text{гм}}$ – объем вынутой горной массы, H – глубина горных работ; 0,0783 – обобщенный эмпирический коэффициент.

Прогноз заполнения депрессионной воронки после остановки шахтного водоотлива на рудниках Среднего Урала. Продолжительность затопления рудников Среднего Урала, как правило, составляет 4-6 лет, средняя скорость затопления около 15 м в месяц (от 30-40 м в месяц в начале процесса до 2-5 м в месяц и менее на завершающем этапе). Фактических данных о затоплении рудников в пределах Уральского региона немного. Так, имеется

детальная режимная информация по Дегтярскому и Левихинскому рудникам [1, 2, 5] (рис. 1, б).

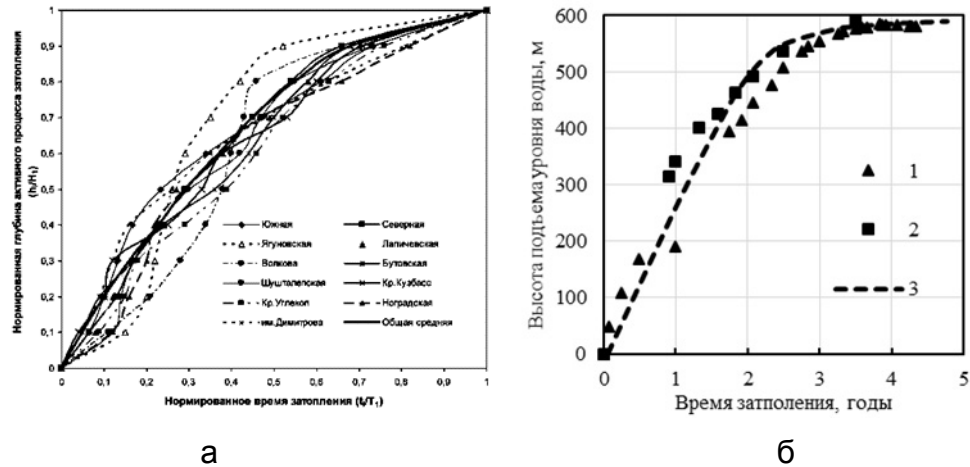


Рис. 1. Зависимость между показателями глубины уровня подземных вод и временем затопления:
 а – шахты Кузбасса [7], б – рудники Урала (1 – Дегтярский, 2 – Левихинский),
 3 – расчетная зависимость

Использование приведенных выше зависимостей (1, 2) для оценки времени затопления рудников Урала дает неправдоподобные результаты. Так, ориентировочный объем выработанного пространства на Дегтярском и Левихинском рудниках составляет около 5 млн м³ [1, 5], что при глубине отработки 600 м дает удельный объем горной массы 8,3 тыс. м³/м. Тогда при водоотливе $Q = 5$ тыс. м³/сут время затопления шахт должно было бы составить около 300 сут, т.е. меньше 1 года, реально это происходит в течение 4 – 5 лет (в этом случае коэффициент пустотности должен составлять $K_{п} = 1,2$).

Процесс восстановления уровня подземных вод после прекращения водоотлива в гидродинамическом плане идентичен процессу восстановления уровня после остановки откачки. Для оценки пространственно-временных закономерностей формирования гидродинамической обстановки можно воспользоваться зависимостями, предложенными В.М. Шестаковым для обработки данных восстановления [6].

Повышение (восстановление) уровня ΔH от предельно достигнутого S_0 в процессе водоотлива начиная с момента времени $t_b \geq 3 r^2/a$ можно оценить, используя выражение

$$\Delta H = S_0 - S = S_0 - \frac{Q}{4\pi T} \ln \frac{t_0 + t_b}{t_b} = S_0 - \frac{Q}{4\pi T} \lg \frac{t_0 + t_b}{t_b}, \quad (3)$$

где t_0 – продолжительность водоотлива (сутки); t_b – продолжительность восстановления (время после остановки водоотлива, сутки); S_0, S – понижение уровня, максимальное и текущее, соответственно; Q – установившийся перед отключением расход водоотлива ($\text{м}^3/\text{сут}$); T – проводимость пласта ($\text{м}^2/\text{сут}$).

Соответственно, временную зависимость восстановления уровня после остановки водоотлива можно определить по уравнению

$$t_b = \frac{t_0}{10^A - 1}, \quad A = \frac{ST}{0,183Q} \quad \text{или} \quad t_b = \frac{Qt_0}{4\pi TS} \quad (4)$$

если время восстановления уровня значительно превышает время откачки $t_b \geq 10 t_0$.

Использование приведенных выше зависимостей для рудников, обрабатываемых в течение десятков лет, приводит к получению неправдоподобных результатов: так, при водоотливе 5 тыс. $\text{м}^3/\text{сут}$ в течение 50 лет время восстановления уровня составило бы десятки лет (при $T = 20 \text{ м}^2/\text{сут}$), на самом деле продолжительность этого периода не более 3-5 лет. Указанное расхождение связано с тем, что в случае продолжительного водоотлива время t_0 должно корректироваться с учетом закономерностей формирования стационарного режима, когда по мере вовлечения всех источников формирования эксплуатационных ресурсов прекращается расширение депрессионной воронки, а Qt_0 – по сути не общий объем, откачанный за весь период эксплуатации, а расход водоотлива, обеспеченный сработкой емкостных запасов и естественными ресурсами, что соответствует времени стабилизации t_c .

Оценить продолжительность процесса формирования установившегося режима при водоотливе можно, исходя из следующих соображений (достоверные режимные наблюдения не всегда имеются в наличии). Радиус питания водоотлива R зависит с одной стороны от естественных ресурсов района

$$R = \sqrt{\frac{Q}{\pi\varepsilon}}, \quad (5)$$

где ε – инфильтрационное питание ($\text{м}/\text{сут}$); с другой может быть определен как

$$R = 1,5\sqrt{at_c}. \quad (6)$$

Тогда продолжительность установления стационарного режима t_c составит

$$t_c = \frac{R^2}{2,25a} = \frac{Q}{2,25\pi\varepsilon a} = \frac{Q\mu}{2,25\pi\varepsilon T}, \quad (7)$$

где $a = T/\mu$, μ – гравитационная (или упругая для напорных пластов) водоотдача. Для условий, характерных для месторождений полезных ископаемых горноскладчатого Урала ($Q = 5000 \text{ м}^3/\text{сут}$, $\mu = 0,002$, $\varepsilon = 1,5 \text{ л/с/км}^2 = 1,3 \cdot 10^{-4} \text{ м/сут}$, $T = 20 \text{ м}^2/\text{сут}$), продолжительность этого периода ориентировочно оценивается как 550 сут, при этом радиус питания составит 3,5 км.

На динамику затопления и характер восстановления уровня после прекращения водоотлива существенное влияние оказывает заполнение емкости горных выработок, в первую очередь шахтных стволов. Это время может быть оценено по зависимости [6]

$$t' = \frac{\alpha \omega \Delta H}{Q}, \quad (8)$$

где ω – площадь поперечного сечения шахтного ствола, ΔH – высота подъема уровня воды в стволе, Q – расход водоотлива, α – эмпирический коэффициент.

Общая методика оценка времени заполнения депрессионной воронки после остановки шахтного водоотлива следующая. По зависимости (7) определяется продолжительность периода формирования установившегося режима t_c , при этом для учета неоднородности фильтрационных, емкостных свойств и питания по площади необходимо использовать обобщенные параметры в области гидродинамического влияния горной выработки. Общая продолжительность и динамика заполнения депрессионной воронки оценивается по зависимости (4) с учетом (8).

При глубине шахты 600 м повышение уровня на 500 м происходит в течение 2 лет практически по линейному закону, скорость подъема составляет около 20 м в месяц, 90% водопритока расходуется на заполнение шахтных выработок. Далее темп заполнения депрессионной воронки снижается, график повышения уровня принимает параболический вид, 90% водопритока расходуется на заполнение емкости пород (рис. 1).

Выводы. Процесс восстановления уровня подземных вод после прекращения водоотлива в гидродинамическом плане идентичен процессу восстановления уровня после остановки откачки. Использование для оценки пространственно-временных закономерностей формирования гидродинамической обстановки в районе затопленного рудника зависимостей, описывающих процесс восстановления и модифицированных для условий горноскладчатого Урала, свидетельствует об удовлетворительном совпадении фактических данных и результатов аналитических расчетов. Детализация положения уровня подземных вод в плане должна выполняться с использованием численного геофильтрационного моделирования [1, 3, 5].

Литература

1. Вишняк А.И., Силина О.А. Мониторинг геологической среды Дегтярского медноколчеданного месторождения (за 2003-2004 гг.). – Екатеринбург: Уралнедра, 2005. – 217 с.
2. Елохина С.Н. Исследование геоэкологических последствий самозатопления шахтных полей // Геоэкология. – 2004. – № 5. – С. 405-414.
3. Норватов Ю.А., Петрова И.Б. Методическое руководство по прогнозу гидрогеологических условий ликвидации угольных шахт и обоснованию мероприятий, обеспечивающих предотвращение негативных экологических последствий. – СПб.: ВНИМИ, 2009. – 79 с.
4. Пяталенко Е.И., Артеменко П.Г., Педченко С.В., Ягмур А.Б. Время затопления шахт: прогноз и факт // Наукові праці УкрНДМІ НАН України, Transactions of UkrNDMI NAN Ukraine. – 2007. – № 1. – С. 165-172.
5. Фельдман А.Л. Программа мониторинга состояния окружающей среды (атмосфера, недра, водные объекты, почва, биоресурсы) Левихинского рудника на территории Кировградского ГО. – Екатеринбург: ООО «ПАНЭКС», 2008. 99 с.
6. Шестаков В.М. Гидрогеодинамика. – М.: Изд-во МГУ, 1995. – 368 с.
7. Ягунова О.А. Исследование гидро-, газо-, геохимических процессов в техногенном массиве и выработанном пространстве ликвидируемых шахт Кузбасса: автореф. дис. ... канд. техн. наук. – Кемерово, 2010. – 20 с.
8. Wolkersdorfer Ch. Water management at abandoned flooded underground mines. Fundamentals. Tracer tests. Modelling. Water treatment. Springer, 2008. 465 p.
9. Younger P. L., Adams R. Predicting Mine Water Rebound. Bristol (Environment Agency). 1999. 109 p.

РАЗВЕДКА ТЕХНОГЕННЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ НЕФТЕПРОДУКТОВ В ИНТРУЗИВНЫХ МАССИВАХ

А.А. Скалин, А.В. Скалин

ООО «Научно-производственное объединение «Уралгеоэкология», ул. Мельковская, д. 9,
Екатеринбург, 620027 Россия. E-mail:inform@uralgeoecology.ru

При реконструкции нефтебаз со сроком эксплуатации более 20 лет существует большая вероятность обнаружения на поверхности подземных вод слоев «плавающих» смесей светлых нефтепродуктов – бензина, дизельного топлива, керосина. В условиях техногенного загрязнения подземных вод взвешенными (эмульгированными) нефтепродуктами увеличиваются затраты на очистку и проведение мониторинга для обеспечения промышленной и экологической безопасности топливо-заправочных комплексов.

Гидрогеодинамический способ очистки подземных вод от загрязнения взвешенными нефтепродуктами можно отнести к классу безреагентных – по аналогии с классификацией технологических схем водоподготовки в наземных сооружениях. Гидрогеодинамическая очистка в водоносном пласте основана на использовании физического принципа расслоения несмешивающихся жидкостей, различающихся по плотности примерно на 20% [1, 2]. Существенный вклад в разработку методики опытно-миграционных работ и очистки

подземных вод от загрязнения нефтепродуктами внесли труды В.М. Гольдберга, В.А. Мироненко и В.Г. Румынина. В класс реагентных можно выделить способы очистки на гидрогеохимических барьерах, которые имеют электрохимическую природу.

Гидрогеоэкологические работы по устранению загрязнения подземных вод взвешенными нефтепродуктами целесообразно рассматривать как поиски, разведку и разработку техногенных месторождений. Согласно методологии поисково-разведочных работ рекомендуется подразделять единый процесс проведения гидрогеоэкологической разведки в три стадии: поиски скоплений нефтепродуктов по установленным признакам; предварительную разведку для обоснования средств очистки; детальную разведку для выбора методов очистки. Методика гидрогеоэкологической разведки разработана и внедрена в производство под руководством и личным участием авторов на трех терминалах нефтепродуктов Среднего Урала, находящихся на трех интрузивных гранитоидных массивах (ИГМ) Восточно-Уральского поднятия: Большеистокском, Верх-Исетском и Седельниковском. Для обозначения устройства очистки от загрязнения подземных вод взвешенными нефтепродуктами (ВН) предложен термин «гидрогеодинамическая ловушка» (ГДЛ).

Геориски загрязнения подземных вод на хранилищах светлых нефтепродуктов наиболее вероятны в резервуарных парках и под наливными эстакадами. При естественных гидравлических уклонах потоков подземных вод в ареалах их загрязнения обычно картируются многочисленные мелкие линзы ВН мощностью до 1,5 м, разобщенность которых между собой обусловлена литолого-фациальной изменчивостью песчано-глинистых отложений. При водоотборе подземных вод образуются воронки депрессий, увеличиваются гидравлические уклоны, и происходит направленная миграция ВН в ГДЛ. Скопления ВН в объемах, достаточных для их результативного отбора, можно обозначить термином «техногенные месторождения», которые имеют пространственно-временные границы в зависимости от объемов выкачиваемых подземных вод. На возможность выявления техногенных месторождений ВН указывают три поисковых признака. К прямым поисковым признакам в зоне аэрации относятся: газеохимический – при взрывоопасных концентрациях метана 5-50% об.; геохимический – при концентрации сорбированных нефтепродуктов песчаным элювием 1-15% вес. Косвенным поисковым признаком можно считать гидрогеологический, указывающий на водоносные зоны тектонической трещиноватости магматических пород ИГМ, поскольку только в естественных дренах возможно создание воронок депрессий подземных вод на сравнительно больших площадях.

В ходе предварительной разведки производится обоснование технических решений по безопасному устройству ГДЛ на контактах пористых и трещиноватых коллекторов ИГМ, характеризующихся резкими изменениями, почти на два порядка, коэффициента гравитационной емкости от 0,1 до 0,001. Следовательно, при проектировании водопонижения в водоносных зонах тектонической трещиноватости ИГМ, загрязненных ВН, нужно оценивать геориски их самоизливов на поверхность земли. Наиболее оптимальным яв-

ляется выбор места заложения ГДЛ в эрозионно-тектонических депрессиях с мощной толщей аллювиальных и элювиальных отложений. С позиции критерия безопасности, необходимо предусматривать технические решения по увеличению гравитационной емкости пород ИГМ при устройстве ГДЛ.

На стадии детальной разведки техногенных месторождений ВН производится оценка емкостных запасов и обоснование технологических регламентов очистки подземных вод способом ГДЛ. На динамику формирования объемных конусов в воронках депрессий подземных вод оказывает влияние интенсивность перетекания ВН в корях выветривания и, локально их перекрывающих, аллювиальных отложений. По величинам параметра перетекания производится схематизация безнапорных водоносных пластов: на однородные (менее 100 м) и двухслойные (от 100 м до 1000 м).

На примере *Большеевского гранодиоритового массива* рассмотрим динамику нефте-водоотдачи песчано-глинистыми отложениями в эрозионно-тектонической депрессии. Мощность аллювиальных слоистых песчано-глинистых отложений палеодолины плейстоцена по тальвегу составляет около 6 м. Зона тектонического нарушения имеет субмеридиональное простирание, ширину около 100 м; сложена трещиноватыми сланцами с жилами кварца, соответствующими верхам зеленосланцевой фации метаморфизма. Сланцы, по данным исследования в шлифах, имеют кварц-серицит-альбитовый состав. В водоносной системе ИГМ выделяются следующие стратоны: водоносная зона тектонической трещиноватости с водопроницаемостью около $70 \text{ м}^2/\text{сут}$, имеющая глубину залегания субнапорных подземных вод в межень около 3,5-4,5 м; слабоводоносная зона региональной трещиноватости с водопроницаемостью менее $10 \text{ м}^2/\text{сут}$, имеющая глубину залегания подземных вод в межень до 3 м. Загрязнение подземных вод смесью светлых нефтепродуктов на нефтебазе происходило вследствие утечек из подземных резервуаров и нефтепродуктопроводов, деформируемых при морозном пучении. На нефтебазе, функционировавшей более 70 лет, хранился в основном керосин, а также в небольших объемах авиационный бензин и дизельное топливо. На поверхности подземных вод образовались слоистые скопления взвешенной смеси нефтепродуктов («керосина»), имеющая в плане форму эллипса площадью около $100 \times 300 \text{ м}^2$ и мощностью 0,1-1,5 м. Очистка подземных вод от «керосина» производилась в летне-осенние периоды ежегодно с 1999 г. по 2014 г. Групповые откачки подземных вод выполнялись одновременно из трех ГДЛ, удаленных друг от друга до 80 м. Дебиты откачек измерялись водомерными счетчиками. На каждую водопонижительную скважину ГДЛ была предусмотрена водопоглощающая, что позволяло утилизировать откачиваемую воду и создавать водооборот. В паре с водопонижительными скважинами сооружены нефтеоткачивающие скважины для откачки эмульсии «керосина» в резервуары-отстойники, из которых вода сливалась обратно в водоносный пласт. Исследование динамики нефте-водоотдачи заключалось в установлении корреляционной связи между объемами откаченных из ГДЛ «керосина» и подземных вод. На этапе упругой нефте-водотдачи продолжительностью около 50 суток в разные годы откачивалось 4-8 м^3 «керосина» и соответственно

10 тыс.м³ подземных вод, и было выражено параболической связью. На этапе гравитационной нефте-водоотдачи уже добывалось 7-16 м³ «керосина» при откачке того же объема воды 10 тыс. м³, характеризуюсь линейной связью.

При очистке подземных вод Большеистокского ИГМ, производившейся в периоды летне-осенних межелей с 1999 г. по 2014 г., было собрано из ГДЛ 764,7 тыс. дм³ «керосина», качество которого исследовано по 285 пробам. Учет добытого «керосина» и его оплата осуществлялись по результатам взвешивания. Собранный «керосин», являющийся загрязняющим ингредиентом, реализовывался, например, как печное топливо или компонент для приготовления зимнего дизельного топлива, что уменьшало себестоимость гидрогеоэкологических работ. По мере сработки емкостных запасов техногенного месторождения ВН отмечается последовательное снижение рентабельности их извлечения.

Литература

1. Скалин А.В., Скалина Г.М. Роспатент № 2047542. Способ сбора нефтепродуктов из загрязнённых водоносных пластов и гидрогеодинамическая ловушка для нефтепродуктов. Зарегистрировано в Государственном реестре изобретений 10.11.1995 г.

2. Скалин А.В., Скалин А.А. Об очистке дренажных подземных вод от загрязнения лёгкими нефтепродуктами способом «гидрогеодинамических ловушек» // Безопасность критических инфраструктур и территорий: Материалы IV Всероссийской конференции и XIV школы молодых учёных. – Екатеринбург: УрО-РАН, 2011. – С. 192-193.

ЗАГРЯЗНЕНИЕ ПОДЗЕМНОЙ ГИДРОСФЕРЫ В ГОРНОПРОМЫШЛЕННЫХ РАЙОНАХ РОССИИ

Д.Ю. Сотникова

Центр лабораторного анализа и технических измерений по Сибирскому федеральному округу,
630099, Россия, г. Новосибирск, ул. Романова, д. 28. E-mail: sotnikovad1994@inbox.ru

Численность населения планеты уже давно перешла отметку в 7 млрд. чел. (2011 г.). По прогнозам ученых, к 2024 г. численность населения Земли увеличится до 8 млрд. чел. С увеличением численности населения увеличиваются потребности человека в пище, одежде, технике и т.д. Для удовлетворения потребностей человек приносит в жертву наш общий дом – нашу планету: ведет добычу полезных ископаемых из ее недр; осушает болота для ведения сельского хозяйства; вырубает леса; создает водохранилища, тем самым получая энергию и многое другое. Но если некоторые последствия антропогенной деятельности можно обратить, то добыча полезных ископаемых из недр Земли – процесс необратимый.

Минерально-сырьевые ресурсы недр невозобновимы, и их запасы с каждым годом все больше истощаются. Горнодобывающая промышленность является источником загрязнения не только атмосферы (газопылевые выделения), литосферы (создание антропогенных форм мезорельефа, активизация геологических процессов, механическое нарушение почв и химическое загрязнение), но и гидросферы (истощение водоносных горизонтов и ухудшение качества подземных и поверхностных вод; снижение расходов малых рек, чрезмерное осушение болот).

Отдельное внимание стоит уделить загрязнению подземной гидросферы, ведь именно качество подземных вод в настоящее время играет все большую роль. Разработка месторождений полезных ископаемых является одним из источников загрязнения подземной гидросферы.

Исходя из данной проблемы, была сформулирована цель исследования: изучить загрязняющие вещества горнодобывающей промышленности России и их влияние на подземную гидросферу, на человека и на окружающую среду в целом; рассмотреть меры борьбы с загрязнением.

Для реализации цели исследования были поставлены следующие задачи, которые в свою очередь являются этапами исследования:

- выделить горнопромышленные районы России;
- изучить загрязнение природной среды горнопромышленным комплексом;
- изучить загрязняющие вещества, рассмотреть их влияние на окружающую среду;
- сделать выводы о мерах борьбы с загрязнением подземной гидросферы.

Подземные воды являются одним из источников водоснабжения и важнейшим полезным ископаемым. Пресные подземные воды, наряду с поверхностными водами, являются основой водного фонда России и служат, главным образом, для питьевых целей. В условиях нарастающего ухудшения качества поверхностных вод, пресные подземные воды являются нередко единственным источником обеспечения населения питьевой водой высокого качества, защищенным от загрязнения. Наиболее удобны для этих целей воды артезианских бассейнов, из которых подземные воды подаются под напором с помощью специально пробуренных скважин. Крупнейшие артезианские бассейны России – бассейн Западной Сибири и Московский артезианский бассейн.

Интенсивное использование подземных вод сопровождается падением их уровня и оскудением. Так произошло в Московском артезианском бассейне, где многие скважины пришлось законсервировать или ликвидировать методом тампонирования [2].

Для формирования области знаний о загрязнении подземной гидросферы в местах разработки месторождений полезных ископаемых следует выделить горнопромышленные районы России.

Исторически в России всегда была велика роль отраслей, связанных с разработкой минерально-сырьевых ресурсов. Различия в обеспеченности сырьевыми, топливно-энергетическими и трудовыми ресурсами, экономическом потенциале, а также исторические особенности развития Европейской части России, Сибири и Дальнего Востока обусловили характер их хозяйственной специализации. Таким образом, на территории России выделено 11 крупных экономических районов, отличающихся условиями формирования и особенностями хозяйства, что находит отражение в системе межрайонного разделения труда. Выделена одна Особая экономическая зона – Калининградская область, которая не включена в состав ни одного экономического района.

Опираясь на характеристики экономических районов Российской Федерации, были выделены горнопромышленные районы, представленные на рис. 1, и показаны основные месторождения полезных ископаемых.

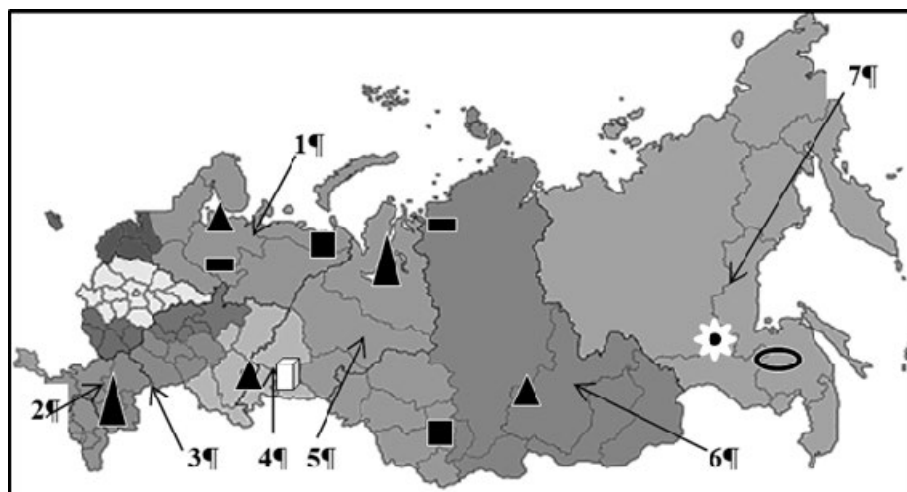


Рис. 1. Горнопромышленные районы России:

- 1 – Северный: Костомукшское (жел. руда), Вокрутинское (уголь), Лебяжинское (медь и никель);
- 2 – Северо-Кавказский: Дагестанские огни (нефть и газ);
- 3 – Поволжский;
- 4 – Уральский: Магнитогорское (жел. руда), Верхнекамское (калийные соли);
- 5 – Западно-Сибирский: Уренгойское (нефть и газ), Ерунаковское (уголь);
- 6 – Восточно-Сибирский: Талнахское (медь и никель), Нерюндинское (жел. руда);
- 7 – Дальневосточный: Солнечное (олово), Мир (алмазы)

Исходя из данных, представленных на рис. 1, можно сказать, что в России имеются почти все виды полезных ископаемых. Наша страна занимает одно из первых мест в мире по запасам многих полезных ископаемых (по запасам природного газа – первое). Таким образом, большое количество месторождений и высокий уровень интенсивности их разработки приводят к значительному загрязнению подземной гидросферы.

Загрязнение подземных вод происходит в процессе фильтрации вредных веществ с поверхности. При этом существует несколько видов источников загрязнения: промышленные площадки, на которых используются вещества, обладающие способностью мигрировать с подземными водами; места хранения промышленной продукции и отходов и др. Особую опасность создают предприятия, связанные с нефтедобычей и нефтепереработкой. Не меньшую угрозу качеству подземных вод представляет загрязнение, связанное со сбросом отработанных технологических сточных вод при добыче и обработке рудных полезных ископаемых [1].

Следствием производственной деятельности нефтедобывающей промышленности являются сбросы в поверхностные и подземные воды, а также на почвенный покров, захоронение отходов бурения и пр.

При добыче руды и угля происходит истощение водных ресурсов, нарушение гидрологического режима подземных и поверхностных вод, загрязнение сбрасываемыми производственными и хозяйственно-бытовыми сточными водами предприятий, загрязнение земной поверхности отходами добычи и обогащения рудных полезных ископаемых и угля, оседающими загрязняющими веществами из атмосферы, которые просачиваются во время дождей в почву и попадают в подземные воды.

Интенсивное развитие промышленного производства приводит к росту производственных отходов, которые в совокупности с отходами потребления существенно влияют на химический состав почвы и вызывают загрязнение поверхностных и грунтовых вод. Примером значительного накопления отходов, связанных с добычей полезных ископаемых, могут служить терриконы угольных шахт, отвалы вблизи карьеров при наземной добыче руд.

Таблица 1

Распределение участков и водозаборов, на которых выявлено загрязнение подземных вод на территории Российской Федерации за период 2000-2014 гг.

Федеральный округ	Количество участков и водозаборов, на которых выявлено загрязнение подземных вод						
	Всего	Пром. объекты	Загрязняющие вещества				
			сульфаты	соединения азота	нефтепродукты	фенолы	тяж. мет
Северо-Западный	133	59	20	64	53	7	25
Центральный	182	113	33	72	71	14	17
Южный	294	122	100	134	84	41	21
Северо-Кавказский	106	35	11	51	50	0	4
Приволжский	621	449	249	195	295	150	59
Уральский	190	157	29	70	77	10	29
Сибирский	859	617	92	289	465	70	60
Дальневосточный	140	74	5	45	42	22	37

Изучив данные за 2014 г. Центра государственного мониторинга состояния недр и региональных работ Федерального государственного бюджетного учреждения «ГИДРОСПЕЦГЕОЛОГИЯ» Федерального агентства по недропользованию «РОСНЕДРА», была составлена таблица, показывающая интенсивность загрязнения подземной гидросферы по федеральным округам Российской Федерации.

В заключение следует отметить, что загрязнение подземных вод напрямую связано с загрязнением окружающей среды в целом и отдельных ее компонентов. Охрана подземных вод от загрязнения должна быть комплексной, включать не только мероприятия по улучшению экологической обстановки в подземной гидросфере, но и упреждающие мероприятия по охране от загрязнения атмосферного воздуха, почв, пород, поверхностных вод.

Степень загрязнения подземных вод зависит от естественной их защищенности, характеризующейся литологическим строением и фильтрационными свойствами почв и пород зоны аэрации, отделяющих подземные воды от поверхностного загрязнения, и их мощностью. Наибольший стресс от загрязнения испытывают грунтовые воды. Подчас они, в силу ухудшения своего качества, не могут быть использованы для целей питьевого водоснабжения; необходимо проводить мониторинг, исследовать и очищать грунтовые воды, так как они являются источником загрязнения напорных вод, содержащих питьевые воды, на значительной площади.

Таким образом, проблема загрязнения подземной гидросферы является комплексной, зависит от общего экологического состояния окружающей среды; решение этой проблемы целесообразно выполнять в рамках комплексного экологического мониторинга окружающей среды.

Исследование в этом направлении будет продолжено. В перспективе было бы интересно более подробно изучить загрязнение подземной гидросферы в Сибирском федеральном округе. Будут подробно изучены основные предприятия – пользователи недрами и выявлены проблемы загрязнения и ремедиации подземной гидросферы, а также проблемы размещения отходов горнопромышленного комплекса.

Литература

1. Белоусова А.П., Гавич И.К., Лисенков А.Б., Попов Е.В. Экологическая гидрогеология. – М.: ИКЦ Академкнига, 2006. – 397 с.
2. Димакова Н.А., Шаранов Р.В. Проблема загрязнения подземных вод // Современные наукоемкие технологии. – 2013. – № 2. – С. 79-82.
3. Центр государственного мониторинга состояния недр и региональных работ. Мониторинг подземных вод. – URL: http://www.geomonitoring.ru/mpv_about.html.

ВЛИЯНИЕ ШЛАМОХРАНИЛИЩА С СОЛЕСОДЕРЖАЩИМИ ОТХОДАМИ НА ПРИПОВЕРХНОСТНУЮ ГИДРОСФЕРУ

Е.А. Хайрулина, Н.Г. Максимович

Естественнонаучный институт Пермского государственного научного
исследовательского университета, 614990, Пермь, ул. Генкеля 4.
E-mail: elenakhay@gmail.com

В процессе добычи полезных ископаемых на поверхности Земли складировались в шламохранилищах огромные объемы отходов, которые оказывают значительное воздействие на окружающую среду. При проектировании шламохранилищ необходимо учитывать химический состав отходов, свойства которых в течение эксплуатации способны снижать экранирующие характеристики грунтов в ложе шламохранилища, что способствует увеличению фильтрации стоков и дальнейшей миграции загрязнителей в природной среде.

Добыча калийных солей и процесс обогащения руды сопровождается значительным количеством отходов (свыше 70% от объема добываемой руды) с высоким содержанием в них водорастворимых солей. Соли обладают активной миграционной способностью и являются источником загрязнения поверхностных и подземных вод [2, 3, 4, 9, 10, 12]. В шламохранилище поступают глинистый материал, вещество нерастворимого остатка в виде глинисто-солевого шлама и избыточные рассолы. Глинисто-солевые шламы на 35-40% состоят из водорастворимых солей и 60-65% из нерастворимого глинистого осадка. Рассолы имеют Na – Cl состав с минерализацией свыше 300 г/л.

Для предотвращения фильтрации рассолов в подземные воды в основании ложа и дамб создавались глинистые экраны. Опыт эксплуатации шламохранилищ калийного производства показал низкую эффективность глинистых экранов, так как установлено, что при взаимодействии с рассолами глинистые частицы существенно изменяют свои фильтрационные свойства [5, 7]. При засолении глинистого экрана происходит увеличение порового пространства между частицами грунта и увеличение проницаемости до 75%.

Основной поток загрязнителей в окружающую среду поступает с водной миграцией водорастворимых солей и примесей. Несмотря на геотехнические мероприятия, через тело шламохранилища происходит фильтрация рассолов и атмосферных осадков в подземные воды. В результате формируются значительные ореолы засоленных поверхностных и подземных вод.

Воздействие шламохранилища на окружающую среду рассмотрено на одном из калийных предприятий Верхнекамского месторождения калийно-магниевых солей (рис. 1). Объект исследования был построен в середине 70-х годов XX века. В качестве защиты подземных вод от загрязнения был использован глинистый экран. Значительное количество осадков (среднего-

довая сумма осадков 650 мм), холодный климат и расчлененность рельефа способствуют активной водной миграции водорастворимых солей.



Рис. 1. Схематическая карта загрязнения поверхностных и подземных вод в районе воздействия шламохранилища по [3]

Твердая фаза глинисто-солевой суспензии представляет собой нерастворимый остаток сильвинитовой руды с примесью переизмельченного сильвинита и галита. В водной вытяжке вещества осушенной части шламохранилища преобладают ионы хлорида 70 г/л, натрия 33 г/л, калия 19,5 г/л, сульфатов 19,6 г/л, кальция 6,8 г/л и магния 0,9 г/л. Геохимическая трансформация вещества шламохранилища сопровождается усилением интенсивности выноса загрязнителей в окружающую среду со стоками и увеличение фильтрационные свойств нижележащих пород [8].

Поступление высокоминерализованных стоков шламохранилища в гидросферу происходит двумя путями: фильтрация сквозь дамбу обвалывания и ложе шламохранилища. Засоленные воды разгружаются субаквально в русло реки и в виде восходящих родников, в том числе и на противополож-

ном берегу реки. Это обусловлено тем, что борт долины реки, где расположено шламохранилище, сложен глинистыми породами, затрудняющими разгрузку.

Подземный сток. Фильтрующиеся через ложе шламохранилища стоки поступают в нижележащий шешминский водоносный горизонт или разгружаются в ближайшие дрены, формируя ореол засоления между шламохранилищем и руслом реки [2] (рис. 1). Фильтрации в шешминский горизонт способствует высокая плотность растворов (более 1 г/см³). По некоторым оценкам на эту часть баланса приходится до 20% общих потерь из шламохранилища.

Таблица 1

Химический состав вод в районе влияния шламохранилища, мг/л

Компоненты	Сток из под дамбы шламохранилища	Соленый родник в долине реки Ленва	Река Ленва	ПДК
pH	6,9* 6,34–7,2**	7,0 6,9–7,0	7,1 6,3–7,54	6,5-8,5
HCO ₃ ⁻	348,5 292,9–457,6	119,6 11,0–173,9	132,0 64,7–207,5	–
SO ₄ ²⁻	2127,7 645,8–4189,7	282,5 191,0–421,5	616,4 73,0–1511,0	100
Cl ⁻	25788,7 5540,0–42950	12845,2 6950,0–22335,7	7095,8 2930,5–12046,8	300
NO ₂ ⁻	6,1 0,34–10,28	0,2 0,2–0,2	3,3 0,1–12,3	0,08
NO ₃ ⁻	78,0 15,0–126,2	27,2 0,2–65,0	15,7 2,8–32,4	40
Ca ²⁺	1301,7 721,4–2345,0	1072,3 552,0–1625,0	1052,6 601,2–1483,0	180
Mg ²⁺	204,3 145,8–321,0	1829,4 117,0–5185,3	256,7 121,5–390,7	40
Na ⁺	15046,1 7055,5–32142,0	4008,8 2555,0–5856,4	2432,0 963,5–5506,6	120
K ⁺	10037,1 5168,8–23688,5	4321,3 1228,0–10000,8	779,6 62,6–1580,0	50
NH ₄ ⁺	53,0 5,0–193,0	16,2 15,3–17,0	23,1 0,56–93,5	0,5
Сухой остаток	43841,2 11487–74090	27825,0 16460,0–39190,0	12561,0 4591,0–21750,0	
Кол-во проб	7	3	18	

Примечание: ПДК – для водоемов рыбохозяйственного значения.

* – среднее значение; ** – минимальное и максимальное значение.

В непосредственной близости от шламохранилища подземные воды меняют состав на Na – Cl состав с минерализацией свыше 40 г/л (табл. 1). При дальнейшей фильтрации через глинистые, местами доломитизированные известняки и мергели химический состав подземных вод приобретает Na, Ca – Cl состав, т.к. высокоминерализованные Na – Cl техногенные подземные воды активизируют процессы выщелачивания и ионного обмена в системе вода-порода интенсивнее, чем при фильтрации природных пресных вод [3, 13]. Вследствие этого в подземных и поверхностных водах на фоне высокого уровня хлоридного загрязнения увеличиваются содержания кальция, магния, сульфатов.

Поверхностный сток через дамбу. За сорокалетний период эксплуатации шламохранилища фильтрация через дамбу, сформировала устойчивый сток высокоминерализованных вод по склону долины реки. Химический состав вод представлен в табл. 2, и характеризуется Na – Cl составом с минерализацией более 40 г/л. Высокое содержание ионов хлоридов, сульфатов, натрия, калия и магния обусловлено содержанием водорастворимых солей в шламохранилище. Повышенные концентрации соединений азота в фильтрационных водах вызвано содержанием широкого спектра гетеросоединений в веществе шламохранилища, среди которых преобладают O- и N- содержащие структуры [1].

Таблица 2

Некоторые характеристики почв в районах засоления

Место отбора почв	рН	Сумма токсичный солей, %	Содержание веществ в почве, мг/100г			
			Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	Na ⁺	K ⁺
Соленое болото ниже дамбы шламохранилища	5,6	1,353	722	37	324,2	220,4
Засоленные почвы в долине реки	4-8	1,582	22,6-1016,3	0,8-14,5	6,8-239,4	0,3-14,6
Фоновые почвы	4-6	0,011	1,1-2,3	0,8-1,9	0,6-1,0	0,3-1,7

В зоне разгрузки фильтрационных вод ниже шламохранилища сформировалось соленое болото. Концентрация водорастворимых солей в почвенном растворе достигает свыше 1,3%, что соответствует «очень сильной» степени засоления (табл. 2).

Растительность представлена, в основном, солеустойчивыми растениями: тростник (*Phragmites communis*), рогоз (*Typha latifolia*). Кроме высокой солеустойчивости данные виды обладают водоопреснительной и водоочистительной способностью, которая используются для улучшения качества вод в аридных районах [6].

Химический состав р. Ленва. Выход на поверхность загрязненных подземных вод в виде родников, площадной и субаквальной разгрузки,

а также поверхностный сток высокоминерализованных вод в долине р. Ленва приводит к засолению самой реки и долинных экосистем. Вследствие чего воды р. Ленва характеризуются хлоридно-натриевым составом (табл. 1), нейтральным рН, сохраняются значительные превышения ПДК по всем компонентам, в том числе соединений азота.

Засоление реки и близкое залегание Na-Cl подземных вод в долине реки и приводит к резкому повышению содержания в долинных почвах Cl^- , K^+ , SO_4^{2-} , Na^+ . Сумма токсичных солей составляет 1,5 % (табл. 2). Содержание хлоридов в водной вытяжке почв увеличивается по сравнению с фоновыми почвами в 400 раз, натрия в 200 раз, калия в 7 раз.

Таким образом, ухудшение экранирующих свойств материалов в основании дамбы и ложа шламохранилища оказывает комплексный эффект на состояние окружающей среды в районе исследуемого объекта. Фильтрационные стоки Na-Cl состава, с высоким содержанием азотных соединений приводят к трансформации химического состава подземных и поверхностных вод, развитию процессов засоления почв в долинных ландшафтах и на пути поверхностного стока.

Работа поддержана грантом РФФИ 15-05-07461.

Литература

1. Бачурин Б.А., Сметанников А.Я., Хохрякова Е.С. Эколого-геохимическая оценка продуктов переработки глинисто-солевых шламов калийного производства // Современные проблемы науки и образования. – 2014. – № 6. – URL: <http://www.science-education.ru/ru/article/view?id=15442>.
2. Бельтюков Г.В. Основные источники загрязнения подземных и поверхностных вод на территории Верхнекамского месторождения калийных солей // Вестник Пермского университета. Вып. 4 «Экология». – Пермь, 1996. – С. 128-140.
3. Колташиков Г.А., Клементьев В.П., Еременко Ю.П. Процессы засоления пород и подземных вод твердыми отходами калийных производств Солигорских комбинатов // Докл. АН БССР. – 1979. – Т. 14. – № 5. – С. 443-446.
4. Максимович Н.Г., Горбунова К.А. Изменение гидрогеологических условий в процессе строительства крупного агропромышленного комплекса // Инженерная геология. – 1989. – № 5. – С. 61-65.
5. Монюшко А.М., Пахомов С.П. Основные закономерности, определяющие устойчивость глинистых грунтов к воздействию обводнения и промстоков (по экспериментальным данным) // Инженерная геология. – 1985. – № 6. – С. 35-45.
6. Назармамедов О. Роль высших водных растений в очистке дренажных вод // Проблемы освоения пустынь. – 2007. – № 3. – С. 48-51.
7. Осипов В.И. Плотность глинистых минералов // Геоэкология, инженерная геология, гидрогеология, геокриология. – 2011. – № 6. – С. 483-493.
8. Юй Лю, Лехов А.В. Моделирование изменения фильтрационных параметров загипсованных пород при фильтрации рассолов // Геоэкология. Инженерная геология. Гидрогеология. Геокриология. – 2012. – № 6. – С. 551-559.
9. Baure M, Eichinger L, Elsass P., Kloppmann W, Wirsing G. Isotopic and hydrochemical studies of groundwater flow and salinity in the Southern Rhine Graden // Int J Earth Sci. – 2005. – № 94. – P. 565-579.

10. *Khayrulina E.* Aspects of the environmental monitoring on the territory of Verhnekamskoye Potash Deposit (Russia) // Mining Meets Water – Conflicts and Solutions. Proceedings IMWA2016 Annual Conference, Leipzig, Germany. – 2016. – P. 378-382. – URL: https://www.imwa.info/docs/imwa_2016/IMWA2016_Proceedings.pdf.

11. *Lucas Y., Schmitt A.D., Chabaux F., Clément A., Fritz B., Elsass Ph., Durand S.* Geochemical tracing and hydrogeochemical modelling of water–rock interactions during salinization of alluvial groundwater (Upper Rhine Valley, France) // Applied Geochemistry. – 2010. – 25 (11). – P. 1644-1663.

12. *Luo J., Diersch H.-J., Monnikhoff L.* 3D modeling of saline groundwater flow and transport in a flooded salt mine in Stassfurt, Germany // Mine water Environ. – 2012. – № 31. – P. 104-111.

МЕТОД НАИЛУЧШИХ ДОСТУПНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В РЕГЕНЕРАЦИИ ЗАКОЛЬМАТИРОВАННЫХ ВОДОЗАБОРНЫХ СКВАЖИН

А.А. Цымбалов

Саратовский государственный технический университет им. Гагарина Ю.А,
410054, г. Саратов, ул. Политехническая, д. 77.

ООО Научная организация «Архимед», 410028, г. Саратов, ул. Рабочая, д. 10.
E-mail: arhimed64@mail.ru.

Российская Федерация за последние годы взяла курс на экологизацию всех отраслей российской промышленности. В настоящее время утвержден комплекс мер по внедрению экологически чистых технологий с переходом на модель ЕС [2] экологического нормирования с учетом концепции наилучших доступных технологий (НДТ). НДТ – это «технология производства продукции (товаров), выполнения работ, оказания услуг, определяемая на основе современных достижений науки и техники и наилучшего сочетания критериев достижения целей охраны окружающей среды при условии наличия технической возможности ее применения» [2]. Внедрение НДТ в российскую практику позволит рассматривать применение отечественных технических решений не только с позиции технико-экономических достижений, но и с учетом современных экологических нормативных документов и санитарно-эпидемиологических требований.

Цель работы: показать соответствие разработанного и внедренного в Саратовской области метода восстановления закольматированных водозаборных скважин принципам наилучших доступных технологий с дальнейшим распространением полученного опыта по улучшению условий водопользования в других регионах РФ.

Опыт НО «Архимед» по обслуживанию скважинных водозаборов в Саратовской области показывает тенденцию роста загрязнений напорных эксплуатационных пластов при строительстве скважин личного пользования.

Это происходит в местах образования садоводческих кооперативов, коттеджных застроек, где не решен вопрос централизованного водообеспечения. Несогласованность водопотребления таких поселений вызывает рост числа индивидуальных скважин на локальной территории и их переизбыток.

Отсутствие необходимости иметь лицензию на водопользование и конкретных ограничений по эксплуатации промышленного пласта, а также невозможности фактического привлечения к юридической ответственности позволяет частному водопользователю привлекать к буровым работам своей скважины неквалифицированные частные бригады, не утруждающих себя конструктивно-техническим совершенством подземного источника. В результате некачественной герметизации затрубного пространства скважины наблюдается переток подземных вод верхних горизонтов в нижние пласты. Создаются искусственные условия для проникновения антропогенных загрязнителей (химического и бактерицидного свойства). Это ведет к загрязнению вначале безнапорных, а затем и напорных пластов. Загрязнение кондиционных межпластовых вод за последнее время увеличилось и связано оно с ростом плотности размещения скважин.

До процесса строительства скважины и осуществления вертикальной выработки в земной коре водная среда подземных вод имеет естественную гидродинамическую связь пластов. Степень загрязнения характеризуется инфильтрационными процессами геологических пород. Строительство скважины создает условия дополнительного сопротивления движения подземных вод через фильтр скважины. Увеличение количества скважин (и фильтров тоже) приводит к нарушению гидродинамики горизонта. Техническое несовершенство вновь пробуренных скважин ведет к быстрому проникновению загрязнителей в эксплуатационные пласты.

В работе [3] при анализе района большого размещения скважин установлено, что из общего количества пробуренных скважин до 30% оказались брошенными без их ликвидации из пласта.

При скоплении скважин на локальной территории не все они эксплуатируются в постоянном режиме. Нарушение гидродинамических характеристик системы «пласт-скважина» ведет к формированию процесса кольматации (механической, физико-химической, биологической, комбинированной) околоскважинного пространства и образованию кольматационного осадка [5].

Кольматирующий осадок, который осаждается на стенках фильтра, порах фильтрационных зон пласта имеет многокомпонентный состав в виде мелких частиц песка, глинистых включений, солей железа, марганца и их гидроксидов, соединений кремнекислоты и сульфидов, карбонатов кальция, магния и других химических элементов, содержащихся в подземных водах. На начальной стадии образования кольматации осадок не очень прочный и легко удаляется любым методом ремонтно-восстановительных работ (РВР) с минимальными энергетическими затратами. С течением времени кольматант набирает прочность и для удаления его требуются дополнительные затраты

энергии, времени, применение технических решений, возможно, комплексных методов РВР [6-10].

По данным анализа работы [1] в процессе длительного наблюдения за гидрорежимными изменениями подземных вод (Московская область Клинский район) отмечено увеличение концентрации железа в геологических комплексах верхнего и нижнего карбона. Просачивание вод, насыщенных двухвалентным железом через верхнеюрские глины, был маловероятен. Анализ показал: образование вод с присутствием железа стало возможным из-за перетока вод по затрубному пространству из вышележащих горизонтов, где концентрация железа составляла до 6 мг/л. Характер роста числа скважин на увеличение концентрации железа в эксплуатационном пласте приведен на рис. 1.

Из опыта работ НО «Архимед» [4] обследовалась скважина (H=76 м) в Саратовской области (в двух километрах на юго-запад от южной окраины с. Шумейка), где при проведении санитарно-химического анализа было выявлено концентрация железа не характерная для водоносного горизонта аптских отложений K_{1a} , в котором установлен фильтр скважины.

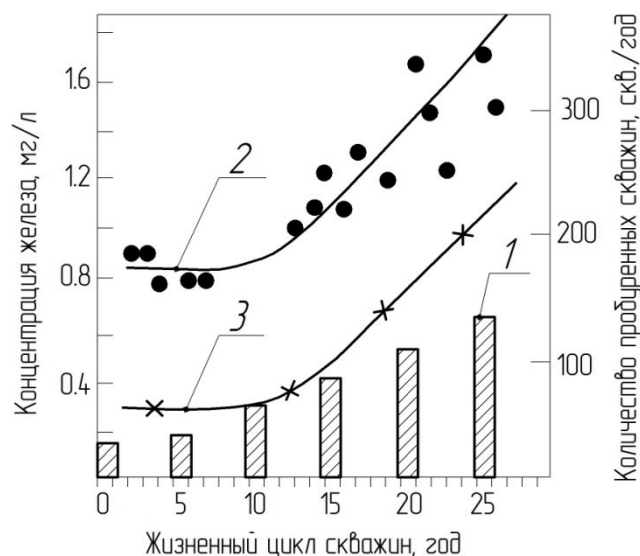


Рис. 1. Экспериментальные данные исследования концентрации железа водоносного горизонта от количества пробуренных скважин (Алексеев, Гребенников, 1987 с изм. и доп. Цымбалов, 2016):
 1 – количество эксплуатируемых скважин; 2 – водоносный горизонт (верхний карбон); 3 – водоносный горизонт (нижний карбон)

Так, например, величина концентрации железа составляла 6,1 мг/л, что соответствует горизонту четвертичных аллювиальных отложений aQ_{IV-II} расположенных выше. Переток происходил по затрубному пространству обсадных труб скважины. После проведения мероприятий по герметизации затрубного пространства сотрудниками НО «Архимед» была осуществлена обработка околоскважинного пространства и фильтра от ожелезненного осадка.

Решение проблемы заключалось в регенерации скважины методом РВР серии. Способ РВР основан на применении волновой технологии (рис. 2) [7]. Упругие волны, воздействуя на твердые частицы коьматанта, разрушают и разуплотняют осадок. После удаления на дневную поверхность частиц разуплотненного коьматационного осадка, опоясывающего скважину, фильтрационные свойства горизонта восстанавливаются.

Метод адаптирован на геологических комплексах Саратовской области на выборке из 60-ти скважинах и внедрен на скважине глубиной 60 метров с жизненным циклов в 29 лет в ООО «Кологривовское» (д. Полянское Татищевского района Саратовской области, 2016 г.). Скважина в ООО «Кологривовское» была реанимирована из неработающего состояния до режима дебита безнапорного водоносного горизонта сеноманских отложений ($4 \text{ м}^3/\text{ч}$ – $6 \text{ м}^3/\text{ч}$). Коэффициент успешности всего комплекса РВР выполненного по методу составляет $k = 0,85-0,98$.

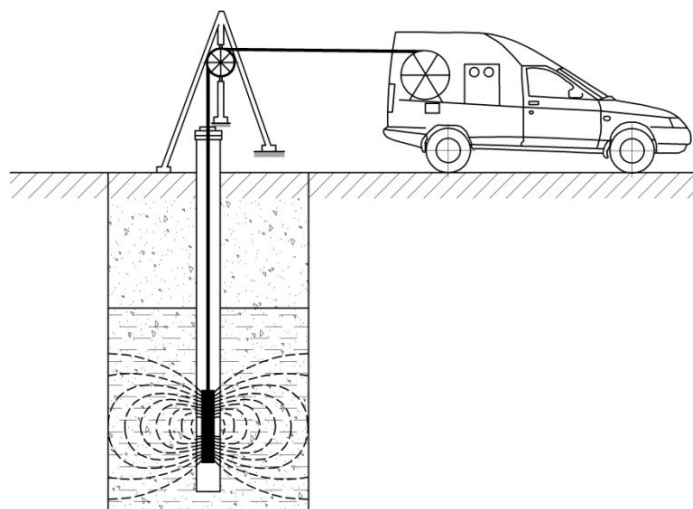


Рис. 2. Схема рабочего процесса по обработке фильтровой зоны водозаборной скважины методом РВР серии

Выводы:

1. Причиной снижения производительности скважин является кольматация.
2. Технология РВР серии по восстановлению закольматированных водозаборных скважин апробированная на геологических комплексах Саратовской области может рассматриваться, как базовая при разработке наилучших доступных технологий, и быть рекомендована к применению в других регионах РФ.

Работа выполнена в соответствии с Программой НИР НО «Архимед» Арх.№ ТЭР-Р 642012-0001.000 «Исследование процессов кольматации околоскважинной среды и разработка методов декольматации водозаборных скважин».

Литература

1. *Алексеев В.С.* Восстановление дебита водозаборных скважин / В.С. Алексеев, В.Т. Гребенников. – М.: Агропромиздат, 1987. – 283 с.
2. О комплексном предотвращении и контроле загрязнений // Директива Совета Европейского союза 96/61/ЕС от 24 сентября 1996 г. – URL: <http://law.edu.ru/norm/norm.asp?normID=1375085> (дата обращения 05.11.2016).
3. *Сердюк Н.И.* Совершенствование технологии кавитационного декольматажа фильтровой области гидрогеологических скважин: автореф. дис. ... докт. техн. наук. – М.: МГТР, 2005. – 42 с.
4. *Цымбалов А.А.* Гигиеническая оценка качества воды из артезианских скважин при не регламентированных режимах технологической откачки // Современные технологии в охране труда и здоровья населения: сб. науч. трудов Саратовского НИИСГ Роспотребнадзора по материалам всероссийской научно-практической конференции (16-17 ноября 2012г., г. Саратов). – Саратов: Издательский центр «Наука», 2013. – С. 194-202.
5. *Цымбалов А.А.* Инновационные технические решения в борьбе с кольматацией скважин сельскохозяйственного водоснабжения // Актуальные проблемы гигиены и медицины труда в АПК и смежных отраслях промышленности: сб. науч. трудов Саратовского НИИСГ Роспотребнадзора по материалам всероссийской научно-практической конференции (22-23 сентября 2016г., г. Саратов). – Саратов: Амирит, 2016. – С. 294-298.
6. *Цымбалов А.А.* Методы ремонтно-восстановительных работ как показатель долговечности скважинных водозаборов на территории Саратовской области // Мелиорация и водное хозяйство: проблемы и пути решения / Костяковские чтения (29-30 марта 2016 г., г. Москва): сб. докл. межд. науч.-практ. конф. РАН, ФГБНУ ВНИИГиМ. в 2-х т., Т. 1. – М.: Изд-во ВНИИА, 2016. – С. 127-131.
7. *Цымбалов А.А.* Регенерация подземных источников при проведении восстановительных работ после чрезвычайных ситуаций // Анализ, прогноз и управление природными рисками в современном мире: сб. науч. трудов Рос. акад. наук, Ин-т геозк. РАН, Всерос. НИИ по проб. ГО и ЧС по матер. 9-й межд. науч.-практ. конф. «Геориск-2015»: В 2-х т. Т. 2 / под ред. акад. РАН В.И. Осипова. – М.: РУДН, 2015. – С. 415-419.
8. *Цымбалов А.А.* Ремонтно-восстановительные работы скважинных водозаборов: региональная практика. – М., 2014-2016. – URL: <http://doktorsc.ru/index.php/tekhnicheskaya-biblioteka/nauchnye-stati> (дата обращения 05.11.2016).
9. *Цымбалов А.А.* Срок эксплуатации и межремонтный период методов регенерации скважинных водозаборов (на примере Саратовской области) // Яковлевские чтения: сб. докл.

11-й науч.-практ. конф. (16 марта 2016 г., г. Москва). – М.: НИУ МГСУ (ИИЭСМ), 2016. – С. 146-150.

10. *Tsybalov A. A.* Role of seismohydrogeologic effects in solution of problems on borehole area dekolmatation: Predestruction and destruction. Part I // Seismological Conference (TASECO-2016). – Tashkent: Muxammad poligraf, 2016. – P. 599-606.

МОНИТОРИНГ ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ ПРИ РАЗРАБОТКЕ МЕСТОРОЖДЕНИЯ АЛМАЗОВ ИМ. М.В. ЛОМОНОСОВА И ЕГО РЕЗУЛЬТАТЫ

И.Э. Шкиль¹, А.И. Поршнеv¹, А.И. Малов²

¹ ПАО «Севералмаз», 163000, г. Архангельск, ул. К. Маркса, 15.

E-mail: IShkil@severalmaz.ru, APorshnev@severalmaz.ru

² Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики РАН, 163061, г. Архангельск, наб. Северной Двины, 23. E-mail: malovai@yandex.ru

Месторождение алмазов им. М.В. Ломоносова расположено в Приморском районе Архангельской области, в 90 км к северо-востоку от г. Архангельска. В состав месторождения в соответствии протоколами ГКЗ (от 19.06.87 г. № 10203 и от 05.06.02 г. № 738) входят 6 трубок с севера на юг, это: им. Ломоносова, Поморская, Пионерская, им. Карпинского-1, им. Карпинского-2 и Архангельская. В настоящее время разрабатываются два карьера: тр. Архангельская и тр. им. Карпинского-1 глубиной 152 и 120 м соответственно. В результате дальнейшей отработки к 2026 г. конечная глубина отработки карьеров составит 324 и 260 м соответственно.

Сложные инженерно-геологические и горнотехнические условия участка работ определяют необходимость в предварительном осушении массива вмещающих горных пород системой водопонижающих скважин (ВПС), что вызывает формирование мощной депрессионной воронки, в пределах которой существенно изменяется глубина залегания подземных вод. Длительное интенсивное водопонижение приводит и к существенному изменению гидрохимической обстановки в районе месторождения и на прилегающих территориях [2].

Основную роль в обводнении месторождения играет водоносный комплекс вмещающих пород падунской свиты венда (V_2pd). Мощность комплекса в пределах месторождения составляет 160-180 м, коэффициент фильтрации ($k_{\phi} - 1,5 \div 3,0$ м/сут). Комплекс неограничен в плане, выдержан в разрезе по всей территории месторождения и представлен неравномерным чередованием пачек песчаников, алевролитов и в меньшей степени алевроитов. Подчиненную роль играет верхний гидродинамический этаж перекрывающих отложений, объединяющий водоносные горизонты четвертичных отложений (Q_{IV}) и урзугской свиты среднего карбона (C_{2ur}), сложенный слабосцементи-

рованными мелкозернистыми глинистыми песчаниками мощностью 25-30 м ($k_{\phi} = 1,0$ м/сут). В основании разреза залегает мощный (более 700 м), характеризующийся низкими фильтрационными свойствами, водоносный комплекс мезенской ($k_{\phi} < 0,1$ м/сут) и усть-пинежской ($k_{\phi} < 0,001$ м/сут) свит венда, представленный неравномерным чередованием алевролитов и аргиллитов с редкими маломощными прослоями песчаников. По отношению к падунскому комплексу он является относительным водоупором. Трубки взрыва прорывают вендские отложения и перекрываются породами каменноугольного и четвертичных возрастов. В них выделяется верхняя кратерная часть мощностью 110-150 м, сложенная туфопесчаниками и туффитами, и нижняя жерловая, представленная кимберлитовой брекчией. Для кратерной фации характерна повышенная проницаемость ($k_{\phi} \sim 0,6-0,9$ м/сут), для жерловой она значительно ниже ($k_{\phi} \sim 0,02$ м/сут) [2].

Эксплуатация карьерного водоотлива на месторождении начата с 2003 г., опережающее осушение с помощью водопонижающих скважин – в 2005 г. По состоянию на 01.11.16 г. дренажный контур ВПС состоит из 62 скважин с суммарным дебитом 5018 м³/час. Производительность карьерного водоотлива на тр. Архангельская составляет 912 м³/час, на тр. им. Карпинского-1 – 378 м³/час. ВПС глубиной 220 м оборудованы насосами ЭЦВ, CRS, DAB и Oddesse. Средний дебит одной скважины составляет около 80 м³/час. Сооружение ВПС продолжается, в 2018 г. окончательное количество скважин единого для двух карьеров контура составит 75 ВПС.

Основной целью гидрогеологического и инженерно-геологического сопровождения является своевременное обеспечение горного предприятия гидрогеологическими и инженерно-геологическими материалами, необходимыми для оперативной оценки условий производства горных работ. Для получения этих материалов производятся следующие исследования и наблюдения:

- детальное гидрогеологическое и инженерно-геологическое обследование карьерного поля и прилегающих площадей;
- наблюдения за развитием воронки депрессии и результатами других воздействий на гидросферу по скважинам режимной сети; за температурой и химическим составом подземных вод;
- наблюдения за условиями отвода карьерных вод на поле поверхностной фильтрации (ППФ), степенью очистки вод и условиями стока воды с ППФ в речную сеть;
- наблюдения за физико-геологическими явлениями в пределах карьерного поля;
- инженерно-геологическое обследование карьера;
- наблюдения за устойчивостью откосов бортов и развитием деформационных процессов;
- наблюдения за притоками воды в карьер, водопрооявлениями и изливающимися разведочными скважинами с измерением их расходов и напоров;
- наблюдения за эксплуатацией действующих водопонижающих скважин дренажного контура и насосных установок по осушению карьеров.

Гидрогеологическое и инженерно-геологическое сопровождение горных работ осуществляется гидрогеологической службой ПАО «Севералмаз». Научное сопровождение, решение задач прогнозного моделирования с использованием геофильтрационной модели месторождения и оптимизации системы осушения в 2016 г. осуществляется ООО «Геостройпроект», г. Санкт-Петербург.

Развитие гидродинамической ситуации в процессе отработки месторождения по состоянию на 01.11.16 отслеживается по данным замеров уровня подземных вод в 62 ВПС, 3 водозаборных и 199 наблюдательных и перепускных скважинах и пьезометрах режимной сети, расположенных в радиусе до 8,5 км от центра карьера тр. Архангельской. Режимные скважины пробурены по лучам на разные водоносные комплексы: перекрывающих отложений (глубиной 15-50 м), отложений падунской свиты венда (глубиной 100-220 м), отложений мезенской свиты венда (глубиной по 300 м).

Периодичность замеров уровня воды в наблюдательных скважинах режимной сети варьирует от недели до месяца, в зависимости от удаленности скважины от центра карьера. Замеры уровней в наблюдательных скважинах выполняются контактными уровнемерами типа ОТТ KL – 010 ТМ (длина кабеля 150 м) или рулеткой типа StanleyLong (60 м). Снижение напоров в падунском водоносном комплексе в скважинах дренажного контура контролируется датчиками уровня, установленными на гидрометрическом кабеле на глубине 100-200 метров: датчики уровня производства Швейцарии фирмы STS – МТМ/Н10 с регистратором данных DL/Н и фирмы Keller – DCX-16VG с регистратором данных DCX 4.0.

Мониторинг распределения напоров в прибортовом массиве карьеров ведется по показаниям датчиков гидростатического давления Geokon марки 4500SH-3, установленных на 4-х уровнях в 16 пьезометрических скважинах системы маркшейдерского и геомеханического мониторинга (на абс. отм. -90 м, -140 м, -190 м, -240 метров). Запись значений гидростатического давления и температуры воды с датчиков ведется 4-х канальным даталоггером 8002-4-2 LC-2x4, установленным на устье скважины.

Анализ результатов мониторинга уровня подземных вод показал, что воронка депрессии в перекрывающих отложениях имеет асимметричную форму, она вытянута в северном направлении на 4,7 км, в южном и восточном – на 4,0 км, в западном на 2,7 км; ее развитие во всех направлениях кроме южного практически стабилизировалось. Это связано с тем, что в западном, восточном и северном направлениях воронка депрессии достигла границ обеспеченного питания со стороны рек Золотицы, Светлой, ручья Светлого и хвостохранилища ГОКа.

В падунском водоносном комплексе в текущем году произошло снижение уровня на 20 м по сравнению с октябрём 2015 года в результате ввода новых ВПС по восточному флангу дренажного контура и существенного роста суммарного объема откачиваемых подземных вод. Воронка депрессии в этом комплексе имеет приблизительно симметричную форму с радиусом 6,5-7,7 км, несколько вытянутую в северо-восточном направлении. Возможно

это обусловлено повышенной водопроницаемостью отложений комплекса в этом направлении, связанной с зоной, повышенной трещиноватости рудоконтролирующего разлома.

В мезенском водоносном комплексе изменения не значительны. В северном и северо-восточном направлении воронка депрессии, как и в падунском комплексе, более вытянута, ее радиус составляет 3,7-4 км; понижение уровня подземных вод прослежено до трубки Пионерской.

Контроль изменений качественного состава подземных вод на месторождении алмазов им. М.В. Ломоносова проводится в соответствии с утвержденной программой мониторинга. Отбор проб воды осуществляется на следующих объектах:

- ВПС внешнего дренажного контура;
- самоизливающие скважины в карьерах тр. Архангельская и тр. Карпинского-1 для опробования вод из отложений кратерной фации;
- скважины режимной сети, пробуренные на разные водоносные горизонты;
- новые режимные, водопонижающие и пьезометрические скважины в процессе (для пьезометрических скважин) и после окончания бурения;
- нисходящие и восходящие родники и самоизливающие скважины в пределах карьерных выработок;
- хвостохранилище: наблюдательные скважины и пьезометры, пруд-отстойник;
- Южный водозабор: водозаборные и наблюдательные скважины в пределах 1 пояса зоны санитарной охраны (ЗСО);
- технический водозабор в пос. Поморье: водозаборная скважина;
- суммарный водоотлив дренажного контура ВПС в точке сброса из водоотводного коллектора в руслоотводной канал и р. Золотица;
- карьерный водоотлив на тр. Архангельская и тр. Карпинского-1;
- промежуточный отстойник карьерных вод;
- отстойник отвальных вод.

Пробы отбираются для оценки качества воды по результатам выполнения полных и сокращенных химических анализов, определений содержания микрокомпонентов, взвешенных веществ, поверхностно-активных веществ, нефтепродуктов, химического потребления кислорода, бактериологических и радиологических показателей. Анализы состава подземных вод выполняются в лабораториях ФГБУ станция агрохимической службы «Архангельская» и ЛМПВ ЦМС ФГБУ «Северное УГМС», а также силами производственной лаборатории ПАО «Севералмаз».

В результате ведения гидрохимического мониторинга на объектах Ломоносовского ГОКа уточнены модели природного формирования состава подземных вод и его изменений в процессе водопонижительных работ. В естественных условиях основной дренажной подземных вод является р. Золотица, под глубоко врезанной палеодолиной которой на северном фланге трубки им. Карпинского-1 в падунском водоносном комплексе встречены воды Cl-Na состава с повышенной минерализацией. Предположительно, эти воды посту-

пали в водоносный комплекс падунской свиты венда при таянии валдайского ледника. Впоследствии они повысили свою минерализацию за счет взаимодействия с водовмещающими отложениями (гидролиз алюмосиликатов) и смешения с солеными водами, которые содержатся в нижезалегающей слабопроницаемой толще пород мезенской свиты венда и частично разгружаются в речную долину по контактам с рудным телом или по разломам. Это обусловило различие в формировании химического состава дренажных вод при эксплуатации системы осушения двух карьеров. Для дренажных вод, откачиваемых ВПС северного участка дренажного контура вокруг тр. им. Карпинского-1, характерны наиболее высокие значения сухого остатка. Показатели сухого остатка дренажных вод, откачиваемых ВПС вокруг тр. Архангельская, повышались только по скважинам, расположенным на западном борту карьера, наиболее близко к долине р. Золотицы, а затем стабилизировались [2].

Сбор, накопление и систематизация материалов мониторинга осуществляются путем создания и постоянного пополнения баз данных, анализа и обобщения результатов с целью контролирования процессов, происходящих в подземной гидросфере, и разработки на этой основе прогнозов и оперативных решений [1]. С момента начала отработки месторождения алмазов им. М.В. Ломоносова гидрогеологический мониторинг выполняется с постоянной оценкой результатов наблюдений и выдачей краткосрочных и долгосрочных прогнозов с использованием постояннодействующей геофильтрационной модели месторождения, которая постоянно пополняется, актуализируется с учетом фактических данных по водопритокам, а также на основе данных мониторинга уровня режима подземных вод. Результаты краткосрочных и долгосрочных прогнозов водопритоков в карьеры, выполняемых с использованием данной модели, показывают практически стопроцентную сходимость фактических и прогнозных величин, подтверждают правильность принятых решений по регулированию «проскока» в карьеры дренажным контуром ВПС.

Литература

1. *Всевожский В.А.* Основы гидрогеологии / В.А. Всевожский. – М.: Изд-во МГУ, 2007. – 448 с.
2. *Шкиль И.Э.* Изменение гидрогеоэкологических условий при осушении карьеров трубчатых месторождений им. М.В. Ломоносова / И.Э. Шкиль, А.И. Поршнева, А.И. Малов // Проблемы недропользования. – 2016. – № 3. – С. 105-114.

7. ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ РАЗРАБОТКИ МЕСТОРОЖДЕНИЙ КРИОЛИТОЗОНЫ И АРКТИКИ

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ОСВОЕНИЯ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ НА ПРИРОДНО-ТЕРРИТОРИАЛЬНЫЕ КОМПЛЕКСЫ (НА ПРИМЕРЕ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ЯКУТИИ)

И.В. Абатурова, И.Г. Петрова, И.А. Королева, М.С. Патракова

Уральский государственный горный университет, Екатеринбург. E-mail: gingeo@mail.ru

Реализация программы развития минерально-сырьевой базы России, направленная на развитие производства, повышения экономической и социальной стабильности северо-восточного региона, предполагает освоение минерально-сырьевых ресурсов Восточной Сибири.

В связи с этим становятся чрезвычайно актуальными вопросы изучения состояния и ожидаемого изменения природных условий на примере территорий строительства сооружений горнодобывающих предприятий, особенно в пределах распространения многолетнемерзлых пород (ММП).

Освоение месторождений рудного сырья в криолитозоне традиционно считается сложным мероприятием, которое может привести к существенным негативным последствиям для природно-территориальных комплексов (ПТК), а недоучет специфических особенностей горных пород при проектировании может привести к возникновению аварийных ситуаций на объектах горно-обогатительного комбината (ГОК) и значительному экологическому ущербу [4].

В состав проектируемого горно-обогатительного комбината входят: карьер, площадки отвалов пустых пород, автодороги, склад взрывчатых веществ, полигон ТБО, жилой поселок, золотоизвлекательная фабрика, водо- и хвостохранилище, пруды-отстойники.

Сам объект расположен в пределах Оймяконского улуса Республики Саха в 60 км на северо-восток от с. Оймякон. Климат района резко континентальный. Рельеф низкогорный, полого-увалистый с абсолютными отметками от 740 до 1250 м. Общая площадь, участка исследований включая площадь потенциального воздействия около 1 км².

В геологическом отношении территория сложена неоднородными по возрасту, составу, мощности, генезису (аллювиальные, делювиально-элювиальные, делювиально-солифлюкционные, пролювиальные и т.д.) отложениями, включающими мощные повторно-жильные льды в виде линз, прослоев и пластов. По литологическому составу в разрезе вскрыты суглинки разной степени льдистости, супеси слабольдистые, дресвяные, щебенистые, гравийные и галечниковые грунты. Сложное залегание четвертичных отложений отмечается как в фаціальном, так и в стратиграфическом отношении. В литературе такие толщи получили название «ледовый комплекс», под которым понимается полигенетическое образование, в котором фаціальные особенности, связанные с видом накопления осадка, подавлены криогенными факторами, такими как полигонально-жильное и агрегационное льдонакопление.

Для толщи характерна высокая не только макрольдистость, но и льдистость внутрполигональных блоков. Грунты характеризуются массивными, слоистыми, сетчатыми, жильными и корковыми криогенными текстурами. Подстилается «ледовый комплекс» алевролитами верхнего триаса средней прочности, морозными.

В геокриологическом отношении территория проектируемого ГОКа относится к Верхояно-Чукотской складчатой системе Яно-Оймяконскому региону сплошного распространения ММП.

Многолетнемерзлые породы сливающегося типа, однослойного строения, значения температур грунтов на глубине пояса постоянных температур составляют $(-4) - (-4,3)^{\circ}\text{C}$. Отличительной особенностью территории является спорадическое распространение повторно-жильных льдов до 5-10 м.

Итак, сложность и многофакторность природных условий обеспечивают их уязвимость в процессе строительства и эксплуатации производственных объектов. Практически все природные среды: атмосфера, почва, грунты, недра, флора и фауна, поверхностные воды, криолитозона будут испытывать техногенное воздействие.

Воздействие на атмосферный воздух будет носить постоянный характер. Так на карьере и отвалах и при транспортировке горных пород в атмосферу будут выделяться: азот диоксид, азот (II) оксид, углерод (сажа), дигидросульфид, сера диоксид, углерод оксид, керосин, бенз(а)пирен и формальдегид, пары реагентов (обогащение полезных ископаемых) и продукты их разложения, пыль руды (свинец, цинк, медь азотная и т.д.).

Воздействия на поверхностные воды будут отмечаться как при строительстве, так и при эксплуатации сооружений. И будут выражаться в изменении площади водосбора, уничтожении участков естественного русла водотоков, нарушении естественного поверхностного стока, а также в поступление загрязняющих веществ в водные объекты, как аэрогенным, так и гидрогенным путем. Возможными причинами трансформации гидрохимических параметров водных объектов будут являться: сброс сточных вод различного назначения, смыв атмосферными осадками загрязняющих веществ, фильтрация сточных вод из объектов-накопителей.

Воздействие на геологическую среду. К числу видов воздействия относятся: механическое нарушение, возникновение и активизация экзогенных геологических процессов, термическое воздействие.

Механические нарушения связаны с изъятием значительных масс пород, изменением рельефа местности и формированием новых техногенных форм рельефа. Формирование статических нагрузок, связанных с формированием насыпей автодорог, отвалов. Статические нагрузки с одной стороны приведут к уплотнению грунтов, с другой к изменению фильтрационных характеристик и нарушению движения грунтового стока.

Возникновение и активизация экзогенных геологических процессов будет зависеть от типа сооружений, их конструктивных особенностей и техногенных воздействий, которое они будут оказывать на геологическую среду. На площадках строительства: автодорог, ЗИФ, полигона ТБО и т.д., в результате создания насыпей, на уровне земной поверхности возможно формирование подпора поверхностных и надмерзлотных вод, что приведет к увеличению глубины сезонного оттаивания, а при длительном стоянии воды будет развиваться заболачивание. В зимний же период при плохом дренаже возможно образование наледей либо бугров пучения.

На площадках водохранилища, водосбросного канала ручья прогнозируется развитие таких процессов как эрозия (на склонах), переработка берегов. Строительство и эксплуатация карьера может привести к развитию ряда инженерно-геологических процессов, связанных с потерей устойчивости бортов карьера. Сооружение отвалов, являющихся сложным технологическим процессом, должно выполняться согласно проектным решениям, в случае неверного заложения углов наклона откосов отвалов может привести к развитию оползневых процессов.

Термическое воздействие от проектируемых объектов выразится в изменении температурных параметров многолетнемерзлых грунтов, которое связано с рядом факторов, в том числе с преобразованием рельефа местности, удалением почвенного и растительного покрова, с возможностью перераспределения снегового покрова. Этот процесс неоднозначный и в пределах различных площадок изысканий носит субъективный характер.

Основную роль в формировании температурного режима под основанием насыпи ТБПО играет снежный покров. Отсутствие снежного покрова на эксплуатируемых участках полигона приведет к интенсивному охлаждению грунта в первые 10 лет эксплуатации. Уменьшение температуры при этом составит: минус 7,5°C (поверхность насыпи); минус 6,3°C (подошва насыпи), минус 4,0°C на глубине слоя постоянных температур (10-15 м). На участках, выведенных из эксплуатации, будет происходить более медленное восстановление температурного режима и незначительный рост температур, отражающий глобальные климатические изменения. На конечный срок эксплуатации (40-50 лет), уменьшение температуры составит от минус 6°C (поверхность насыпи), до минус 3,2°C (глубина 40 м).

Строительство водохранилища в условиях криолитозоны неизбежно приведет к резкому повышению температуры грунта основания в первые

3-5 лет эксплуатации. Повышение температуры составит от 4,8 °С (дно водохранилища) и 5,5°С (глубина 5 м), до 0,5°С (глубина 40 м). После 10 лет эксплуатации водохранилища скорость роста температуры ниже границы талика с глубиной будет уменьшаться и в среднем составит 0,5°С за 10 лет (0,05°С/год).

Строительство хвостохранилища также в первые 10 лет эксплуатации приведет к интенсивному разогреву грунтов основания. Повышение температуры составит от 6,5°С (дно хвостохранилища) и 5,5°С (глубина 5 м), до 0,3°С (глубина 40 м). Начиная с 10-го года температурный режим основания хвостохранилища будет носить стационарный характер, а скорость роста температуры будет практически одинаковой по всей сорокаметровой толщине – 0,3-0,5°С за 10 лет (0,03-0,05°С/год). Кроме того, важной особенностью эксплуатации хвостохранилища, будет являться то, что за весь прогнозируемый срок (50 лет) грунты основания хвостохранилища останутся в мерзлом состоянии, т.е. не будет сформирована чаша оттаивания. Также следует отметить, что наиболее эффективным способом снижения термической нагрузки является увеличение площади хвостохранилища и, соответственно, интенсивности теплообмена пульпы с атмосферой.

Воздействие на почвы. Осуществление любой хозяйственной деятельности может привести к нарушению, загрязнению и деградации почв.

Воздействие на растительность. Строительство и эксплуатация крупных объектов всегда сопровождается нарушением почвенно-растительного покрова. С началом освоения территории структура растительного покрова подвергнется существенным локальным изменениям.

Основной ущерб лесным сообществам от воздействия строительства заключается в уменьшении лесопроизводящих площадей, сокращении общего запаса насаждений, нерациональном использовании срубленной древесины, которой очень мало в данном районе, в захлавлении территории и повышении пожарной опасности.

Воздействие на животный мир. К основным факторам воздействия, вызывающим беспокойство и представляющим угрозу популяциям позвоночных животных при строительстве, относятся:

- трансформация, нарушение и отчуждение местообитаний;
- присутствие большого числа людей, шум от работы технических и транспортных средств (фактор беспокойства);
- увеличение пресса охоты, браконьерство (социальный фактор);
- гибель животных при попадании в траншеи и т. п.
- загрязнение территорий.

При строительстве за счет нарушений местообитаний и шумового воздействия происходит откочевка животных в соседние биотопы, их «уплотнение» в новых местах при снижении биологической продуктивности территории в районе проектируемого объекта.

Литература

1. *Абатурова И.В., Стороженко Л.А., Петрова И.Г., Королева И.А.* Прогноз изменения компонентов инженерно-геологических условий при разработке месторождений полезных ископаемых в криолитозоне // Горный журнал. Руда и металлы. – 2015. – № 9. – С. 22-27.
2. Временные требования к геологическому изучению и прогнозированию воздействия разведки и разработки месторождений полезных ископаемых на окружающую среду. – М.: ГКЗ РФ, 1991.
3. Методические рекомендации по экологическому обоснованию проектов разведочных кондиций на минеральное сырье. – М.: МПР, 1995.
4. *Петрова И.Г., Ковязин И.Г., Разбакова Е.В.* Оценка экологического состояния природной среды горно-обогатительного комбината проектируемого в районе развития многолетнемерзлых пород // Проблемы недропользования. – 2016. – № 1 (8). – С. 84-88.

ГЕОТЕХНИЧЕСКИЕ И ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ ТЕРРИТОРИИ ЯМБУРГСКОГО ГАЗОКОНДЕНСАТНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ

**В.И. Гребенец¹, А.А. Найденко¹, В.А. Толманов¹,
А.Г. Хайрединова¹, В.Б. Павлунин²**

¹ Географический факультет МГУ им. М.В. Ломоносова, кафедра криолитологии и гляциологии; г. Москва, 119991, Ленинские горы, МГУ, Географический факультет.
E-mail: Khaisasha@mail.ru

² Ямбургская лаборатория мерзлоты ООО «Газпром добыча Ямбург»; ЯНАО, г. Новый Уренгой, 629306, ул. Геологоразведчиков, д. 9, ООО «Газпром добыча Ямбург», Ямбургская лаборатория мерзлоты. E-mail: v.pavlunin@ygd.gazprom.ru

Введение

В современных условиях основная добыча углеводородов (в том числе две трети газовых месторождений) приурочена к криолитозоне. Освоение северных регионов требует особого внимания к изучению инженерно-геокриологических условий территорий, к максимальному учету геотехнических и геоэкологических проблем, возникающих при строительстве и эксплуатации объектов. В этом отношении почти 30-ти летний опыт и огромные масштабы хозяйствования на Тазовском п-ове ООО «Газпром добыча Ямбург» являются во многом уникальными и представляют особый интерес при разработке новых месторождений в Арктике. Мониторинг вечномерзлых оснований, осуществляемый Ямбургской лабораторией мерзлоты с начала освоения территории, а также экспедиционные исследования сотрудников и студентов кафедры криолитологии и гляциологии Географического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова в 2000–2016 гг. позволили выявить инженерно-геокриологические проблемы на Ямбургском месторождении (ЯГКМ). При инженерно-геокриологических исследованиях территории использованы

различные полевые, лабораторные и камеральные методы: ландшафтно-мерзлотная индикация; наблюдения за термоэрозией, буграми пучения, сезонно-талым слоем, полигонально-жильными структурами; бурение с описаниями мерзлотно-литологического строения отложений; термометрия и др.

Результаты и обсуждение

ЯГКМ расположено в центре западного побережья Тазовского полуострова на берегу Обской губы (68° с.ш., 78° в.д.) в пределах трех основных геоморфологических уровней: Приобской и Пойлово-Яхинской прибрежно-морских террас, в центральной части – сильно сденудированной Казанцевской озерно-аллювиальной. Отметки поверхности на территории месторождения изменяются от 15-20 м до 60-80 м, а ее площадь составляет около 2000 км². Характерна суровая, длительная, снежная зима, которая продолжается до 8 месяцев, температура в этот период может достигать -60°С. Лето короткое, прохладное. Анализ динамики температуры наружного воздуха за период (1986-2016 гг.; данные метеонаблюдений аэропорта Ямбург) показывает определенный тренд к потеплению климата (рис. 1).

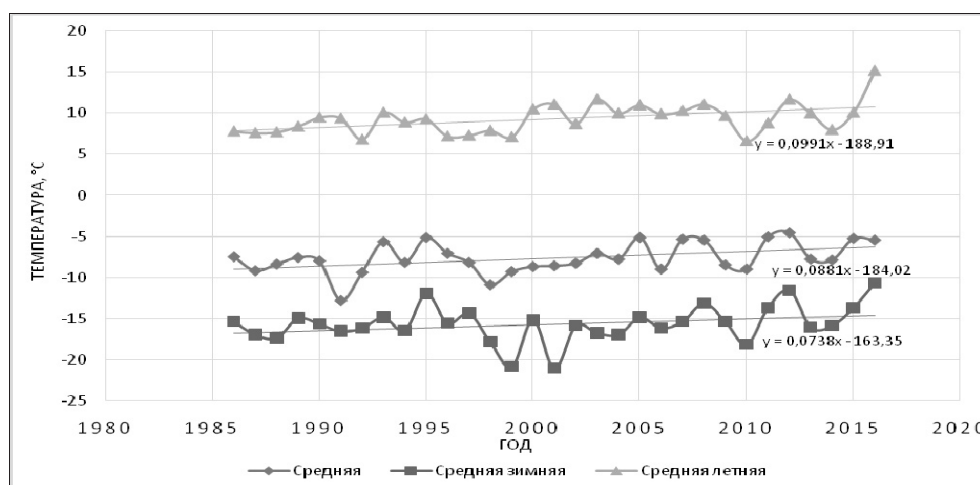


Рис. 1. Изменение температуры наружного воздуха в Ямбурге (1986-2016 гг.)

Из рис. 1. видно, что «наибольший вклад» в потепление вносит летний период, что, впрочем, не характерно для Арктических регионов [3]. Потепление зимой способствует снижению эффективности действия многочисленных сезонно-охлаждающих устройств (холодные проветриваемые подполья, жидкостные и парожидкостные установки), а увеличение снежности зим существенно осложняет эксплуатацию автодорог, при снегозаносах трубопроводов активизируется коррозия.

Район входит в Тазовскую геокриологическую область Харасавэй- Новоуренгойской подзоны по мощности ММП [1], составляющей 300-400 м в районе ЯГКМ[2]. На уровне нулевых годовых амплитуд значения температуры многолетнемерзлых пород (ММП) варьируют от -1 до -6 °С при этом средняя температура в пределах застроенных площадей составляет – 3 – 5°С.

Обустройство и эксплуатация добывающих скважин, возведение жилого поселка, укрупненных комплексов подготовки газа к транспортировке (УКПГ), прокладка многих сотен километров авто- и железных дорог, трубопроводов и другие техногенные воздействия привели к серьезной трансформации ландшафтных и мерзлотных условий. Установлено [4], что на территории Ямбургского газоконденсатного месторождения (ЯГКМ) сформировалось 7 основных типов природно-техногенных геокриологических комплексов:

1) площадки УКПГ с организацией водоотвода поверхности, системы дополнительного промораживания грунтов оснований, отличающиеся стабильностью инженерно-геокриологических условий и геотехнической ситуации (диапазон среднегодовых значений температур ММП на уровне нулевых годовых колебаний, T_0 составляет от -6 до -0,5 °С. Максимальная глубина сезонно-талого слоя, d_{th} , не более 1-1,5 м и более 5 м в районе крановых узлов);

2) современная городская жилая застройка, с регулярной снегоуборкой и хорошо действующими системами поверхностного водоотвода, с наземной прокладкой коммуникаций, нормально эксплуатируемыми проветриваемыми подпольями, характерна тенденция аградации ММП, затухания криогенных процессов и, отсутствие деформаций объектов (T_0 – от -6,6 до -2,5 °С, d_{th} – до 2,5 м);

3) территория застройки жилыми и подсобно-производственными зданиями 1980-х – начала 1990х годов с многочисленными тепловыделяющими объектами, где наблюдается тенденция к деградации мерзлоты и отмечены многочисленные деформации объектов (T_0 – от -8,0 до -1,5 °С, d_{th} – до 3 м);

4) участки с инфраструктурными промышленными объектами (портовый комплекс, промышленная зона), возведенными и эксплуатируемыми с нарушениями вечномерзлого состояния грунтов, в которых сформировались обширные зоны отепления и протаивания мерзлоты, активизировались термокарст и пучение, ряд объектов находится в разрушенном или сильно деформированном состоянии (T_0 – от -2 до -0,5 °С, d_{th} – более 5 м);

5) площадки складирования твердых отходов и мусора, здесь за счет химических реакций идет отепление мерзлоты; (T_0 – от -3 до +2; большая дифференциация СТС);

6) линейно-ориентированные зоны вдоль многочисленных трубопроводов, в пределах которых коренным образом изменяются условия теплообмена через поверхность, активизируются криогенное пучение опор газопроводов, термокарст и термоэрозия (T_0 и d_{th} зависят от мерзлотно-ландшафтных условий и от локального подтопления);

7) антропогенно-измененные тундровые участки, где на местах проезда тяжелой техники иногда развивается термокарст и термоэрозия (T_0 – от -2,5 до -1,5; d_{th} – до 3,5).

Особая проблема – развитие касательных сил морозного пучения металлических фундаментов надземных газопроводов, по этой причине ежегодно срезке или замене подвергаются 2,5 – 3 тыс. опор.

Уничтожение почвенно-растительного покрова, изменение естественного стока поверхностных и подземных вод (в СТС) путем устройства насыпей для автодорог и инженерных сооружений приводит к дополнительному заболачиванию поверхности, водонасыщению грунтов и усилению эрозионного размыва и образованию оврагов. При нарушении почвенно-растительных покровов происходит резкая активизация опасных процессов; например, осоково-пушицевая растительность снижает летом температуру на глубине 10 см примерно на 3-4 °С, а моховый покров на 10-12 °С [Д1].

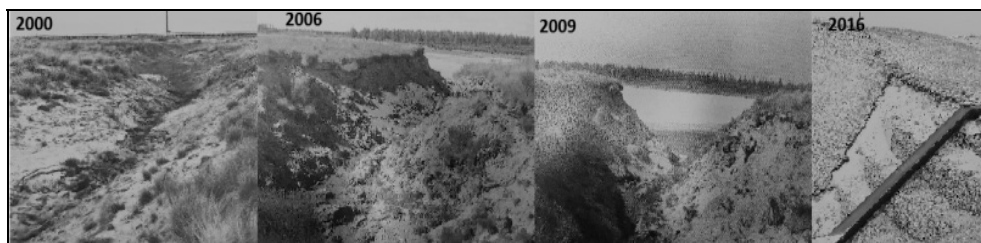


Рис. 2. Изменение овражно-балочной системы в районе УКПГ 1-В

Тазовский полуостров (достаточно большое количество атмосферных осадков, высокая размываемость сильнольдистых пылеватых тонко- мелкозернистых песков) – «царство» термоэрозии, оврагообразования, что осложняет эксплуатацию линейных сооружений (автомобильных и железных дорог, трубопроводов). В период с 2000 по 2016 год сотрудники экспедиции кафедры криолитологии Географического факультета МГУ наблюдали динамику роста оврага, находящегося вблизи территории УКПГ 1-В на правом берегу реки Нгарка-Пойловояха (рис.2).

В 2000 г. на месте оврага наблюдалась промоина шириной 1 м, глубиной 1 м, в 2006 г. – ширина оврага в его середине составила 13 м, глубина 5 м, а длина более 120м. Уже в 2009 г. ширина оврага составляла 19 м, глубина – 5.7 м (до 7 м ближе к конусу выноса), а длина более 127 м. Овраг являлся быстрорастущим и представлял собой эрозионно-размывной комплекс, угрожающий оголению свай эстакады газопровода. При таком стремительном развитии оврага под угрозу попадали и кусты скважин на УКПГ 1-В. В 2014- 2015 гг. была произведена засыпка оврага, проведены работы по регулированию стока поступающих вод и создание регулируемого стока, осыпные склоны были зафиксированы с помощью георешетки. Здесь уже была

совершена попытка минимизировать процессы термоэрозии и термоабразии. В 1993 г. на размываемом берегу р. Нгарка-Пойловояха был выполнен ряд мероприятий по борьбе с термоэрозией: крупный овраг, разливавшийся в сторону УКПГ был засыпан песчано-гравийным материалом, со стороны УКПГ применены сезонно-охлаждающие установки; со стороны р. Нгарка-Пойловояха берег был укреплен мощной подпорной железобетонной стенкой с системой удерживающих балок и ригелей. Следует отметить, что уже спустя 10-12 лет, многие из элементов крепления были разрушены или деформированы, поверхность искусственной стены существенно деформировалась, отошла от вертикального положения, в средней части сформировалась большая зона выпирания, связанная с деформациями оттаивающего за стенкой грунта.



Рис. 3. Прокладка трубопровода по бугру пучения, район УКПГ-2, Ямбургское месторождение

В обширных хасыреях (термокарстовых понижениях) в пределах обширной и сильно денудированной Казанцевской террасы (центральная часть Тазовского полуострова) фиксируются многочисленные бугры пучения, в том числе растущие, о чем свидетельствует наличие трещин на поверхности и активность склоновых процессов, высота многих из них достигает 6 – 8 м. Отмечена интенсивное развитие процессов солифлюкции, образование на солифлюкционных террасах пятен – медальонов, в связи с неравномерным пучением при промерзании СТС возникают линейно-вытянутые борозды и канавы. Поверхность многих бугров неровная с большим количеством солифлюкционных оплывин, а также оторфованных бугорков, связанных с неравномерным пучением. Сильная дифференциация условий теплообмена приводит к большой разнице в глубине сезонного оттаивания грунта. Серьезную угрозу устойчивости объектов представляет прокладка газопроводов

через бугры пучения (рис. 3) или распученные торфяники. Морозобойное растрескивание приурочено к торфяникам, при нарушении почвенно-растительных покровов активизируется термокарст и термоэрозия.

Заключение

Тепловой режим грунтов на застроенных территориях существенно изменён по сравнению с периодом изысканий 1970-80-х годов, что приводит зачастую к потере несущей способности замороженных опор, рассчитанных по данным предыдущих измерений температуры, но при применении эффективных сезонно-охлаждающих систем в основаниях многих сооружений произошло укрепление мерзлоты. Основными геотехническими и геокриологическими проблемами ЯГКМ являются: негативное воздействие касательных сил морозного пучения на опоры, формирование особых условий теплообмена через поверхность; активизация опасных криогенных процессов, прежде всего, термоэрозии, подтопление дорог, снижение несущей способности замороженных фундаментов.

Работа выполнена в рамках НИР кафедры криолитологии и гляциологии МГУ ГЗ 1.5 «Изменение криосферы Земли под влиянием природных факторов и техногенеза».

Литература

1. Сухов А.Г., Кузнецова И. Л., Лахтина О. В., Дроздов Д. С., Чекрыгина С.Н. Тазовская область // в кн. Геокриология СССР. Западная Сибирь / Под ред. Э.Д. Ершова. – М.: Недра, 1989. – С. 236-247.
2. Ямало-Гыданская область (физико-географическая характеристика) / Под ред. Р.К. Сиско. – Л.: Гидрометиздат, 1977. – С. 140.
3. Anisimov, O.A., Grebenets, V.I., Streletskiy, D.A. 2014. Chapter 6.4: Infrastructure objects located on permafrost. In Semenov S.M. and Kattcov V.M. (ed). Second Roshydromet Assessment Report on Climate Change and its Consequences in Russian Federation, Roshydromet, Moscow, Russia, 854- 877, ISBN 978-5-901579-52-7 (In Russian, General Summary available in English).
4. Grebenets V.I. 2008. Technocryogenesis Controls on the Permafrost Environment and Geotechnical Factors in Towns of the Permafrost Zone. Proceedings of the Ninth International Conference on Permafrost, University of Alaska, Fairbanks, June 29 – July 3, 2008, 1: 541-543.

ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКАЯ УСТОЙЧИВОСТЬ ПРИРОДНО-ТЕХНОГЕННЫХ СИСТЕМ ПРИ ОСВОЕНИИ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ В АРКТИЧЕСКОЙ ЗОНЕ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

В.Г. Заиканов, И.Н. Заиканова, Л.А. Матвеева, Т.Б. Минакова

Институт геоэкологии им. Е.М. Сергеева РАН, 101000, Москва, Уланский пер., д.13, стр.2.
E-mail: v.zaikanov@mail.ru, izaikanova@yandex.ru, yasenevo312@mail.ru

Арктическая зона Российской Федерации (АЗРФ) кроме суровости климата, отличается очаговым характером промышленно-хозяйственного освоения территории и низкой плотностью населения (1-2 чел./10 км²), а также высокой уязвимостью природных систем от техногенного воздействия производственной деятельности человека, среди которой наиболее распространенным является добыча полезных ископаемых.

Арктика остается пока одним из наименее загрязненных регионов Земли и играет большую роль в сохранении биологического равновесия на планете, но интенсивно загрязняется за счет местных источников и трансграничного переноса, а в районах промышленного освоения окружающая среда иногда подвергнута необратимым изменениям. На этих территориях значительное место занимают карьеры и отвалы горнодобывающих и горнообработывающих предприятий. Значительные площади промышленных отвалов и твердых отходов сформировались в Мурманской области, в низовьях р. Печоры в Ненецком автономном округе, на юге полуострова Ямал в Ямало-Ненецком автономном округе, в Норильском промышленном районе, на севере Республики Саха (Якутия) и вокруг золотодобывающих районов Чукотского автономного округа. Общая площадь земель, трансформированных в результате антропогенной деятельности, достигает 3% от общей площади материковой части АЗРФ. Ежегодный прирост нерекультивируемых нарушенных земель составляет: в нефтедобывающей промышленности – 5-6 тыс. га, в газовой промышленности – 2,5-3 тыс. га, на строительстве трубопроводов – 0,4-0,5 тыс. га. В окрестности медно-никелевых комбинатов Норильска, Мончегорска и Заполярного в радиусе десятков километров нарушены геологические условия, почвенный покров, вследствие чего активизируется процесс трансформации природных ландшафтов. Кроме того, оказывают негативное воздействие на человека и природу результаты прежней хозяйственной деятельности, в частности, имеющие широкое распространение в районах интенсивного освоения: нерекультивированные отвалы, карьеры, хвостохранилища; площади геохимического и радиационного загрязнения.

Важнейшей отличительной особенностью АЗРФ, выделенной на основании Указа № 296 от 2 мая 2014 г., обозначившего ее материковые границы, определяющей условия сохранения устойчивости природно-техногенных систем, является наличие в ней многолетнемерзлых пород (ММП).

Ввиду высокой уязвимости тундровые и арктические природные и природно-антропогенные геосистемы имеют низкий экологический потенциал, поэтому легко разрушаются под воздействием человека и долго восстанавливаются впоследствии. В АЗРФ существуют десятки очагов, в которых масштабы деградации природно-техногенных геосистем достигли критических значений. Опасность для здоровья местного населения и геосистем представляют: загрязнение атмосферного воздуха, водных объектов, почв вредными веществами, являющимися выбросами и сбросами предприятий горнодобывающей и металлургической промышленности, предприятий добычи и транспортировки нефти и газа; скопление промышленных отходов, химических реагентов для бурения скважин и т.д. Природопользование в Арктической зоне неустойчиво также ввиду низкого технического уровня и высокого износа основных производственных фондов, кризиса в воспроизводстве минерально-сырьевой базы по многим видам добываемых природных ресурсов.

В результате масштабного хозяйственного освоения и потепления климата в последние десятилетия удаленные районы Арктики стали более доступными для человека, в связи с чем возросли нагрузки на биосистемы. В результате сократилась численность редких видов растений и животных и произошла трансформация мест их обитания. Поэтому остро встал вопрос обеспечения геоэкологической устойчивости арктического региона.

Решающую роль в сохранении устойчивости природно-техногенных систем в указанных выше неблагоприятных, вплоть до экстремальных, климатических и геоэкологических условиях играет их способность к самоочищению. Эта способность находится в прямой зависимости от экологического потенциала самой системы и величины антропогенной нагрузки на нее.

Главным условием геоэкологической устойчивости в этой зоне является сохранение существующих геоэкологических условий ММП, которое исключает развитие неблагоприятных мерзлотных инженерно-геологических процессов, негативно влияющих на состояние природных и природно-техногенных систем.

Геоэкологическая устойчивость геосистем и природно-техногенных систем не может быть сохранена и обеспечена, если будет нарушен закон внутреннего динамического равновесия. Под угрозой будет не только качество природной среды, но и существование всего комплекса природных компонентов уже в обозримом будущем. Закон внутреннего динамического равновесия действует как регулятор нагрузок на окружающую среду при условии, что не нарушены «баланс компонентный» и «баланс крупных территорий». Именно эти «балансы» являются нормами рационального природопользования, это они должны лежать в основе разработки мероприятий по охране окружающей среды. Суть этого закона состоит в том, что природная система обладает внутренней энергией, веществом, информацией и динамическим качеством, связанными между собой настолько, что любое изменение одного из этих показателей вызывает в других или в том же, но в другом месте или в другое время, сопутствующие функционально-количественные перемены, сохраняющие сумму вещественно-энергетических, информационных и дина-

мических показателей всей природной или природно-техногенной системы. Это и обеспечивает системе такие свойства как сохранение равновесия, замыкание цикла в системе и ее «самовосстановление», «самоочищение».

Естественное равновесие – одно из самых характерных свойств живых систем. Оно может не нарушаться при антропогенном влиянии и переходить в равновесие экологическое, сохраняя баланс естественных или измененных человеком средообразующих компонентов и природных процессов, приводящий к длительному (условно-бесконечному) существованию данной геосистемы.

Стратегия формирования экологически устойчивого развития АЗРФ включает обеспечение нынешнего и будущих поколений жителей благоприятной окружающей средой путем рационального и безопасного использования имеющегося природно-ресурсного потенциала, последовательного снижения рисков чрезвычайных ситуаций, повышения защищенности населения, создания экологически безопасных условий жизнедеятельности.

Современная геоэкологическая обстановка может быть рассмотрена на примере нескольких регионов АЗРФ (рис.1). В Мурманской области участки максимального загрязнения окружающей среды области расположены вблизи городов Мончегорск и Никель и занимают площадь около 3,2 тыс. км². В районе АО «Апатит» на площади около 3000 км² ежегодно складывается более 30 млн т отработанной породы, содержащей стронций. Особую тревогу вызывает накопление в отвалах и свалках токсичных отходов, в том числе содержащих канцерогенные вещества. Сложившаяся на Кольском полуострове экологическая ситуация представляет реальную угрозу здоровью населения, биоразнообразию, геосистемам.

В экономике Ненецкого АО определяющим является минерально-сырьевой комплекс (углеводородное сырье). Разрабатывается 16 месторождений, планируется ввод в разработку дополнительно 10 месторождений углеводородного сырья, готовятся к промышленной разработке еще 8 нефтяных месторождений. Данная территория является одним из самых перспективных регионов России для развития отечественной нефтедобычи. Добыча каменного угля в Воркутинском бассейне ведется с 1937 г. подземным способом. Несмотря на закрытие ряда шахт и проведение природоохранных мероприятий, по валовому выбросу загрязняющих веществ в атмосферу этот район среди других стоит на первом месте. Ведущее место в промышленном производстве Ямало-Ненецкого АО занимает газовая промышленность – разрабатываются 9 месторождений газа. На территории Таймырского (Долгано-Ненецкого) АО находится крупнейший в России Норильский горно-металлургический комбинат (ГМК), добывающий и перерабатывающий медно-никелевые руды. Город Норильск является самостоятельным муниципальным образованием. Он на протяжении ряда лет входит в перечень городов Российской Федерации с наибольшим уровнем загрязнения воздуха.

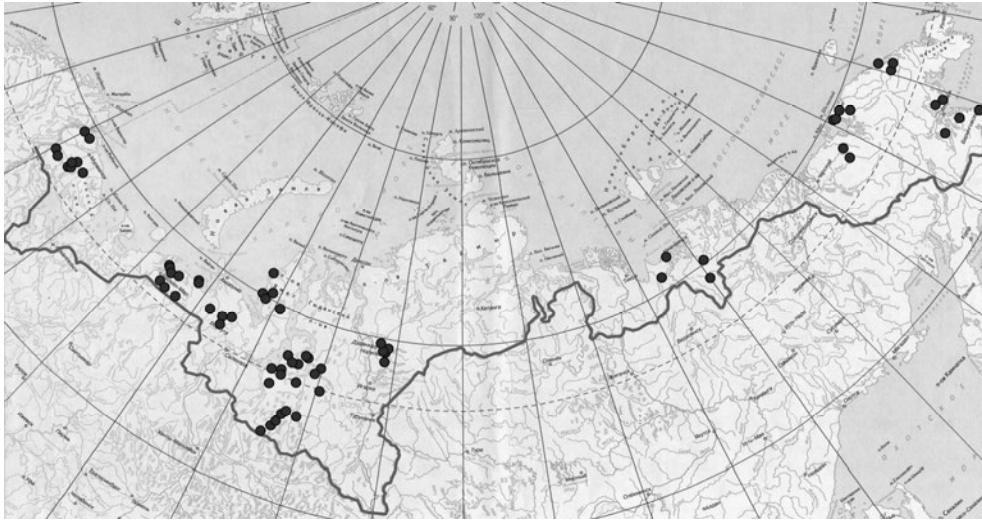


Рис. 1. Основные разрабатываемые месторождения (отмечены точками) на территории Арктической зоны Российской Федерации

Территория Республики Саха (Якутия) в границах АЗРФ ориентирована на добычу и обогащение минерального сырья. Анабарский улус является центром освоения россыпных алмазных месторождений. Здесь работают три алмазодобывающих предприятия, сезонная обогатительная фабрика. Основа экономики Усть-Янского района – добыча олова и золота. Крупным предприятием является ЗАО «Горно-обогатительный комплекс «Депутатский», занимающийся добычей и обогащением оловянной руды.

В Чукотском АО основной отраслью промышленности является горнодобывающая (золото, олово, вольфрам, ртуть, каменный и бурый уголь). Экологически опасным объектом является обогатительная фабрика в Чаунском районе, в хвостохранилище которой накоплены радиоактивные отходы.

В условиях практически повсеместного распространения многолетнемерзлых пород освоение АЗРФ и обеспечение экологической устойчивости ее природно-антропогенных комплексов должно происходить с применением строгого контроля за изменением природных, в том числе, геокриологических условий зоны освоения в соответствии с мерзлотным прогнозом территории, при соблюдении определенной технологии работ, режима эксплуатации сооружений и обустройства окружающей территории.

В настоящее время реализуются многие проекты по ликвидации прошлого ущерба на территориях населенных пунктов, среди которых преобладают точечные малоплощадные объекты или проекты по очистке ненаселенных островов. Решение проблемы обеспечения безопасности населения в особых условиях АЗРФ требует использования экологически безопасных и экономически целесообразных инновационных технологий производства и реабилитации территории.

В прогнозный период в соответствии со «Стратегией развития Арктической зоны Российской Федерации и обеспечения национальной безопасности на период до 2020 г.» заложены основы новой единой национальной системы мониторинга состояния и загрязнения природной, социальной, промышленной сред АЗРФ.

Геоэкологическая устойчивость – одна из важнейших составляющих национальной безопасности, включающая природные, социальные, технические и другие условия, обеспечивающие комфортность жизнедеятельности постоянно проживающего (либо работающего вахтовым методом) в экстремальных природных условиях АЗРФ населения.

ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ ОСВОЕНИЯ РОССЫПЕЙ АЛМАЗОВ АРКТИКИ (ОБЪЕКТЫ БАССЕЙНОВ РЕК АНАБАР И ЛЕНА)

С.А. Захаров¹, С.К. Мустафин²

¹ ОАО «Алмазы Анабара», 677007, Якутск, ул. Чернышевского, 6. E-mail:ecology@alanab.ru ²
Башкирский государственный университет, 450076, Уфа, ул. Заки Валиди, 32.
E-mail:sabir.mustafin@yandex.ru

Рассматриваются инженерно-геологические условия отработки россыпей в криолитозоне Арктики на примере бассейнов рек Биллях (Анабарский россыпной алмазоносный район) и Молодо (Приленский россыпной алмазоносный район) Лено-Анабарской алмазоносной субпровинции северо-востока Сибирской платформы.

Субширотная долина р. Биллях протяжённостью 56,5 км, выработана в доломитах анабарской свиты среднего кембрия которым свойственны пористость, кавернозность и развитие маломощной (в среднем 0,6-0,9 м) коры выветривания. Долина реки врезана на незначительную глубину – 20-30 м, в среднем течении – до 30-40 м, в нижнем – до 90-100 м. Коэффициент уклона продольного профиля в среднем 0,003-0,004 в приустьевой части и в верховьях повышается до 0,005-0,008. С учётом геоморфологического строения россыпи и особенностей изменчивости её алмазоносности выделено 6 участков.

Наблюдается корреляция алмазоносности современных россыпей с фрагментами распространения алмазоносных неогеновых долин или покровных отложений этого возраста [1].

Инженерно-геологические условия месторождения определяются расположением его в зоне развития многолетнемерзлых пород, мощность которых достигает 300 м, и климатическими условиями территории.

Породы находятся в многолетнемёрзлом состоянии с устойчивым температурным режимом (от $-4,8^{\circ}$ до $-6,4^{\circ}$ С). Общая мощность летнего оттаивания пойменных суглинков при мощности непрерывно снимаемых слоёв 15 см равна 5,0 м.

Исходя из метеорологических условий территории Анабарского улуса и производительности участка по добыче и промывке песков, общая продолжительность рабочего сезона принимается равной 335 суток (15 января – 15 декабря). Рабочий сезон делится на 5 периодов: 1) Вскрыша торфов, проведение горно-подготовительных работ и строительство гидротехнических сооружений, выемка мёрзлых песков, транспортировка песков: 15 января – 31 мая; 2) Подготовительные работы к промывке песков: 01 июня – 10 июня; 3) Промывка песков: 01 июня – 21 сентября (продолжительность промывки – 113 сут.); 4) Рекультивация погашенных блоков и объектов: 11 сентября – 30 октября; 5) Зачистка хвостохранилища от шлама: 01 февраля – 30 сентября.

Рекультивации подлежат: отвалы вскрышных пород, которые обратно засыпаются в отработанные блоки; отстойники-хвостохранилища с дамбами; промплощадки; рудные дворы; автоотвалы рыхлых горных пород; эфельные отвалы.

Горнотехнический этап рекультивации производится после отнесения площадей к отработанным и включает: 1) выполаживание бортов разрезов и откосов отвалов; 2) отсыпку галечником илистых бортов разрезов, подлежащих затоплению для предотвращения размыва пород; 3) нанесение на спланированные поверхности почвенно-растительного слоя или слоя потенциально плодородных пород.

При проведении горно-добычных и геологоразведочных работ, предусматривается проведение комплекса мероприятий для предотвращения загрязнения водных ресурсов: строительство руслоотводного канала, рациональное использование воды, проведение регулярного контроля за степенью очистки сточных вод, проведение мероприятий по предотвращению загрязнения водоемов нефтепродуктами, проведение обследования гидротехнических сооружений, которые проводятся в полевой документации маркшейдерской и экологической службой [1].

Комплексная рекультивация нарушенных земель проводится в целях снижения экологических рисков, связанных с техногенной трансформацией почвенного покрова, и призвана обеспечить: создание земельных ландшафтов зарастания, устранение нарушения гидрогеологического режима местности, очагов эрозионных процессов. В районе месторождения нижняя граница многолетнемёрзлых пород проходит на глубине 300-400 м., мощность деятельного слоя в середине августа 0,05-1,5 м.

В пределах промышленного контура россыпи выделяются: современно-верхнечетвертичная, средне-верхнечетвертичная, неоген-нижнечетвертичная части. Пески россыпи представлены песчано-гравийно-галечно-щебнистыми образованиями с различным содержанием илистого, глинистого и валунно-глыбового материала, валуны доломитов 15-40 см. Валунность песков от 0,1

до 38,4%, содержание песчано-глинистого материала фракции – 0,5 мм составляет 40-60%. Грубообломочный материал представлен доломитами (70-80%), их окремнёнными разностями (8-10%), кремнями (7-17%), реже – галькой известняков, халцедона, кварца, кварцита, песчаников и др.

Как попутные полезные компоненты присутствуют золото и платиноиды.

В 2013 г. из россыпи р. Биллях добыто 1,3 млн каратов алмазов. Количество окрашенных камней – 42,3 %; преобладают индивиды лилово-коричневой – 17,1 %, серой – 13,3 % и желтой – 7,1 % окраски. Средний вес алмазов 20,5 мг (~ 0,1 карата). Добыто несколько крупных алмазов весом более 50 кар, в том числе «Творец» – самый крупный из найденных в россыпях РФ, размерами 52,4 x 33,0 x 24,4 мм, весом – 298,52 карата. К продуктивному пласту относятся маломощные (0,3-1,0 м) переотложенные коры выветривания, представленные доломитовой мукой со значительным (до 31,4%) содержанием глыб.

Торфа россыпи представлены илистыми, суглинистыми или супесчаными отложениями с примесью (первые проценты) грубообломочного материала и визуально легко отличаются от песков. Суглинки и супеси имеют следующие характеристики: влажность 0,31-0,52; относительная осадка под нагрузкой 0,081-0,301 кг/см²; общее сопротивление сдвигу – 0,10 – 0,25 кг/м².

Месторождения россыпных алмазов бассейна р. Молодо – левого притока р. Лена представлены участками Верхнее Молодо и Молодо протяженностью 19 км и 42,5 км разделенными участком в 28,5 км. Объекты расположены в области сочленения Оленекского гидрогеологического массива и Нижне-Ленского артезианского бассейна, в зоне сплошного развития многолетней мерзлоты мощностью до 600 м, что обусловило отсутствие связи подмерзлотных и межмерзлотных вод с надмерзлотными.

Геокриологические условия территории наряду с ведущим климатическим фактором формируют геолого-геоморфологические особенности речной системы, литологический состав и влажностный режим рыхлых долинных отложений, характер растительного покрова.

В геологическом строении площади участвуют карбонатные породы еркекетской и куонамской свит C_{1-2} , терригенные породы далдынской свиты C_3-P_1 , отложения четвертичного возраста – от Q_{II-III} до Q_{IV} , представленные аллювием различной алмазности и склоновыми образованиями [2].

Россыпь аллювиального типа, включает аллювий русла, кос и низкой поймы (русовая россыпь), высокой поймы и террас (террасовая россыпь), по морфологии – долинная, представлена залежью пластообразной формы.

По сложности геологического строения относится к третьей группе. Средняя ширина россыпи в русловой части 54,9 м, в террасовой – 108,9 м; средние мощности: льда – 0,18 м, торфов – 2,69 м, продуктивного пласта (песков) – 1,82 м. Пласт алмазносных галечников (песков) основания залежи перекрыт осадками поймы и склонов (торфами) не содержащими алмазы.

К особенностям геологического строения россыпи относятся: изменчивость ширины, невыдержанная мощность, высокая изменчивость содержания алмазов, линзовидно- и узко-струйчатым типом концентрации алмазов.

Пески россыпи характеризуются объёмной массой 1,78-1,9 т/м³; естественной влажностью – 10,8-13,8%; льдистостью – 1,4-5,4%; валунистостью 1,3-3,96%; коэффициентом разрыхления – 1,2-1,45.

Торфа имеют объёмную массу 1,67 т/м³; и высокую льдистость – 25-35%.

В продуктивных отложениях преобладают (около 80 %) галька и гравий известняков, битуминозных сланцев, песчаников, реже кварца, содержание валунов от 0,67 до 1,17 %; коэффициент окатанности обломочного материала от 28,3 до 56,4 %. Тяжелая фракция представлена ильменит-лимонит-пироксен-альмандиновой ассоциацией, в подчинённом количестве присутствуют магнетит, рутил, циркон и др.

В алмазном сырье количественно преобладают кристаллы класса –2+1 мм (54,9%), доля камней класса –4+2 мм – 30,7%, мелких кристаллов – 1+0,5 мм и крупных камней – 8+4 мм – 1,8%; ювелирные камни крупных классов определяют основную стоимость.

Основная масса зернистого материала песков (89,07-97,60%) имеет плотность менее 2,86 г/см³, количество материала промежуточной плотности 2,86-3,20 г/см³ от 1,91 до 6,24%. Выход тяжелой фракции плотностью более 3,2 г/см³ повышается с уменьшением крупности зерна от 0,49 до 3,91%.

Проведённые ранее инженерно-геологические исследования и криологическая съёмка позволили оценить мерзлотно-инженерно-геологические условия месторождения выделить два инженерно-геологических комплекса со сходными геолого-геоморфологическими и мерзлотными условиями: 1) аллювий современного русла; 2) аллювий высокой поймы и надпойменных террас.

Дочетвертичные скальные многолетнемерзлые породы представлены известняками и битуминозными сланцами Є_{1-2} , слабо сцементированными песчаниками $\text{С}_3\text{-Р}_1$ возраста и туфолавами T_1 . Глубина оттаивания на склонах южной экспозиции – 1,5-2,5 м и на склонах северной экспозиции – 0,4-0,7 м.

Льдистость, в зависимости от степени трещиноватости, от 10 до 90 % (в среднем 30-35 %). Неогеновые аллювиальные галечники с прослоями песков мощностью 0,5-12 м. относятся к группе твердомерзлых прочно сцементированных льдом грунтов с глубиной оттаивания до 2,2 м.

Четвертичные многолетнемерзлые породы подразделяются по возрастному и генетическому принципам на флювиогляциальный, аллювиальный, делювиальный элювиальный типы. Флювиогляциальные отложения верхне-четвертичного зырянского оледенения (fQ_{III}) – пески, супеси, суглинки с горизонтом галечников (0,2-2,0 м) в основании. Льдистость от 15 до 80 %, в среднем 30-35 %. Мощность сезонно-талого слоя изменяется от 0,4 до 1,1 м.

Аллювиальные отложения: 1) первой и второй надпойменных террас р. Молодо ($\text{a1Q}_{III}\text{-a2Q}_{III}$); 2) высокой поймы ($\text{aQ}_{IИ}$); 3) низкой поймы ($\text{aQ}_{2И}$) распространены повсеместно представлены песчано-гравийными галечника-

ми, супесями, суглинками. Характеризуются льдистостью 15-90%, мощностью сезонно-талого слоя до 2,2 м. и распространены практически повсеместно. Аллювий террас мощностью в 10-12 м, в низах разреза представлен галечниками (1-4 м). Сезонно-талый слой от 0,9 до 21,7 м; консистенция грунтов в талом состоянии меняется от мягко-пластичной до твердой. Косоворусловые современные отложения (aQ_H) представлены галечниками с льдистостью 1-8%. Озерно-болотные современные отложения (lbQ_{III-H}) представлены торфом, илом, суглинками с льдистостью до 60 % и глубиной сезонно-талого слоя от 0,3 м до 2,0 м.

Делювиальные современные отложения – пески, супеси, суглинки с примесью щебнисто-глыбового траппового материала с льдистостью 25-30 %, мощностью сезонно-талого слоя 0,4-1,5 м. Элювиальные современные отложения на поверхность не выходят и развиты на субстрате 3-х разновидностей: 1) глинисто-щебнистый элювий на известняках E , 2) глинистый элювий на глинистых сланцах и глинистых конгломератах P , 3) песчаный элювий на песчаниках P . Они подстилают отложения четвертичного возраста и характеризуются повышенной льдистостью (в среднем 40-45 %).

Процесс разработки месторождения открытым способом сопровождается геомеханическими нарушениями земель, обусловленными: 1) удалением растительности и почвенного покрова на площадях выемки запасов; 2) выемкой торфов и алмазоносных песков из эксплуатационных разрезов; 3) складированием отвалов торфов на бортах разрезов; 4) устройством дорог и подъездов, площадок для ремонта и обслуживания техники.

Горнотехнический этап рекультивации включает: 1) выполаживание бортов разрезов и откосов отвалов; 2) отсыпку галечником илистых бортов разрезов, подлежащих затоплению для предотвращения размыва пород; 3) нанесение на спланированные поверхности почвенно-растительного слоя или слоя потенциально плодородных пород [2].

Горно-экологический мониторинг отработки россыпи в условиях криолитозоны Арктики как основные последовательные операции технологического процесса включает: 1) вскрышные и подготовительные работы; 2) добычные работы; 3) размещение вскрышных пород и отходов производства; 4) рекультивация нарушенных горными работами земель [1,2].

Ключевыми факторами, влияющими на социально-экономическое развитие Арктической зоны России, как отмечается в «Стратегии развития Арктической зоны Российской Федерации и обеспечения национальной безопасности на период до 2020 г.» являются: а) экстремальные природно-климатические условия, включая низкие температуры воздуха, сильные ветры и наличие ледяного покрова на акватории арктических морей; б) очаговый характер промышленно-хозяйственного освоения территорий и низкая плотность населения; в) удаленность от основных промышленных центров, высокая ресурсоемкость и зависимость хозяйственной деятельности и жизнеобеспечения населения от поставок из других регионов России топлива, продовольствия и товаров первой необходимости; г) низкая устойчивость экологи-

ческих систем, определяющих биологическое равновесие и климат Земли, их зависимость от незначительных антропогенных воздействий [1].

Освоение прогнозируемых скоплений углеводородного сырья в пределах Анабарской синеклизы и других структур севера Лено-Тунгусского бассейна, потребует комплексной оценки новых инженерно-геологических рисков для обеспечения оптимального мониторинга геологической среды, качественно отличающегося от сопровождающего сегодня россыпную алмазодобычу.

Литература

1. *Захаров С.А., Мустафин С.К.* Россыпи алмазов реки Молодо (бассейн Лены): геологические и инженерно-геологические аспекты разработки // Россыпи и месторождения кор выветривания: изучение, освоение и экология. Мат-лы XV международного совещания по геологии россыпей и месторождений кор выветривания. – Пермь: ПГНИУ, 2015. – С. 69-71.

2. *Захаров С.А., Мустафин С.К.* Строение и инженерно-геологические условия освоения россыпей алмазов Арктики (на примере бассейнов рек Анабар и Лена) // Сборник статей по материалам научно-практической конференции «Геология, геодинамика и геоэкология Кавказа». – Махачкала: ИГ ДНЦ РАН, 2016. – С. 52-56.

3. *Карнюшина Е.Е., Коробова Н.И., Фролов С.В.* и др. Седиментационный контроль нефтегеологических свойств вендско-кембрийских формаций севера Лено-Тунгусского бассейна // Георесурсы. – 2015. – № 2 (61). – С. 28-40.

ИДЕЯ ОПТИМИЗАЦИИ МОНИТОРИНГА ТРУБОПРОВОДНЫХ СИСТЕМ С ПОМОЩЬЮ «ЖИВОЙ» 3D-МОДЕЛИ

Д.Ю. Некрасов

МГУ им. М.В. Ломоносова, Географический факультет, кафедра криолитологии и гляциологии
119991 Москва, ГСП-1, Ленинские горы. E-mail: dumucn@gmail.com

В настоящее время происходит нарастание темпов строительства объектов нефтегазовой отрасли в зоне распространения вечномерзлых грунтов на Севере РФ. Освоение богатых природными ресурсами районов криолитозоны связано с обустройством новых месторождений, проектированием и строительством железных и шоссейных дорог, линий электропередач, газо- и нефтепроводов.

При хозяйственном освоении территории в соответствии с законами развития и взаимодействия природы и общества формируются природно-технические геосистемы, приходящие на смену природным геосистемам в результате сложных взаимосвязанных процессов. Природно-технические геосистемы – это коренным образом измененные человеком природные геосистемы. Видоизменения в природе, преобразования природных комплексов под

воздействием человека являются очевидным следствием использования природных ресурсов и непременным условием существования и развития человеческого общества [1].

Строительство и эксплуатация объектов нефтегазовой отрасли в криолитозоне зачастую порождают многочисленные проблемы, возникающие в связи с суровыми природными условиями, с наличием вечномёрзлых грунтов. Добычный комплекс газовых и нефтяных месторождений и трубопроводный транспорт как и любые другие природно-геотехнические системы оказывают постоянную техногенную нагрузку на ландшафты криолитозоны.

Таким образом, актуальность мониторинга климатических, геологических и инженерно-геокриологических условий природно-технических геосистем обусловлена хозяйственным освоением этих районов, возведением сооружений добычного комплекса и охраной окружающей среды. Ведь его цель – обеспечить надёжную безаварийную эксплуатацию инженерных объектов и защиту окружающей их природы на основе максимально возможного сохранения исходных мерзлотно-геологических условий [2].

В ходе геологической разведки территории, исследований, изысканий, мониторинга (во время строительства и эксплуатации) добывается много информации о различных составляющих природно-технических геосистем; однако, она впоследствии забывается, оседает в фондах и архивах, становится труднодоступной. Нижеприведенная идея призвана систематизировать информацию, визуализировать ее и сделать легкодоступной. Однако, для внедрения и реализации такого проекта понадобится разработка нового программного обеспечения и слаженная совместная работа команды из инженеров и программистов.

Для оптимизации доступа к данным, полученным в ходе всевозможных видов изысканий и обследований, предлагается создать единую базу данных, условно разделённую на техническую и природную составляющую. Так, в технической части будут представлены значения мониторинговых точек для инженерных сооружений – например, давление газа в трубопроводе или высота деформационной марки на свае; в природной части, в свою очередь будут храниться такие показатели как температура вечномёрзлых грунтов (на разных глубинах), коэффициенты сомкнутости растительного покрова, коэффициенты фильтрации грунтов, почвенные профили и т.п.

В то же время, по данным изысканий создаётся географически привязанная 3D-модель, на которой и будут размещаться и обновляться систематизированные данные. Особенность 3D-модели заключается в том, что каждая точка отображает свою характеристику в текущий момент (например, температуру вечномёрзлых грунтов на глубине 1 м в конкретной термометрической скважине), однако, эта же точка содержит в себе «историю значений», которые и хранятся в связанной с моделью базе данных. Таким образом, каждая мониторинговая точка модели (температура грунта, положение деформационной марки, давление газа в трубопроводе и т.п.) изменчива в пространстве и во времени.

Структура 3D-модели – базовые слои

Слой	Особенности	Источник данных
Метеорологический	Верхний слой модели. Отображение климатических и погодных условий по всей длине трубопровода.	Ближайшие государственные метеостанции, данные с локальные метеостанции на компрессорных и нефтеперекачивающих станциях и т.п.
Растительный	Надземный слой. Данные по растительному покрову, его зональной изменчивости, протекторной роли растительности.	Геоботанические и геоэкологические изыскания, исследования и мониторинг.
Рельеф	Центральный слой модели. Цифровая модель рельефа – привязка мониторинговых точек по географическим координатам и Балтийской системе высот	Инженерно-геодезические изыскания, геотехнический мониторинг.
Почвенный	Подземный слой. Данные по почвенному покрову, его основным характеристикам.	Геоэкологические, почвенные и геоморфологические исследования и изыскания. Мониторинговые наблюдения.
Геологический	Подземный слой. Верхняя часть разреза – наиболее детальная, инженерно-геологические элементы (ИГЭ) разреза содержат в себе данные об инженерных характеристиках грунтов. Нижняя часть – общая информация.	Инженерно-геологические изыскания, почвенные исследования – верхний слой. Геологоразведочные скважины, данные фондов и архивов – нижний слой.
Гидрология	Комбинированный слой. Информация обо всех водных объектах (наземных и подземных) в пределах разрабатываемого месторождения и трассы трубопровода	Инженерно-гидрологические, гидрогеологические, инженерно-геологические изыскания.
Инженерный	Техногенный слой. Содержит в себе модели и данные о всех зданиях и сооружениях добычного комплекса. Материалы, из которых они построены или изготовлены, их основные характеристики. Датчики контроля за безопасностью функционирования техногенной системы.	Мониторинг технического состояния зданий и сооружений, геотехнический мониторинг, результаты внутритрубных дефектоскопных обследований и т.п.

Типы данных будут разделены на два кластера – данные из первого кластера будут обновляться автоматически (в «онлайн» режиме), из второго – полуавтоматически (после получения актуализированных в ходе исследований/изысканий/мониторинга данных). Таким образом, обратная связь с мониторинговыми точками оборудованными дистанционными способами передачи данных позволит «оживить» 3D-модель (данные из первого кластера). При установлении предельно-допустимых значений для мониторинговых точек в программной составляющей модели станет возможна её интеграция с системой безопасности, что позволит оперативно выявлять изменения в природно-технических геосистемах и своевременно на них реагировать. Так, например, за счет своевременного обнаружения на ранней стадии негативного изменения напряженно-деформированного состояния конструкций и грунтов оснований с помощью передачи информации с датчиков на модель и последующего оперативного применения превентивных мер возможно обеспечение безопасного функционирования зданий и сооружений добычного комплекса.

Стоит также отметить, что 3D-модель не обязана в точности соответствовать реальности (до каждой гайки или травинки) – её основная задача – привязка мониторинговых точек к объектам, на которых они расположены, а объекты к местности. Так, например, если мониторинговой точкой является деформационная марка на свае-опоре на надземном участке трубопровода, то и в модели, соответственно должна быть изображена свая-опора, привязанная к конкретным географическим координатам и высоте.

3D-модель должна иметь многослойную структуру (см. табл. 1); при этом просмотр должен быть организован таким образом, что слои можно подгружать как вместе (для целостности картины), так и по отдельности (для более детального изучения одного из слоёв).

В табл. 1 представлен набор базовых слоёв, добавление новых слоёв и использование модели для анализа представляется следующим образом: основная модель и данные хранятся на удалённом сервере (или серверах), а при открытии программы на личном компьютере создаётся виртуальная копия модели, в которую пользователь уже может вносить изменения, добавлять персональные слои. Так, например, основываясь на геоморфологическом, геокриологическом и геологическом строении отдельных участков, можно построить слой «опасности активизации криогенных процессов» и наложить на существующий рельеф. После тщательной проверки некоторые пользовательские слои могут стать частью общей базы данных модели.

Также для использования модели разными кругами лиц необходимо настроить степени допуска, уровни секретности данных. Таким образом, можно будет контролировать доступ к различной информации.

Создание «живой» 3D-модели может быть осуществлено в несколько этапов (табл. 2).

Таблица 2

Этапы создания «живой» 3D-модели

Этап	Основные действия
1	Создание комплексной базы данных. Систематизация данных, оптимизация доступа к информации.
2	Создание 3D-модели по собранным данным, настройка изменчивости мониторинговых точек в пространстве и времени. Организация слоёв модели, формирование системы допусков к информации..
3	Вывод модели в «живой» режим. Установление обратной связи с датчиками на местности, настройка «автоматического» и «полуавтоматического» режима обновления базы данных.
4	Установление предельных значений для мониторинговых точек (датчиков). Интеграция 3D-модели с системой безопасности.
5	Эксплуатация 3D-модели, её техническое обслуживание и усовершенствование.

Однако, реализация подобного масштабного проекта возможна лишь на государственном уровне или на уровне крупных газо-/нефтедобывающих или транспортирующих корпораций, причем, при их содействии друг с другом. Воплощение идеи в жизнь позволит создать уникальную комплексную базу данных об инженерных и естественных особенностях природно-технических геосистем.

Создание подобной модели откроет дорогу многим междисциплинарным исследованиям, позволит выявить новые закономерности функционирования и развития природно-технических систем, выведет естественнонаучные исследования на новый уровень.

Литература

1. Мазур И.И. Курс инженерной экологии. – М.: Высшая школа, 2001.
2. Оспенников Е.Н. Геокриологический мониторинг // Основы геокриологии». Ч. 6. Геокриологический прогноз и экологические проблемы в криолитозоне / Под. ред. Э.Д. Ершова. – М.: Изд-во МГУ, 2008. – С. 657-742.

ЭКЗОГЕННО-КРИОГЕННЫЕ ОПАСНОСТИ ПРИ РАЗРАБОТКЕ НЕФТЕГАЗОВЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ КРИОЛИТОЗОНЫ

А.А. Огуречников

Российский государственный геологоразведочный университет им. Серго Орджоникидзе
МГРИ-РГГРУ, 117997, Москва, ул. Миклухо-Маклая, д.23.
E-mail: ogurechnikov.alexander@yandex.ru

Преобладающая часть месторождений нефти и газа России находится на территории распространения вечной мерзлоты – криолитозоны, площадь которой составляет более 65% площади всей страны.

Индустриальное освоение криолитозоны с середины XX в. создало ряд экологических проблем, которые усугубляются спецификой природы: дефицитом тепла, слабой способностью к самоочищению, низкой самовосстанавливаемостью растительности, а также дополняются крайней неустойчивостью льдистых мерзлых пород и высокой динамичностью криогенного рельефа.

Устойчивость криогенных ландшафтов к техногенным воздействиям резко ограничена дефицитом тепла и наличием льда в многолетнемерзлых породах. Именно лед, а точнее его таяние или, напротив, образование при промерзании талых пород является причиной развития самых разнообразных деструктивных криогенных процессов и появления новых форм рельефа. Основными критериями устойчивости ландшафтов в криолитозоне являются температура и льдистость мерзлых пород. Именно эти параметры определяют характер большинства составляющих ландшафта: растительности, мощности деятельного слоя, проявления криогенных процессов.

Таким образом, можно считать, что устойчивость геологической среды к техногенным воздействиям сопоставима с ее устойчивостью к экзогенным геологическим процессам. Чем выше потенциальная возможность возникновения таких явлений, тем ниже устойчивость геологической среды к техногенным нагрузкам. Поэтому при оценке устойчивости геологической среды в районах развития многолетнемерзлых пород в качестве показателей устойчивости можно использовать степень распространенности криогенных геологических процессов, в первую очередь таких, как термокарстовые и термоэрозионные [1].

Помимо реакции природных геосистем на техногенные нагрузки, следует учитывать агрессию природной среды по отношению к инженерным или иным искусственным объектам. В криолитозоне игнорировать это обстоятельство невозможно, так как нарушение геосистем при любых вторжениях человека в природу сопровождается деструктивными криогенными процессами, приводящими к авариям инженерных систем.

Следовательно, создается двойная экологическая опасность: сначала на этапах освоения нарушаются геосистемы, затем из-за осадок при протаива-

нии или выпучивании, быстрых солифлюкционных подвижек или наледообразования, термоэрозионных размывов или морозобойного растрескивания происходят аварии [4].

В нефтегазоносных районах экологическое значение имеют как естественные, так и техногенные геокриологические процессы.

В полярных и субполярных областях на аккумулятивных уровнях речных долин и их дельт, на месте современных спущенных озер ведущим процессом на болотах и торфяниках является криогенное растрескивание грунтов, сопровождаемое формированием повторно-жильных льдов, полигонального рисунка ландшафта. К краевым и тыловым частям и осушенным озерным котловинам приурочены крупные бугры пучения – булгунихи.

Среди склоновых процессов в криолитозоне наиболее характерны солифлюкция и оползни – сплывы (быстрая солифлюкция). При медленной солифлюкции на склонах образуются терраски и языки длиной 0,5 – 2 м. Мощности солифлюкционных отложений при этом незначительна – до 2 м. Склоны холмов и гряд, пораженные процессом быстрой солифлюкции, имеют выпукло-вогнутый профиль. Сплывные участки зоны оттока отложений приурочены большей частью к верхним частям склонов и имеют форму полуцирков, окруженных уступом высотой 0,3 – 0,5 м. Диаметр сплывных цирков – от 30 до 100 м и более.

На подмываемых берегах морей, озер и рек наряду с термоабразией и боковой термоэрозией развита и линейная термоэрозия, в результате которой образуются овраги, особенно многочисленные на низких геоморфологических уровнях с повторно-жильными льдами и наиболее значительные по ложбинам стока.

Существуют участки интенсивно протекающих геокриологических процессов, развитие которых может вызвать заметные осложнения при освоении территории и представлять угрозу возводимым сооружениям. К таким процессам в первую очередь относятся речная и овражная термоэрозия, морская абразия и быстрый сплыв [3].

Геокриологические процессы, спровоцированные освоением территории, отличается от природных ряд характерных признаков, таких как большая интенсивность, быстрое протекание по времени, часто противоположное направлению естественного развития рельефа. Криолитозона более беззащитна перед техногенным морфогенезом, чем другие регионы, т.к. естественные криогенные формы рельефа не восстанавливаются, а вновь развивающиеся криогенные процессы плохо закрепляются инженерными или природоохранными мероприятиями.

К экологически опасным относятся такие процессы летнего периода, как термокарст, термоэрозия, термоабразия, солифлюкция, а зимой – пучение, наледообразование, морозобойное растрескивание.

Среди всех типов процессов, наиболее часто встречающихся при техногенном нарушении поверхности на буровых площадках и прилегающих к ним территорий, является термокарст и часто сопутствующее ему заболачивание. Среди проявлений термокарста наиболее развит термокарст по

повторно-жильным льдам, по сильнольдистым многолетнемерзлым грунтам, плоскозападинный термокарст и активно развивающийся термокарст образованием озер. Термокарст на склоновых поверхностях и в малых реках часто проявляется совместно с термоэрозией. Эрозионно-термокарстовые процессы развиваются по повторно-жильным льдам. Заболачивание на буровых площадках часто сопутствует термокарсту. Среди заболачивания выделяется заболачивание в поймах, на склонах и на водораздельных пространствах.

Термокарст опасен из-за почти повсеместного распространения и осадок при протаивании. Скорость его развития в естественных условиях 10 – 30 см/год, при техногенезе – до 1 м/год. Продолжительность термокарста различна – от года до первых десятилетий. Термокарстом может быть поражено до 75% нарушенного ландшафта. Максимальная опасность его развития отмечается на стадии эксплуатации сооружений. Вместе с тем после завершения изысканий и строительства термокарст может относительно быстро затухать вследствие зарастания, спуска воды или выработки льда. Инженерные решения для предотвращения термокарста эффективны. Осадки при оттаивании можно минимизировать охлаждающими устройствами, организацией проветриваемых подполий, снегоуборкой, затенением.

Термоэрозия – один из самых быстрых процессов, который в техногенном варианте создает протяженные, глубокие и широкие промоины, а в долговременном варианте – густую овражную сеть. Максимальная глубина оврагов – первые десятки метров, скорости линейной и боковой эрозии составляют 1 – 10 м/год. Большое количество современных эрозионных форм и термоэрозионных образований отмечено по колеям, которые образовались в результате проездов техники на первом этапе освоения месторождений. Процессы эрозии и термоэрозии в промоинах и оврагах периодически активизируются до настоящего времени. В результате аккумуляции смываемых грунтов с отсыпанных площадок образуются конусы выноса, занимающие сотни квадратных метров. Противоэрозионными мероприятиями являются: засыпка вершин оврагов, дамбы-запруды в тальвеге, укрепление склонов дерниной, рассредоточение поверхностного стока.

Термоабразия из-за большой скорости развития процесса представляет высокую степень экологической опасности. Она разрушает морские, озерные берега, а также берега водохранилищ. В естественных условиях термоабразия морских берегов превышает 10 м/год, озерных, в зависимости от их размеров, от 1 до 5 м/год. Процесс локализован береговой линией. Он сочетается в термоэрозией, оплыванием, оползанием, обваливанием береговых обрывов.

Техногенно обусловленная солифлюкция быстрая – до 10 м/сут, может иметь катастрофические последствия, нередко переходит в сплывы, а на очень крутых склонах, сложенных льдистыми породами, сменяется микроселеями. Солифлюкция значительно изменяет облик ландшафта, протяженность сплывов может достигать 100 – 900 м, ширины 40 – 100 м, а мощность солифлюкционно-оплывинного материала 0,5 – 2 м. На пологих склонах солифлюкционные отложения быстро зарастают. Для солифлюкции характерна цикличность, связанная с увеличением глубины протаивания, особенно если

она достигает промежуточного льдистого горизонта. При освоении территорий очень важно учитывать то обстоятельство, что удаление растительности неизбежно приводит к увеличению протаивания. Надежные методы борьбы с солифлюкцией ограничены, трудоемки, малоэффективны и заключаются в выполаживании склонов, изменении состава и влажности грунтов, уменьшении глубины протаивания. Главная экологическая опасность определяется большими скоростями и отсутствием эффективной инженерной защиты [4].

Криогенное пучение происходит не только в криолитозоне, но и за ее пределами, где зимой идет сезонное промерзание. Именно его почти повсеместное развитие на равнинах, в долинах, на пологих горных склонах определяет экологическую опасность. Самый наглядный пример – выпучивание опор трубопроводов и самих труб, пучение дорожного полотна. Скорость процесса различна, она может быть от менее 5 см/год до 10 – 50 см/год. Пучение – один из самых незатухающих процессов. Инженерные мероприятия реализуются главным образом на трубопроводах: пригрузка, заанкеривание труб, но и они недостаточно эффективны. Именно это обстоятельство в сочетании с широким распространением делает пучение одним из самых опасных процессов. Техногенные бугры пучения возникают редко, а естественные бугры опасны из-за термокарста на их льдистом ядре.

Техногенные наледы чаще всего образуются на юге в основном по трассам линейных сооружений. Источником воды, как правило, является верховодка из-за изменения гидрологического режима. Площадь техногенных наледей достигает нескольких сотен м². Инженерные мероприятия по борьбе с наледями многообразны и направлены на блокирование водного питания и борьбу с высотой наледи.

Морозобойное растрескивание, связанное с антропогенным воздействием, по степени экологической опасности уступает всем перечисленным выше процессам. Наибольшую опасность растрескивание представляет для дорожных покрытий и коммуникаций [4].

Криогенные процессы являются индикаторами напряженности геологических ситуаций. Острая экологическая ситуация складывается в местах нефте- и газодобычи на Европейском Севере России и в Западной Сибири.

Освоение нефтегазоносных месторождений на Европейском Севере уже на первом изыскательском этапе сопровождается нарушением естественных условий на 10% потенциальной площади освоения. Строительство и эксплуатация на территориях месторождений приводит к полному уничтожению естественных геоконструкций. Протаивание вокруг шахтных стволов приводит не просто к термокарстовым просадкам, но к авариям и необходимости полной разборки сооружений [2].

Оценка площадей нарушений на осваиваемых территориях при разведке и эксплуатации газовых, газоконденсатных и нефтяных месторождений Западной Сибири дает следующие цифры: 5-10% площади освоения находятся под постоянным воздействием промышленных трубопроводов, промплощадок, поселков; 75% площади освоения подвергается нагрузкам в течение одного-двух лет, когда действуют временные дороги, идет разведочное бурение

ние, на больших территориях наблюдаются разовые проезды транспорта. При освоении растительный покров нарушается на 60% площади, а уничтожается полностью на 15%. Площадь нарушений природных условий, как правило, значительно превышает размеры самих техногенных объектов. Площадь влияния карьеров в 3-12 раз больше их самих. Зона влияния трасс линейных сооружений в торфяниках достигает 150-250 м. На Ямале интенсивное строительство с проведением земляных работ, приводит к образованию криогенных бедлендов. Они представляют собой крутосклонные, лишенные растительности останцы мерзлых пород, чередующиеся с глубокими просадками и промоинами. Сами породы находятся в текучем состоянии, оплывают, создают выносы, в которых вязнет не только человек, но и техника. На территории Салехарда, в пос. Салемал, Тазовский, Солёный (бассейн р. Мессояха) в течение трех лет скорость образования оврагов из-за термоэрозии достигала 130 м/год и лишь в последующие годы уменьшалась до 5-25 м/год. Скорость термокарстовых просадок даже при отсутствии большого количества льда достигает 15-20 см/год и составляет 1 м в первые 5 лет. Пучение и криогенное выпучивание стимулируется увеличением летнего протаивания пород при удалении растительного покрова. Выпучивание опор линий электропередач со скоростью 2-10 см/год приводит к тому, что через 5-10 лет они выходят из строя. Уничтожение растительности на песчаных грунтах и невозможность ее восстановления из-за жесткости мерзлотных условий и недостатка влаги приводит к опустыниванию территории. В окрестностях Надыма, Уренгоя уже сейчас наблюдаются пыльные бури, образуются дюны высотой до 3 м.

Дальнейшая эксплуатация месторождений газа, газоконденсата и нефти в Западной Сибири может привести к региональной перестройке ландшафтной структуры и изменению экологической ситуации. На месте современных достаточно разнообразных природных условий в тундре, лесотундре и северной тайге могут появиться территории с господством мерзлотно-болотно-пустынных комплексов, где получают широкое распространение песчаные и термокарстово-эрозионно-солифлюкционные бедленды [2].

Литература

1. Губайдуллин М.Г., Калашиников А.В., Макаровский Н.А. Оценка и прогнозирование экологического состояния геологической среды при освоении севера Тимано-Печорской нефтегазоносной провинции. – Архангельск: АГТУ, 2008.
2. Маслов А.Д., Осадчая Г.Г., Тумель Н.В., Шполянская Н.А. Основы геоэкологии. – Ухта: ИУИБ, 2005.
3. Мельников Е.С., Гречищев С.Е. Вечная мерзлота и освоение нефтегазоносных районов. – М.: ГЕОС, 2002.
4. Тумель Н.В., Зотова Л.И. Геоэкология криолитозоны. – М.: МГУ, 2014.

ОСОБЕННОСТИ ОЦЕНКИ ПРИРОДНОЙ ОПАСНОСТИ И РИСКОВ ДЛЯ РАЗМЕЩЕНИЯ ГОРНОПРОМЫШЛЕННЫХ КОМПЛЕКСОВ В УСЛОВИЯХ ВОСТОКА РОССИИ

Т.И. Подгорная

Тихоокеанский государственный университет, 680035, Хабаровск, ул. Тихоокеанская, 136.
E-mail: tat-podg@yandex.ru

Восточные регионы России в современных экономических условиях являются наиболее значимыми для разработки месторождений ценных полезных ископаемых и строительства горнодобывающих и горноперерабатывающих предприятий. Специфические и весьма разнообразные природно-климатические условия региона, изменчивость состояния геологической среды создают значительные проблемы при их изучении с целью размещения и проектирования горнопромышленных комплексов. Существенное внимание уделяется оценке и прогнозу опасности и риска природно-техногенных процессов.

Наиболее сложными для освоения являются северные труднодоступные районы Хабаровского края, Амурской области и Еврейской Автономной области в зоне распространения многолетней мерзлоты, для которых характерна высокая сейсмическая опасность и значительная пораженность экзогенными геологическими процессами. Для определения подходящего места размещения горноперерабатывающих или горно-обогатительных предприятий требовалась дифференциация территорий по степени сложности для строительства на основе инженерно-геологического районирования.

Комплексная оценка состояния геологической среды для строительства многих объектов производилась в 2000-е годы с выполнением крупномасштабного инженерно-геологического районирования. К ним относятся промплощадки золото-извлекательных фабрик (ЗИФ), хвостохранилища, инфраструктура, транспортные системы горно-обогатительных комплексов по добыче и переработке руд на месторождениях Авляяканское, Хаканджинское, Озерное, Албазинское, где инженерно-геологические исследования выполнялись специалистами ОАО «ДальГИСИЗ» с участием автора [1]. Аналогичный подход использовался на площадках угольной обогатительной фабрики ОАО «Ургалуголь» и на промплощадке ГОКа «Дальграфит». В основу выделения инженерно-геологических районов на площадках строительства горноперерабатывающих комплексов были положены выявленные особенности геоморфологических, геологических и криогенных условий, специфика развития геологических процессов. На каждой территории производилось картирование инженерно-геологических условий в масштабе 1:10000 – 1:2000. Полученная на основе результатов инженерно-геологических изысканий конкретная информация позволила выявить геоэкологические проблемы, обусловленные наличием опасных геологических процессов в зоне распростра-

нения прерывистой и островной многолетней мерзлоты и за ее пределами. И, главное, были рекомендованы наиболее подходящие приемы освоения территорий, важные защитные мероприятия для обеспечения безопасности строительства и длительной эксплуатации специфических объектов.

Особенности состояния геологической среды и комплекс опасных для строительства геологических процессов в зоне прерывистой многолетней мерзлоты могут быть показаны (табл. 1) на примере ряда горнодобывающих и перерабатывающих предприятий (рудники «Авляякан», «Хаканджнский», «Озерный»), расположенных в северных районах Хабаровского края

Таблица 1

Специфика геологической среды горнодобывающих предприятий в зоне прерывистой многолетней мерзлоты

Рудники Авляякан, Хаканджнский, Озерный Климатический район ID (СП 131.13330.2012)			
Рельеф и гидросеть	Инженерно- геологический комплекс	Подземные воды	Геологические процессы
<i>Водно-ледниковый и аккумулятив- ный рельеф</i> Слабонаклонная поверхность надпойменных террас: р. Авляякан (абс. отметки 450-480 м) р. Хаканджа (абс. отметки 315 – 335 м) р. Маньканджа (абс. отметки 450-550 м)	Биогенные, водно-ледниковые, аллю- виальные, пролювиальные отложения (bQ ₄ , f-glQ ₃ , aQ ₄ , pQ ₄) Многолетнемерзлые торф, глина, суглинок, супесь с включ. гравия до 40 % пластичномерзлые силь- нольдистые и льдистые Гравийные и галечниковые грунты с песчаным и су- песчаным заполнителем твердомерзлые льдистые и слабльдистые	Надмерзлотные воды слоя сезонного оттаивания (ССО) на глуб. от 0,5 до 3 м Подземные воды грунтово-фильтра- ционных таликов на глуб. 0,2 – 5,0 м	Температура на глубине 10 м от минус 0,2-0,7°С до минус 1,5°С) Нормативная глубина сезонного оттаивания (D _{th}) от 0,9 м до 3 м несквозные талики глу- биной более 5 м в доли- нах рек Заболачивание, болота мелкие 1 типа, солифлюкция, термоэро- зия, термпросадки речная эрозия, морозное пучение Сейсмичность 7-8 б.
<i>Денудационно- тектонический рельеф: склоны гор</i> хр. Джугджур (абс. отметки 910 –930 м) хр. Анмай, хр.Сунтар-Хаята (абс. отметки 260-310 м) Юдомского хр. (абс. отметки 550-700 м)	Делювиально-элювиальные образования (dQ, eK ₂): глина, суглинок, супесь с включ. дресвы и щебня 10- 30 %, щебенистый и дресвяный грунты с суглинистым и супесчаным заполнителем 30-45 % – твердомерзлые слабльдистые Скальные магматические породы (K ₂): андезиты, K ₂ : игнимбриты, андезиты мерзлые	Надмерзлотные воды слоя сезонного оттаивания у по- дошвы склонов и в ложбинах стока на глубине 0,3-3,5 м	Температура минус 0,8 –1,5 °С Нормативная глубина сезонного оттаивания (D _{th,n}) 1,2 -4,4 м Заболачивание, болота, морозное пуче- ние, термоэрозия, солифлюкция Техногенный литогенез Струйчатая эрозия, осыпи в откосах карьеров и отвалов

В южных районах Хабаровского края в зоне островной многолетней мерзлоты в сфере взаимодействия проектируемых сооружений с геологической средой на площадках строительства одновременно могут оказаться мерзлые и талые (немерзлые) грунты. Высокотемпературная «вялая» мерзлота грозит существенными проблемами в связи с развитием термоэрозии и термопросадок при дальнейшей ее деградации в период эксплуатации сооружений. На участках немерзлых грунтов немалые сложности вызывают овражная и речная эрозия, болота, оползни и осыпи.

Особенности сочетания различных видов геологических процессов изучались на объектах нового строительства на территории угольного месторождения «Ургальское». Площадка горно-обогатительной фабрики расположена на поверхности надпойменной террасы р. Ургал и ручья Бол. Сатанки вблизи глубокого отработанного карьера. В период изыскательских работ 2007 г. на площадке было установлено сложное геолого-литологическое строение. В интервале глубин 0 – 40 м распространены слои различных по генезису многолетнемерзлых и сезонноталых отложений четвертичного возраста (bQ_4 , aQ_4). Торф, суглинки и супеси твердомерзлые и пластичномерзлые и слабобльдистые и льдистые, сменяются песками, галечниковыми и гравийными грунтами твердомерзлыми слабобльдистыми и льдистыми. На глубинах от 5,3 м до 13,9 м выявлены угленосные осадочные породы (K_1) – пласты наклонно залегающих песчаников, аргиллитов, алевролитов, каменного угля, которые также находились в мерзлом состоянии. Максимальная мощность островной мерзлоты в естественных условиях составила 13,2 м, минимальная – 1,2 м. Вблизи площадки строительства при разработке карьера сформировался отвал вскрышных пород, где насыпные грунты мощностью до 35 м имели неоднородный состав, обломочный материал залегал хаотично, с большими пустотами. На площадке проектируемой фабрики были установлены крупномасштабные изменения геологической среды, которые проявлялись в деградации многолетней мерзлоты, изменении состава грунтов, режима подземных вод. Так, в природных условиях (1987 г.) температура грунтов на глубине нулевых амплитуд 10 м на исследуемой территории составляла минус 1,5-2,0° С, через 20 лет (2007 г.) температура повысилась до минус 0,3° С. Неблагоприятными факторами для строительства обогатительной фабрики явились сейсмичность 8 баллов, прогнозируемая дальнейшая деградация мерзлоты с переходом грунтов на глубине заложения фундаментов в пластичное или водонасыщенное состояние. Вследствие деградации неизбежно являются термопросадки, термоэрозия, заболачивание, морозное пучение. По совокупности природных и техногенных условий площадка отнесена к 3 категории сложности (сложная) для строительства, что потребовало применение специальных типов фундаментов и приемов инженерной защиты.

Аналогичные по сложности условия характеризуют месторождение «Пионер» в Амурской области, где препятствием для разработки рудной зоны явилось наличие островной мерзлоты на одном из двух, близко расположенных карьеров. Мерзлая толща при температуре грунтов минус 0,8 – минус

1°С отличалась неравномерной мощностью от 6,5 м до 46,5 м. Локально развитые подземные воды препятствовали разработке карьера. На разных участках в бортах карьера из немерзлых глинистых грунтов в интервале глубин 1,3-3,5 м происходила разгрузка верховодки, на глубине 14-15 м отмечались выходы межмерзлотных вод, а на дне карьера из магматических пород рудных зон фонтанировали воды трещинного типа. В теплый период года откосы карьеров в талых грунтах разрушались на участках проявления осыпей, оползней и струйчатой эрозии. В многолетнемерзлых, но уже оттаивающих грунтах активизировалась термоэрозия, термопросадки, солифлюкция. В зимний период глинистые грунты в бортах карьера подвергались морозному пучению, а в местах разгрузки подземных вод формировались наледи.

Нельзя не отметить специфику геологической среды на площадках складирования отходов рудопереработки – хвостохранилищах, имеющих на территории горно-обогатительных комбинатов. Обычно, местом для хвостохранилищ выбираются долины ручьев или небольших рек, которые перекрываются серией дамб. Реже используются склоны гор, где чаша хвостохранилища оконтуривается ограждающей дамбой. Существенные проблемы возникают не только на этапе размещения и строительства хвостохранилищ, но и на этапе их эксплуатации, когда, например, при увеличении объемов «хвостов» производится наращивание высоты дамб. Для обеспечения устойчивости дамб важное значение имеет литологический состав и прочностные свойства грунтов, слагающих борта и днище долин. Нередко геологическое строение и состав грунтов на бортах долины разный. Сочетание глинистых и крупнообломочных грунтов на одном склоне или крупнообломочных и скальных на противоположном склоне обуславливает формирование различных геологических процессов при строительстве сбросных каналов, пульпопроводов, дорог. При подрезках склонов прогнозируются эрозионные процессы и природно-техногенные оползни и осыпи. Значительные сложности представляет наличие островной мерзлоты или слабых сильносжимаемых грунтов в сфере взаимодействия дамб с геологической средой на дне долин, в пойме и русле ручьев. Торф, либо пластичные глинистые грунты, водонасыщенные пески в сейсмических районах могут способствовать деформациям тела дамбы или усиливать сейсмическую опасность.

На этапе консервации хвостохранилищ все чаще появляется возможность использования техногенных намывных и насыпных грунтов. Вторичная переработка «хвостов» на новом уровне позволяет более полно извлекать рудные компоненты. К примеру, содержимое хвостохранилища комбината «Хинганолово» в ЕАО изучалось в 2016 г. с различными целями. По литологическому составу техногенные намывные грунты хвостохранилища представлены суглинками, супесью, песками различной крупности (мощностью более 10 м), которые являются исходным сырьем для извлечения рудных минералов из тонкодисперсного материала. Намывные грунты их состав и физико-механические свойства рассматривались также в качестве оснований фундаментов проектируемых производственных сооружений и в качестве строительного материала для дорожных насыпей или планировочных работ.

Проблемы при переработке «хвостов» (забалансовых руд) могут быть вызваны техногенными подземными водами, которые циркулируют в насыпных грунтах на глубине 3,8-5,3 м и в намывных грунтах в интервале глубин 9,2-9,5 м. На территории изученного хвостохранилища в существующих природно-техногенных условиях активно развивается комплекс неблагоприятных геологических процессов – струйчатая эрозия, подтопление, суффозия, морозное пучение грунтов. Кроме того, сейсмичность в районе объекта составляет 8 баллов. Указанные геологические процессы и наличие толщи специфических грунтов еще более осложняют строительство и эксплуатацию необычного промышленного объекта и переработку законсервированных рудных запасов комбината «Хинганолово».

Как следует из изложенного, очевидна наивысшая степень сложности природной среды для разработки рудных месторождений на востоке России, для строительства и эксплуатации горнодобывающих, горно-обогачительных и золотоизвлекательных фабрик, горно-перерабатывающих комплексов и всего разнообразия сопутствующих сооружений. Необходимость размещения производственных комплексов на перспективных месторождениях полезных ископаемых в сейсмоопасных местах, в зоне деградирующей многолетней мерзлоты с комплексом опасных геологических процессов неизбежно заставляет оценивать возможные риски. Предусматривать локальную или комплексную инженерную защиту сооружений от ОГП при проектировании и строительстве, а затем контролировать эффективность работы защитных сооружений при длительной эксплуатации объектов должны компетентные специалисты – геологи, экологи, строители. Немалые затраты на для предупреждения экономического и экологического рисков окупаются при гарантированно безаварийной работе уникальных предприятий.

Литература

1. *Подгорная Т.И.* Специфика оценки геологической опасности и риска для размещения промышленных комплексов и транспортных систем на Дальнем Востоке // Сергеевские чтения. Роль инженерной геологии и изысканий на предпроектных этапах строительного освоения территорий. Вып. 14. Материалы годичной сессии Научного совета РАН по проблемам геоэкологии, инженерной геологии и гидрогеологии (22 марта 2012). – М.: РУДН, 2012. – С. 308-314.

ТЕХНОГЕННЫЙ ПРЕССИНГ НА ЛЕДНИКИ В РАЙОНЕ ВЫСОКОГОРНОГО РУДНИКА КУМТОР

И.А. Торгоев

Научно-инженерный центр «ГЕОПРИБОР» НАН КР, 720017, Бишкек, ул. Медерова, д. 98.
E-mail: isakbektor@mail.ru

Золото-вольфрам-сульфидное месторождение Кумтор расположено в нивально-гляциальном поясе Центрального Тянь-Шаня, на высотах от 3900 до 4300 м (рис.1). Уникальный проект освоения крупных запасов (700 т) этого месторождения в сложных условиях высокогорья реализуется СП «Кумтор Голд Компани» (КГК), являющимся дочерним предприятием Канадской золотодобывающей компании «Центerra Голд Инк.» (ЦГИ). Строительные работы на руднике были начаты в 1993 г., а коммерческое производство золота – в 1997 г. Всего, с начала промышленного производства золота в мае 1997 г. по сентябрь 2016 г. произведено свыше 330 тонн золота.

По мере разработки Кумторского месторождения нарастают масштабы и виды техногенных воздействий на окружающую среду рассматриваемого района. Сложные природно-климатические условия высокогорья (наличие активных ледников, слабоустойчивых многолетнемёрзлых пород с подземными льдами, суровый климат с интенсивной солнечной радиацией), недостаточный объём и детальность геокриологических изысканий, ошибки при выборе мест размещения потенциально опасных в экологическом отношении объектов (отвалов, хвостового хозяйства), недостаточно обоснованные проектные решения основных сооружений рудника (Центрального карьера, дамбы хвостохранилища), большая глубина открытой разработки с непомерно большим коэффициентом вскрыши (1:34) породили целый ряд геотехнических, экологических проблем и гляциальных рисков, рассмотренных нами ранее [1-6].

Наиболее серьёзные и сложные геотехнические проблемы связаны с беспрецедентным крупномасштабным техногенным прессингом на окружающие ледники, который в сочетании с происходящим потеплением климата вызвал их усиленную деградацию и разрушение.

Всё многообразие техногенных воздействий на ледники в районе Кумтора можно подразделить на агрессивное, прямое и косвенное. В соответствии с предложенной классификацией разработку и удаление глетчерного льда («кастрацию ледника») следует считать, как «агрессивное» воздействие, разрушающее целостность ледников как природных образований. Складирование гигантских масс пустых пород непосредственно на ледниках можно классифицировать как прямое воздействие, а запыление и загрязнение ледников – как косвенное [6].

Разработка и удаление льда. В пределах концессионной площади рудника Кумтор расположено пять активных ледников: Петрова, Лысый, Да-

выдова, Сары-Тор и Борду (рис. 1). Помимо этих ледников лёд также присутствует в пределах ледяных полей и «вечной мерзлоты», которые покрывают обширные территории в пределах южной и северной частей концессионной площади. Подсчитано, что в совокупности лёд покрывает приблизительно 45% общей концессионной площади рудника Кумтор, которая составляет 260 км².

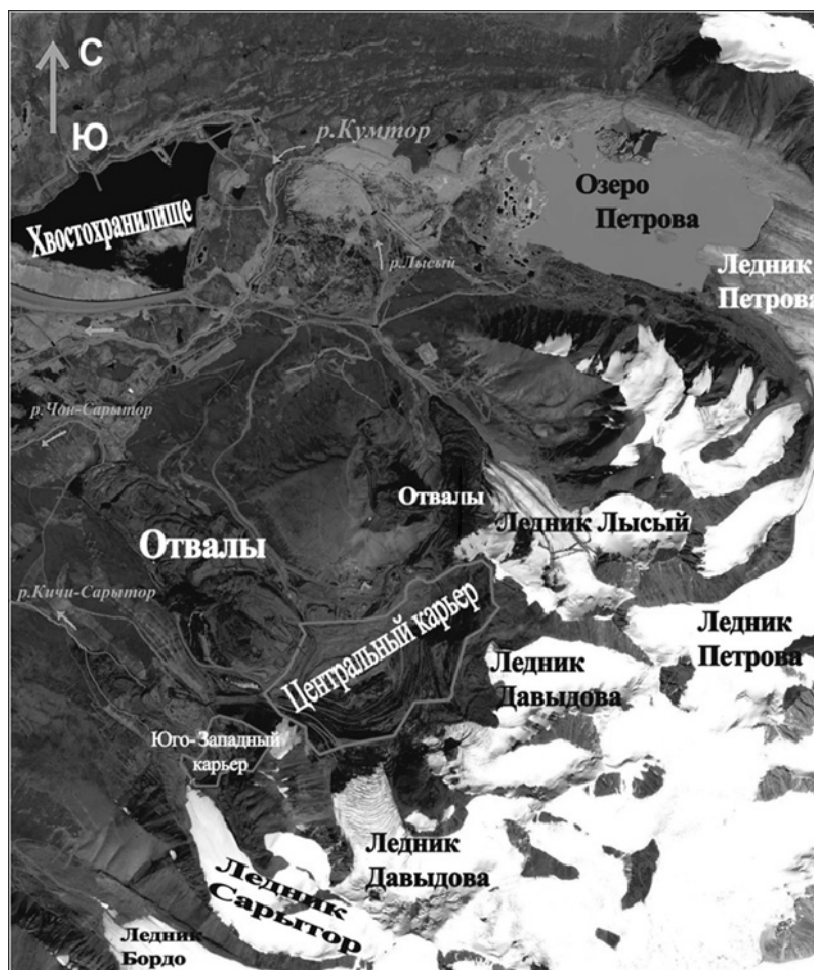


Рис. 1. Основные объекты рудника Кумтор и окружающие ледники массива Ак-Шыйрак

Рудное тело на рассматриваемом месторождении залегает под ледниками Лысый, Давыдова и Сары-Тор. Вскрышные работы на участке Центрального карьера (ЦК) начались в 1993 г. с удаления южной части ледника Лысый мощностью до 45 м, покрывавшей карьерное поле. Удаление льда осуществлялась с помощью экскавации. В настоящее время разработка тол-

щи льда до 170 м производится с помощью мощных гидравлических экскаваторов (объемом ковша до 23 м³) с формированием ледяных откосов высотой 10 м и бERM шириной 30 м для обеспечения двустороннего проезда большегрузных (180 т) самосвалов серии САТ 700, транспортирующих раздробленный лёд на отвалы.

Общий объём льда на леднике Давыдова до начала разработки месторождения оценивался в 720 млн м³, из которых по данным КГК в 1995-2014 гг. было изъято 120 млн м³ льда и ещё около 180 млн м³ льда осталось под отвалами. Следовательно, как минимум 300 млн м³ льда подверглось техногенному воздействию [4].

Формирование отвалов на ледниках Кумтора стало уникальным экспериментом в истории горного дела. Исторически ситуация с отвалообразованием складывалась так, что подавляющая часть пустых пород по сиюминутным экономическим соображениям была размещена в непосредственной близости от ЦК на леднике Давыдова (рис.1). Мощность льда на участке отвалов превышала 100 м. Общая масса горных пород, уложенных на отвалах в бассейне этого ледника за период 1995-2016 гг. составила 1,5 млрд т (рис. 1), а масса льда – свыше 100 млн т. Причём мощность каменно-ледовых отвалов достигла 150-200 м, что вызвало изменение гидротермического режима ледника, с последовавшим усилением таяния льда и увеличением водопритока в ЦК. По этой причине, начиная с 2008 г., КГК проводит дорогостоящую программу осушения ЦК [6].

По замыслу проектировщиков складирование пустых пород на леднике Давыдова осуществлялось для того, чтобы вытеснить ледник за границы проектного контура ЦК и одновременно создать своеобразную буферную зону безопасности между движущимся ледником и активной областью горных работ в контурах карьера. Однако достичь этих целей не удалось, что, во-первых, значительно усложнило добычные работы в ЦК. Во-вторых, чрезмерная загрузка ледника Давыдова отвальными породами вызвала ползучесть и ускоряющееся движение ледника в сторону ЦК, деформации его крутого юго-восточного борта.

В целях предотвращения обвала ледяных масс в ЦК в марте-апреле 2014 г. вдоль верхней кромки карьера была возведена упорная призма высотой до 90 м, перегородившая Южную ветвь ледника Давыдова (рис.2). В качестве материала упорной призмы использовались пустые породы, извлечённые из ЦК. Возведение упорной призмы (внутрикарьерного отвала) привело к уменьшению внешних границ борта ЦК и тем самым снизило объём вероятных запасов на 358 тыс. унций золота в руде.

Возведение упорной призмы на довольно пологой поверхности донной морены (рис.2) обеспечило снижение скорости смещения ледника от значения 20 мм/час (15 м/мес.) в период строительства упорной призмы до 10 мм/час (7 м/мес.) к концу 2014 г. В настоящее время скорость смещения ледника не превышает 7 мм/час и упорная призма пока сдерживает продвижение льда на участке Южной ветви, при условии, что ведётся постоянное удаление напoлзающего на упорную призму льда.

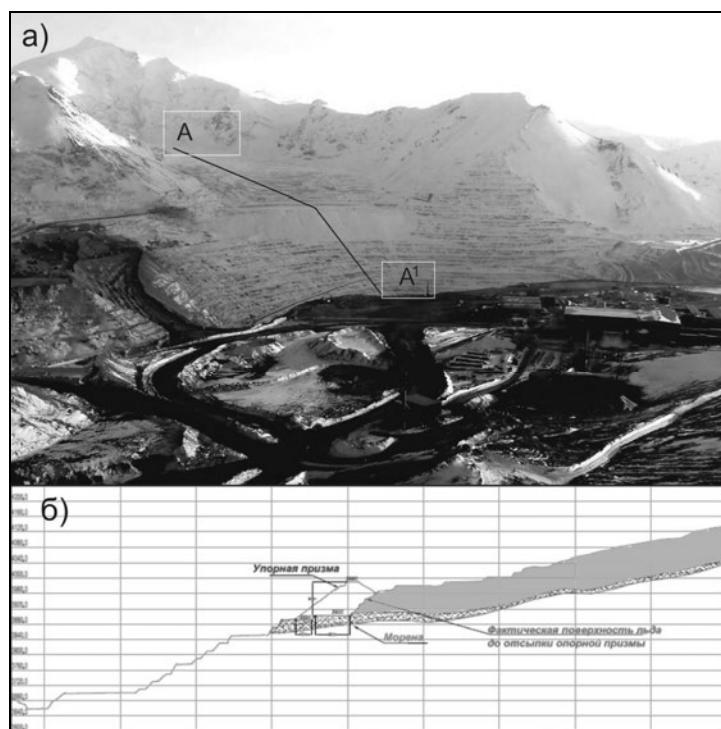


Рис. 2. Упорная призма на Южной ветви ледника Давыдова:
а – обзорный снимок Центрального карьера; *б* – разрез по профилю А-А¹

На руднике Кумтор с самого начала эксплуатации в 1995 г. осуществляется совместное складирование в отвалах пустых пород и глетчерного льда, удалённого при вскрыше и в пределах контуров карьеров.

В результате подобного складирования раздробленного льда вперемешку с щебнистыми отвальными породами грандиозные отвалы представляют собой неустойчивую каменно-ледовую массу, которая в 2012 г. начала смещаться вниз по руслу р. Чон-Сарытор (рис. 1). Из-за подвижки и продолжающегося непрерывного смещения каменно-ледовых отвалов, представляющих собой грандиозный техногенный оползень [4], уничтожены капитальные производственно-административные здания и объекты инфраструктуры на нижней площадке рудника. При этом только прямой экономический ущерб от ускоренного смещения отвалов в бассейне ледника Давыдова превысил 140 млн долл. США.

В экологическом отношении, продолжающееся непрерывное смещение ледово-каменной массы отвалов в бассейнах рек Чон-Сарытор, Лысый и Кичи-Сарытор в сторону русла р. Кумтор, представляет собой серьёзную угрозу систематического и долговременного загрязнения поверхностных вод и донных отложений стоками из-под движущихся отвалов при неизбежном таянии

раздробленного льда, уложенного вперемешку с отвальными породами, обладающими потенциалом кислотообразования [3].

Техногенное запыление ледников. Техногенная составляющая пылевого загрязнения ледников вблизи рудника Кумтор в основном связана с выбросами пыли при массовых ежедневных взрывах на карьерах. Взрывы на карьерах производятся, как правило, в середине дня, когда роза ветров направлена в сторону ледников Петрова, Лысый и Давыдова. По результатам специальных исследований было установлено, что запылённость поверхности указанных ледников сопоставима с естественной запылённостью оледенения данного района [6]. Загрязнённость ледников Тянь-Шаня пылью атмосферного происхождения варьирует в пределах от 200 до 500 г/м², т.е. весьма высока за счёт соседства с обширными пустынями Центральной Азии. Установлено, что при количестве пыли на поверхности ледника более 200 г/м² её альbedo снижается на 11-18% [6]. Следовательно, повышенная естественная пылевая загрязнённость ледников в районе рудника увеличивается за счёт кумулятивного многолетнего техногенного запыления, ускоряя таяние льда за счёт снижения альbedo. Очевидно, что при естественном и техногенном загрязнении ледников нарушается не только режим абляции, а также геохимический состав глетчерного льда и талых ледниковых вод.

Таким образом, мощное техногенное воздействие на близлежащие ледники в районе Кумторского рудника, продолжающееся более 20 лет, вызвало деградацию и разрушение ледников, сопровождающееся нарастанием риска опасных гляциологических, геокриологических и деструктивных геологических процессов [2-6]. Негативным экологическим последствием техногенного прессинга на ледники и криолитозону высокогорья стало нарастающее загрязнение поверхностных вод и донных отложений в бассейне р. Кумтор.

Литература

1. *Торгоев И.А., Алёшин Ю.Г.* Проблемы и уроки проектно-исследовательских работ в криолитозоне высокогорья // «Сергеевские чтения». Вып. 12. – М.: РУДН, 2010 – С. 291-296.
2. *Торгоев И.А., Алёшин Ю.Г., Айтматов И.Т.* Оценка рисков и прогноз развития гляциальных процессов на высокогорном руднике Кумтор (Кыргызстан) // Проблемы снижения природных опасностей и рисков: Материалы Международной научно-практической конференции «ГЕОРИСК – 2012»: В 2-х т. Т. 2. – М.: РУДН, 2012. – С. 9-14.
3. *Торгоев И.А., Алёшин Ю.Г.* Геотехнические проблемы и экологический риск на высокогорном руднике Кумтор // Анализ, прогноз и управление природными рисками в современном мире: Материалы 9-й Международной научно-практической конференции «ГЕОРИСК–2015»: В 2-х т. Т. 2. – Москва: РУДН, 2015. – С. 531-536.
4. *Torgoev I., Omorov B.* Mass movement in the waste dump of high-altitude Kumtor goldmine (Kyrgyzstan) // *Landslide Science for a safer Geoenvironment, Targeted Landslides*, vol. 3, 2014, edit by K. Sassa et al. Springer, London. – P. 517-522.
5. *Torgoev, I., and A. Torgoev* Rockslides in the open pit of Kumtor goldmine (Kyrgyzstan), in *Landslide Science for a Safer Geoenvironment, Targeted Landslides*, vol. 3, edited by K. Sassa, P. Canuti, and Y. Yin. Springer, London. – P. 511-516.
6. *Торгоев И.А.* Ледники, золото и геоэкология Кумтора. – Бишкек, 2016. – 197 с.

РТУТЬ В КОМПОНЕНТАХ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ МАЛО-ТАРЫНСКОГО РУДНОГО ПОЛЯ (ОЙМЯКОНСКИЙ РАЙОН, РЕСПУБЛИКА САХА)

Е.А. Филимоненко, Е.Г. Языков, Ю.А. Карпенко, С.А. Меховников

Национальный исследовательский Томский политехнический университет, 634050, Томск,
пр. Ленина, 30. E-mail: filimonenkoea@mail.ru

Мало-Тарынское золоторудное поле расположено в пределах Адыча-Оймяконского мелкогорья в Оймяконском районе Республики Саха (Якутия). Территория рудного поля располагается в бассейне р. Малый Тарын (правый приток р. Индигирка) в области развития многолетней мерзлоты и относится к тундрово-таёжной растительной зоне.

На территории Мало-Тарынского рудного поля в различные периоды с 1930-х до конца 1980-х годов велась добыча россыпного золота дражным методом. После завершения отработок россыпей рекультивация земель проведена не была. В результате на территории Мало-Тарынского рудного поля наблюдаются многочисленные признаки техногенного рельефа: нарушения речных долин, размещение сотен тон перемытых драгой горных пород в геле-эфельных отвалах, наличие десятков нерекультивированных технологических прудов-отстойников и свалок металлолома. Наблюдаемые последствия многолетней дражной отработки россыпей на территории Мало-Тарынского рудного поля являются типичными геоэкологическими проблемами золотороссыпных месторождений в Восточной Сибири и на Дальнем Востоке [4, 5, 12, 14, 15].

На сегодняшний день территория Мало-Тарынского рудного поля является перспективной для добычи коренного золота открытым способом. В связи с этим эколого-геохимическая оценка состояния компонентов окружающей среды на доэксплуатационной стадии открытых горных работ имеет особую актуальность. Цель данной работы состоит в оценке содержания ртути в компонентах окружающей среды на территории Мало-Тарынского рудного поля. В качестве объектов изучения рассматриваются почвенный покров; растительность – ягель (*Cladonia rangiferina*) и кора лиственницы даурской (*L. dahurica Turcz.*); отвалы горных пород, сформированные в результате дражной добычи россыпного золота.

Методика исследований. Отбор проб почв (криоземы и торфяно-криоземы), ягеля (*Cladonia rangiferina*), коры лиственницы даурской (*L. dahurica Turcz.*) и опробование отвалов проводилось на территории Мало-Тарынского рудного поля в июле-августе 2016 г. Всего было отобрано 28 проб почвы с горизонта 0-10 см, 19 проб почвы из 5 почвенных разрезов. Количество отобранных проб коры лиственницы даурской составило 22 образца, проб ягеля – 14. Пробы горных пород из гале-эфельных отвалов на

территории Мало-Тарынского рудного поля были отобраны «горстевым» способом [16], количество отобранных проб составило 5 образцов (рис. 1).

Высушивание всех отобранных образцов до воздушно-сухой массы проводилось на территории Мало-Тарынского рудного поля, дальнейшая подготовка проб к лабораторно-аналитическим испытаниям осуществлялась в Международном инновационном научно-образовательном центре (МИНОЦ) «Урановая геология» кафедры геоэкологии и геохимии ТПУ. Пробы почвы после ручного измельчения были подвержены истиранию на микровиброистирателе с целью гомогенизации материала образцов. Пробы коры лиственницы даурской и ягеля также были измельчены до состояния однородного материала. Пробы горных пород из отвалов были размолоты на щековой дробилке (кафедра геологии и разведки полезных ископаемых ТПУ), после чего доизмельчены на микровиброистирателе.

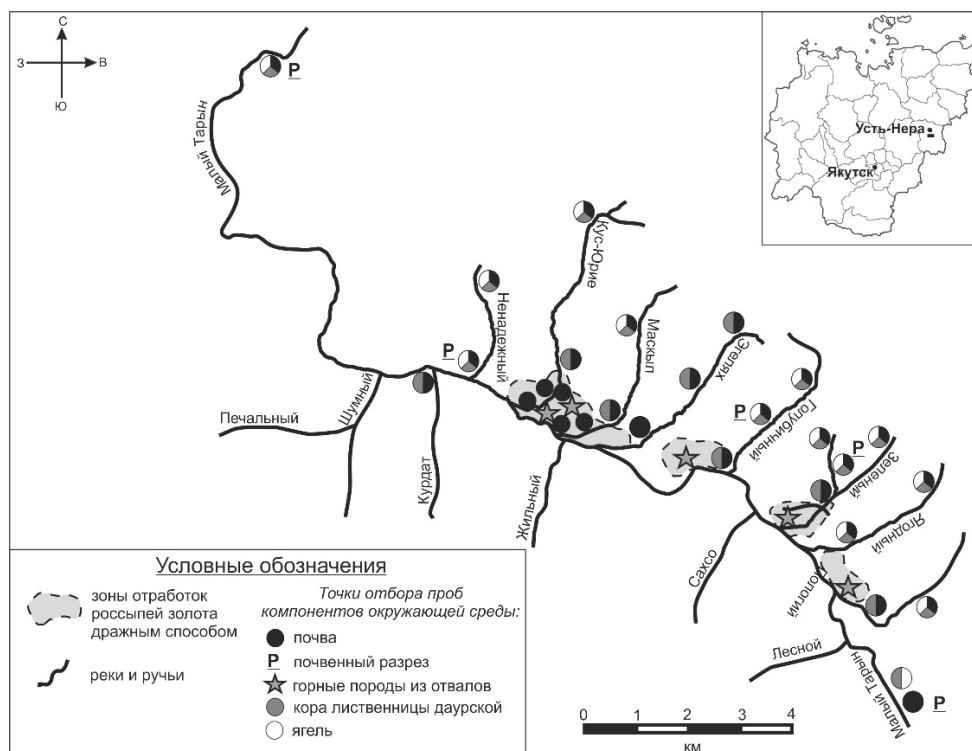


Рис. 1. Схема отбора проб компонентов окружающей среды на территории Мало-Тарынского рудного поля (Оймяконский район, Республика Саха)

Определение валового содержания ртути в пробах почвы, горных породах и биологических объектах проводилось методом беспламенной атомной абсорбции на анализаторе ртути «РА-915⁺» с пиролитическим разложением проб (приставка ПИРО-915⁺; все измерения выполнялись в режиме

работы приставки «Mode 1»). Для анализа проб почвы и горных пород использован ГСО-2500-83 (СДСП-3), для проб растительности – ГСО-8923-2007 (ЛБ-1). Все лабораторно-аналитические работы выполнены в лаборатории микроэлементного анализа природных сред МИНОЦ «Урановая геология».

Результаты и их обсуждение. Содержание ртути в почвах на территории Мало-Тарынского рудного поля изменяется от 9 ± 1 до 145 ± 3 нг/г, это значительно ниже ПДК ртути для почв – 2100 нг/г [6]. Средняя концентрация ртути в почвах Мало-Тарынского рудного поля составляет 30 нг/г (среднее геометрическое) и сопоставима с кларком ртути для верхней части континентальной земной коры – 33 нг/г [2]. Наибольшие содержания ртути в почвах установлены в пробах, отобранных в верховьях ручьев Маскыл (145 ± 3 нг/г), Голубичный (105 ± 2 нг/г) и Зеленый (98 ± 3 нг/г), наименьшие – в пробах вдоль русла руч. Эгелях (от 9 ± 1 до 14 ± 1 нг/г). К водоразделу ручьев Голубичный и Зеленый приурочена одна из основных рудных зон Мало-Тарынского поля. Зафиксированные повышенные содержания ртути – геохимического спутника золотого оруденения, в почвах на описываемом участке Мало-Тарынского поля, вероятнее всего, являются следствием литогеохимической проявленности рудного источника.

Анализ распределения содержания ртути по почвенным разрезам (табл. 1) позволил установить, что для разрезов, заложенных вблизи русла р. Малый Тарын, концентрация ртути в приповерхностном горизонте (0-10 см) в 2-4 раза выше содержания в более глубоких интервалах опробования по разрезам (до 62-80 см). Тогда как для почвенных разрезов, заложенных вблизи русел притоков р. Малый Тарын – ручьев Ненадежный, Голубичный, Зеленый, не установлено динамики изменения концентраций ртути между интервалами опробования; различия содержания находятся в пределах аналитической погрешности измерений. Однако концентрации ртути в пробах почвы из интервалов опробования глубже 30 см для почвенных разрезов вблизи ручьев повышены относительно аналогичных содержаний для проб из почвенных разрезов вблизи р. Малый Тарын. Установленная закономерность, вероятно, может быть обусловлена процессами криогенной миграции ртути по почвенному профилю. Мощность сезонно-талого слоя на склонах и водоразделах (условия ручьев Ненадежный, Голубичный, Зеленый; ~900 м н.у.м.) составляет от 0,4 до 1,5 м, а в долинах крупных водотоков (р. Малый Тарын; ~600 м н.у.м.) – несколько метров, что может способствовать более активной миграции химических элементов в последнем случае. При этом ртуть характеризуется как очень подвижный химический элемент в природных водах месторождений золота, приуроченных к терригенным породам в условиях сплошной мерзлотной зоны Северо-Восточной Якутии (малосульфидные золото-кварцевые жилы, золото-сурьмяные жилы) [13], к которым относится и территория Мало-Тарынского рудного поля. Разработка месторождений полезных ископаемых в условиях криолитозоны приводит к формированию вместо эрозионно-устойчивых мерзлотных ландшафтов антропогенно неустойчивых систем, подверженных интенсивной эрозии, при которой происходят активизация физико-химических и биогеохимических процессов мигра-

ции и перераспределения вещества [12, 14]. С учетом данного факта и описанного выше характера распределения содержания ртути в почвенных профилях на территории Мало-Тарынского рудного поля в случае проведения открытых горных работ на рассматриваемой территории следует уделить особое внимание возможному изменению миграции ртути в условиях преобразования мерзлотного режима грунтов.

Таблица

Содержание ртути в почвенных разрезах на территории Мало-Тарынского рудного поля, нг/г

Место отбора	Интервал опробования			
	0-10 см	10-30 см	30-55 см	55-62 см
р. Малый Тарын (северо-запад участка)	44±1	11±1	11±1	13±1
	0-10 см	10-30 см	30-50 см	50-80 см
р. Малый Тарын (юго-восток участка)	16±1	8±1	8±1	7±2
	0-10 см	10-20 см	20-30 см	30-45 см
руч. Ненадежный (низовья ручья)	30±1	30±1	35±1	34±1
	0-10 см	10-30 см	30-50 см	50-72 см
руч. Голубичный (середина ручья)	19±1	14±1	16±1	18±1
	0-5 см	5-15 см	15-30 см	
руч. Зеленый (середина ручья)	36±2	23±1	22±1	

Примечание: ± среднеквадратичное отклонение между параллельными измерениями.

Концентрация ртути в отвалах горных пород, сформированных в результате дражной добычи россыпного золота на территории Мало-Тарынского рудного поля, изменяется от 7±1 до 19±1 нг/г. Среднее содержание ртути в отвалах составляет 10 нг/г и не превышает кларк для верхней части континентальной земной коры [2]. Установленные уровни концентрации ртути в материале отвалов позволяют говорить об отсутствии признаков применения ртутных технологий при обогащении золота на территории Мало-Тарынского рудного поля в прошлом.

По результатам исследования проб растительности на территории Мало-Тарынского рудного поля установлено, что концентрация ртути в коре лиственницы даурской (*L. dahurica Turcz.*) изменяется от 5±1 до 19±1 нг/г, в ягеле (*Cladonia rangiferina*) – от 8±1 до 11±1 нг/г. Средние содержания ртути в коре лиственницы даурской (*L. dahurica Turcz.*) и ягеле (*Cladonia rangiferina*) равны 10 и 9 нг/г соответственно. Полученные величины концентрации ртути в рассматриваемых видах растительности соответствуют кларку для сухого вещества растений – 12 нг/г [8].

В системе «почва – растительность» («почва – ягель» и «почва – кора лиственницы даурской») не установлено значимой корреляционной зависимости по содержанию ртути. Концентрации ртути в растительности характе-

ризируются низкой вариабельностью значений – 39% для коры лиственницы даурской и 10% для ягеля. Указанные закономерности могут быть отчасти признаком отсутствия связи между интенсивностью накопления ртути в рассматриваемых биологических объектах от величины ее содержания в почве и, возможно, о барьерном пути накопления ртути в рассматриваемых видах растительности в ландшафтно-природных условиях Северо-Восточной Якутии. Это соответствует установленному факту проявленности барьерной функции подземных органов некоторых видов растений по отношению к ртути [10]. Кроме этого известно, что бионакопление ртути определяется многими факторами – видовой принадлежностью растений, особенностями строения различных их органов, показателями валового содержания и различием форм нахождения ртути в почвах [7]. Для территорий, испытывающих ртутное загрязнение, отмечается то, что концентрации ртути в некоторых видах растений пропорциональны значениям её содержания в почвах [7]. Причиной отсутствия тенденции повышенного бионакопления ртути на территории Мало-Тарынского рудного поля на участках с повышенным ее содержанием в почвах может быть нахождение ртути в почвах преимущественно в бионедоступной прочно связанной форме. Это подтверждает предположение о природном геохимическом источнике поступления ртути в почву на территории Мало-Тарынского рудного поля (проявленность рудного тела), а не в результате антропогенных факторов. Так как техногенные ртутные аномалии, как правило, характеризуются наличием высокоподвижных форм нахождения ртути в компонентах природной среды [1, 3, 11].

Заключение. В результате проведенных исследований были установлены средние содержания ртути в компонентах окружающей среды Мало-Тарынского рудного поля – в почве (30 нг/г), отвалах горных пород (10 нг/г), коре лиственницы даурской (*L. dahurica Turcz.*) (10 нг/г) и ягеле (*Cladonia rangiferina*) (9 нг/г). Выявленные концентрации ртути могут быть использованы в качестве исходных («фоновых») при будущей эколого-геохимической оценке территории на стадии проведения открытых горных работ при добыче золота на территории Мало-Тарынского рудного поля.

Литература

1. Белоголова Г.А., Арсентьева А.Г., Мамитко В.Р. Формы нахождения элементов в зонах техногенного загрязнения // Докл. РАН. – 1994. – Т. 337. – № 5. – С. 650-654.
2. Беус А.А., Грабовская Л.И., Тихонова Н.В. Геохимия окружающей среды. – М.: Недра, 1976.
3. Богданов Н.А. Ртуть и ее термоформы в почвогрунте при оценке состояния городской среды // Сборник трудов Второго международного симпозиума «Ртуть в биосфере: эколого-геохимические аспекты». – 2015. – С. 47-51.
4. Борисова И.Г. Старченко В.М. Проблемы рекультивации нарушенных территорий (на примере Уруша-Ольдойского золотоносного узла в Амурской области) // Вестник северо-восточного научного центра ДВО РАН. – 2009. – № 3. – С. 54-63.

5. Брюхань Ф.Ф., Лебедев В.В. Эколого-геохимическое состояние территории золото-серебряного месторождения «Клен» (Чукотский автономный округ) // Криосфера земли. – 2012. – Т. 16. – № 4. – С. 10-20.
6. Гигиенические нормативы ГН 2.1.7.2041–06. Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в почве. – М.: Минздрав России, 2006.
7. Гордеева О.Н., Белоголова Г.А., Андрулайтис Л.Д. Биогеохимические особенности миграции ртути в системе «почва – растение» Южного Прибайкалья // Известия Иркутского государственного университета. – 2012. – № 3. – С. 23-32.
8. Добровольский В.В. Основы биогеохимии: учебное пособие для географических вузов. – М.: Высшая школа, 1998.
9. Зайцев В.Ф., Гундорева А.Н., Жителева А.Н. Уровень содержания ртути в почвах, испытывающих антропогенную нагрузку // Сборник трудов Второго международного симпозиума «Ртуть в биосфере: эколого-геохимические аспекты». – 2015. – С. 156-158.
10. Захожий И.Г., Далькэ И.В., Низовцев А.Н. Влияние хронического ртутного загрязнения почвы на функциональные характеристики фотосинтетического аппарата *Chamaenerion Angustifolium* (L.) Scop // Вестник института биологии Коми научного центра Уральского отделения РАН. – 2010. – № 9. – С. 5-8.
11. Лапердина Т.Г., Тупяков А.В., Егоров А.И., Мельникова М.В., Аскарлова О.Б., Баницыков В.А., Хвостова Т.Е., Цыбикдаржиев Ж., Бочко О.К. Ртутное загрязнение окружающей среды в зонах влияния золотодобывающих предприятий Забайкалья // Химия в интересах устойчивого развития. – 1995. – Т. 3. – № 1-2. – С. 57-67.
12. Макаров В.Н. Эколого-геохимическая оценка техногенного воздействия на окружающую среду // География и природные ресурсы. – 2010. – № 1. – С. 45-48.
13. Макаров В.Н., Чибисов Н.П. Особенности гидрогеохимии золоторудных месторождений в условиях многолетней мерзлоты // Колыма. – 1974. – № 10. – С. 41-43.
14. Пискунов Ю.Г., Кузнецова И.В., Борисова И.Г., Коваль А.Т. Экологические проблемы золотодобычи (на пример Амурской области) // Экология и промышленность России. – 2008. – С. 32-35
15. Тихменев Е. А., Пугачев А. А., Тихменев П. Е. Экологические аспекты разработки золоторудных месторождений на охотоморском склоне верхнеколымского // Вестник Северного международного университета. – 2006. – Т. 6. – № 6. – С. 92-99.
16. Язиков Е.Г., Худяков В.М., Азарова С.В. Отвалы горно-добывающего производства: комплексная оценка токсичности (на примере объектов Республики Хакасия) // Известия высших учебных заведений. Геология и разведка. – 2003. – № 3. – С. 93-97.

ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКОЕ СОПРОВОЖДЕНИЕ ОСВОЕНИЯ МЕСТОРОЖДЕНИЙ АРКТИЧЕСКОГО ШЕЛЬФА

М.А. Холмянский, И.М. Ефремкин, А.О. Карташёв

ВНИИ Океангеология, 190121, Санкт-Петербург, Английский пр. д. 1.
E-mail: okeangeo@vniio.ru

Выбор оптимального режима недропользования возможен на базе исследований включающих:

- Анализ возможностей хозяйственной деятельности на шельфе, регламентированных соответствующими нормативными документами.
- Детальное изучение всех негативных последствий освоения месторождений.

- Оценку финансово-экономических путей обеспечения рационального недропользования на основе экологического менеджмента.
- Проведения геоэкологического (экогеологического и технологического) мониторинга.
- Проведение экологической экспертизы проектов, паспортизации лицензионных участков.
- Выбор оптимальных технологических режимов.
- Систему управляющих решений, основанных на принципах оптимального недропользования.

Освоение морского нефтегазового месторождения осуществляется в несколько этапов, включающих: геолого-геофизические изыскания по поиску перспективных структур, содержащих нефть и газ; проведение разведочно-поисковых (поисково-оценочных) буровых работ по вскрытию продуктивных пластов этих структур; подготовку и обустройство месторождений (строительство платформ и бурение с них эксплуатационных скважин; оборудование месторождений технологическими и коммуникационными сооружениями по добыче, сбору, подготовке и транспорту нефти и газа); эксплуатацию месторождений и их ликвидацию [1, 3]. На каждом из этих этапов, особенно при несоблюдении природоохранных требований и соответствующего законодательства, возможно нанесение вреда различным компонентам морской среды. Негативные последствия в результате загрязнения окружающей среды могут проявляться в изменении ее качества, деградации естественных экологических систем и истощении природных ресурсов. Механическое воздействие на морское дно и придонные воды приводят к изменению петрофизических и инженерно-геологических свойств, термического режима, геокриологического строения и, как следствие опусканию уровня донной поверхности, нарушению сплошности пород, деградации мерзлоты и т.д.

К основным видам воздействия морского нефтегазодобывающего комплекса на окружающую среду относятся:

- физическое (превышение теплового, акустического, электромагнитного и других полей, нарушение естественных норм различных физических параметров и качеств среды обитания-изменения гранулометрического состава и структуры донного осадка, увеличение мутности воды, изменение характера водообмена и гидродинамических условий, создание искусственных субстратов и т. д.);
- химическое (изменение естественных химических свойств, а также проникновение химических веществ, ранее отсутствовавших или влияющих на изменение естественного фона до уровня, превышающего обычную норму-воздействие углеводородного сырья и продуктов его переработки, технологических растворов, пластовых вод, бытовых и промышленных стоков и т. п.; изменение рН, содержания солей и кислорода в воде и т. д.);
- биологическое (проявляется в проникновении в естественные эко системы или экологические устройства чуждых для них животных, растений и микроорганизмов, а также в нарушении взаимосвязи живых и неживых эле-

ментов природной среды, взаимодействующих как единое целое и связанных между собой обменом веществ и энергией);

- механическое (просадки морского дна на лицензионных участках, деградация мерзлоты, изменение локальных морфоструктур).

Суммарное воздействие носит комплексный характер и проявляется в форме физических, химических и биологических нарушений в водной толще морской среды, на дне и частично в атмосфере.

Роль факторов и степень воздействия той или иной деятельности, последствия которой приводят к негативным изменениям качества окружающей среды, отличаются для разных объектов и различных этапов освоения морских нефтегазовых месторождений (табл. 1) [1-3].

Таблица 1

Виды деятельности и факторы экологического воздействия на разных этапах освоения морских нефтегазовых месторождений (при надежной работе всех элементов нефтегазового комплекса и отсутствии аварийных ситуаций)

Этап	Вид деятельности	Характер воздействий	Масштаб воздействия
Геолого-геофизические изыскания	Сейсмические съемки, отбор грунта и поверхностное бурение	Помехи рыболовству и другим отраслям морского хозяйства, увеличение мутности воды, изменение гранулометрического состава и структуры донных осадков, технологические сбросы	Локальное и кратковременное
Разведочно-поисковые буровые работы	Операции с передвижными буровыми установками, проходка и оборудование скважин, их опробование и испытание	Изменение физических параметров морского дна, сбросы буровых и других отходов, повышение мутности воды, выбросы в атмосферу выхлопных газов и продуктов сжигания пластовых флюидов	Слабое и локальное
Обустройство месторождений	Установка платформ, подводно-технические работы, прокладка трубопроводов, строительство береговых терминалов, бурение, деятельность средств обеспечения, судоходство	Физическое нарушение среды, взмучивание и сброс (дампинг) донных осадков, нарушение среды обитания бентоса, сбросы отходов, загрязнения от судов и обеспечивающих систем, нарушение стабильности вечной мерзлоты, утечки газа из пластов	Наибольшее воздействие по сравнению с другими этапами освоения
Эксплуатация месторождений	Буровые, транспортные и другие операции, ремонт и обслуживание оборудования и коммуникаций, утилизация, переработка газа	Забор значительных объемов воды на технологические нужды, сбросы буровых отходов и пластовых вод, несанкционированные разливы и выбросы, физическое загрязнение, изменение условий существования гидробионтов, выбросы в атмосферу	Достаточно существенное, особенно при несоблюдении природоохранных требований
Ликвидация месторождений	Демонтаж платформ и трубопроводов, консервация скважин и другие операции	Последствия взрывных работ, нарушения на пне и в толще воды	Сравнительно ограниченное

Основные принципы при разработке системы экологического сопровождения работ, связанных с освоением месторождений углеводородных и твёрдых полезных ископаемых, включают:

- приоритетность – производство работ на шельфе не будет осуществляться за счет нарушения экологического равновесия в природной среде; меры по предотвращению экологических последствий превалируют над мерами по их ликвидации;

- обоснованного риска – принятие решений по экологической деятельности основывается на зарубежном и отечественном опыте освоения месторождений, на проведении моделирования (прогнозных оценок) возможных экологических последствий добычной деятельности, базирующихся на результатах мониторинга.

Реализация этих двух принципов позволяет в конечном итоге принимать обоснованные управляющие решения по сбалансированному развитию добычных работ.

В основе правового обеспечения экологической безопасности добычных работ должны лежать заключения государственной экспертизы на проекты буровых работ на шельфе, утвержденные приказами Государственного комитета по охране окружающей среды. Кроме того, экологическая деятельность в процессе освоения месторождений требует наличия региональных экспертных заключений; программы добычных работ на лицензионных участках.

Для обеспечения экологической безопасности бурения экологическая политика компаний должна быть направлена, прежде всего, на:

- установление режима экологического приоритета (наибольшего благоприятствования);

- соблюдение законов и нормативов РФ, а также международных соглашений в области охраны окружающей среды;

- представление на государственную экологическую экспертизу предпроектных и проектных материалов;

- использование только наиболее совершенных природоохранных технологий;

- разработку и реализацию комплекса природоохранных мер и компенсационных мероприятий, обеспечение их полного финансирования до начала производства работ;

- выполнение экологического мониторинга скважин;

- создание экологически эффективной системы управления окружающей средой.

На случай аварийного разлива нефтепродуктов разработан план ЛАРН, который соответствует требованиям постановления Правительства РФ от 21 августа 2000 г. № 613 «О неотложных мерах по предупреждению и ликвидации аварийных разливов нефти и нефтепродуктов». Технические средства, необходимые для этого, представлены боновыми заграждениями со скиммерами. Предусмотрены совместные со специализированными службами МЧС

России действия по локализации и ликвидации разлива на поверхности акваторий.

Наибольшую опасность для фауны и флоры представляет разлив нефти (с СПБУ, судна обеспечения). Загрязнение углеводородами подавит на некоторое время первичную продуктивность за счёт снижения численности фитопланктона. Будет заторможен фотосинтез у водорослей. Повысится численность нефтеокисляющих и сапрофитных форм. За счёт поражения систем дыхания пострадает зоопланктон. Подвижные беспозвоночные и рыбы уйдут из зоны загрязнения, но пострадает ихтиопланктон. Будет нанесён ущерб популяциям птиц за счёт загрязнения перьевого покрова и заглатывания нефтеуглеводородов, а морским млекопитающим – от потери изолирующих свойств кожи и поедания пищи, уже накопившей токсичные вещества. Восстановление биоценозов после такого воздействия может произойти не ранее, чем через 6-7 лет, хотя численность планктона восстановится быстро (не более одного года).

Основой структуры системы геоэкологического сопровождения нефтегазодобычных работ в морях является геоэкологический мониторинг.

С точки зрения очерёдности освоения месторождений, как углеводородного сырья, так и твердых полезных ископаемых шельфа, важнейшую роль играет экологическое состояние перспективных с минерагенических позиций районов.

А это состояние определяется такими характеристиками как: геодинамические – рассматриваются сейсмологические опасности разного уровня; литодинамические – абразионные процессы, взмучивание донных отложений; гравитационные – оползни, обвалы, осыпи.

На основании описанных выше номинаций составлена карта экологических опасностей для акватории Баренцева и Карского морей. В список опасностей, вынесенных на карту, вошли:

- области накопления тяжелых металлов эндогенного происхождения;
- зоны повышенной активности коррозионных процессов;
- зоны повышенной сейсмологической активности;
- области активного взмучивания при сейсмологических воздействиях;
- зоны отрицательного воздействия на биогенные сообщества,
- характеристики влияния естественного электрического поля на литодинамические процессы.

Геоэкологическая карта акватории Баренцева и Карского морей, является первой попыткой совместить экзогенные и эндогенные опасности.

На карте выделены экологические геологические формационные зоны (эколого-формационные зоны). Этот термин вводится нами для геоэкологического районирования: «эколого-формационная зона – пространственно-временная совокупность природно-техногенных процессов, характеризующаяся общими фаціальными, геохимическими, геокриологическими, инженерно – геологическими, геодинамическими признаками и однотипным проявлением экологических функций литосферы».

Всего выделено восемь эколого-формационных зон: Кольская, Центральная баренцевская, Приноземельская, Амдермская, Центральная карская, Обскоенисейская, Северная, Пограничная шельфовая. Наиболее сложной экогеологической обстановкой отличаются центральная баренцевоморская и амдермская зоны, где опасные криогенные процессы развиты наряду с повышенной сейсмичностью, активным накоплением тяжёлых металлов и высоким содержанием взвеси в морской воде. Именно эти зоны должны осваиваться в последнюю очередь.

Литература

1. *Вяхирев Р.П., Никитин В.А., Мирзоев Д.П.* Обустройство и освоение морских нефтегазовых месторождений. – М.: Изд-во Академии горных наук, 2001. – 459 с.
2. *Гусейнов Т.Н., Алекперов Р.Э.* Охрана природы при освоении морских нефтегазовых месторождений. – М.: Недра, 1989. – 216 с.
3. *Ефремкин И.М., Холмянский М.А.* Геоэкологическое сопровождение освоения нефтегазовых месторождений арктического шельфа. – СПб.: Недра, 2008. – 315 с.

8. РАЗВИТИЕ МЕТОДОВ И МЕТОДОЛОГИИ ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОЙ РАЗРАБОТКИ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

ПРОБЛЕМЫ ИНЖЕНЕРНОЙ И ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ГЕОДИНАМИКИ ПРИ РАЗРАБОТКЕ РЕЧИЦКОГО НЕФТЯНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ (ПРИПЯТСКИЙ ПРОГИБ)

О.К. Абрамович, А.А. Абрамович

Гомельский государственный университет им. Ф. Скорины,
Республика Беларусь, 246019, Гомель, ул. Советская 104. E-mail: sveta_pbe@mail.ru

Один из наиболее существенных видов техногенного воздействия на недра связан с освоением их углеводородных ресурсов. Система защищённости объектов нефтегазового комплекса должна учитывать весь возможный спектр потенциальных факторов промышленного и экологического риска. Современные геодинамические исследования позволяют выявить инициирующие факторы природно-техногенных геодинамических событий. В проблеме природно-техногенных катастроф основное внимание следует уделять синэнергетическим или многоступенчатым катастрофам [1]. Смысл последних состоит в том, что первичные процессы не катастрофического масштаба могут породить последующие более сильные процессы с катастрофическим исходом. Геодинамической опасности подвержены территории всех разрабатываемых месторождений, однако при определённых условиях состояние опасности может перейти в состояние риска.

Оценке подлежит Речицкое нефтяное месторождение Припятского прогиба, разрабатываемое с 1967 г. (рис. 1).

В процессе эксплуатации нефтяных месторождений скорость и направленность современных вертикальных движений земной коры вполне могут измениться. Причинами изменения этих величин служат многие факторы: глубина нефтяных пластов, мощность горизонта, густота сетки эксплуатационных скважин, количество закачиваемой воды в пласты, ярусность продуктивных пластов, состав по твердости грунтовых пород, поддерживаемость давления и т. д. Глубина залегания нефтяных пластов на Речицком место-

рождении изменяется от 2000 до 2600 м, а их мощность в среднем составляет 110-140 м, густота сетки эксплуатационных скважин 500×500 м, среднее количество закачиваемой за один год воды только в 20 скважин – $4 \cdot 10^7$ м³, среднее количество добываемой за один год нефти только из 20 скважин – $4 \cdot 10^6$ тыс. т.

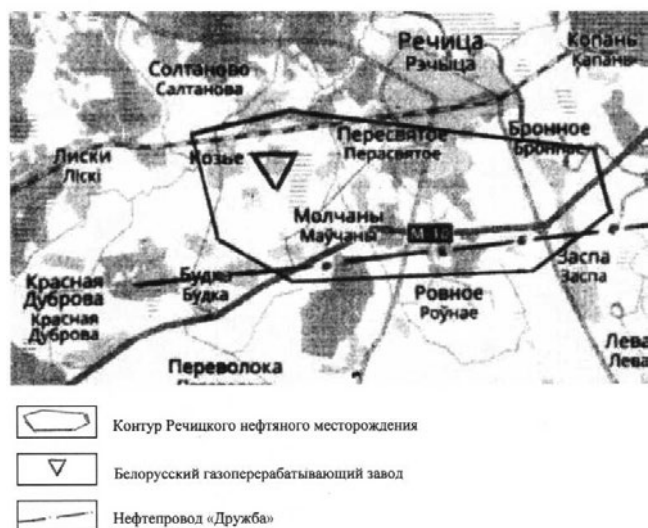


Рис. 1. Речицкое нефтяное месторождение Припятского прогиба

Самые достоверные данные о величине и характере техногенной нагрузки на территорию можно получить только по результатам инвентаризации земель и находящихся на них объектов.

Необходимо проанализировать распределения величины техногенной нагрузки на территорию и распределения площадей земельных участков под различными объектами нефтекомплекса.

Через территорию месторождения с востока на запад проходит нефтепровод «Дружба» и практически в центре находится РУП «Белорусский газоперерабатывающий завод». К потенциально опасным и вредным факторам, связанным с расположением завода можно отнести:

- высокую огнеопасность продуктов переработки;
- возможность образования взрывоопасных смесей газов и паров с воздухом;
- аппараты и сосуды, работающие под давлением, способные разрушаться при аварийных условиях.

Для территории нефтегазового комплекса Речицкого района характерна небольшая удалённость от населённых пунктов, занятисть земель под сельскохозяйственные угодья, густая сеть асфальтированных и грунтовых дорог.

Оптимальные параметры микроклимата для эксплуатации завода в холодный период составляют: температура воздуха 18-20°C, относительная влажность 40-60%, скорость движения воздуха не более 0,2 м/с. В теплый период: температура воздуха 21-23°C, относительная влажность 40-60%, скорость движения воздуха не более 0,3 м/с. Однако они не всегда соответствуют действительным. Аномальные климатические явления могут способствовать возникновению аварийных ситуаций, особенно в сочетании с другими иницирующими факторами, например, деформационными процессами в области живущих разломов. Проблема влияния современных геодинамических процессов на состояние трубопроводов относится к малоизученной, узловым вопросом в этой проблеме является оценка роли активных в настоящее время тектонических разломов, в зонах которых происходят современные суперинтенсивные деформационные процессы, а также флюидодинамические процессы и аномальные изменения геофизических полей.

Разработана и опробована на многих месторождениях углеводородов комплексная технология многофункционального геодинамического мониторинга, которая позволяет картировать разломы, и оценивать вероятность возникновения и уровень проявления современных суперинтенсивных деформационных процессов в зонах разломов на территории систем и объектов нефтегазового комплекса. Важная составляющая этой технологии – высокоточное геометрическое нивелирование. В зонах активных разломов установлены устойчивые характеристики их современной активности в форме интенсивных (до 40-60 мм/год), локальных (шириной от 1-2 до 6-8 км), короткопериодных (формирование от нескольких месяцев до первых лет) аномалий современных вертикальных и горизонтальных движений земной поверхности.

В пределах Речицкого месторождения есть отдельные участки, на которых знакопеременные колебания земной поверхности достигают 10-15 мм/год. Относительно газоперерабатывающего завода места локализации аномалий располагаются на расстоянии порядка 1-3 км. Газопровод «Дружба» пересекает предполагаемые по результатам нивелирования линии разломов в четырёх местах.

Под современным активным разломом понимается такая разломная зона, в которой происходят современные короткопериодические пульсационные и (или) знакопеременные деформации со скоростями не менее 10^{-5} в год. Если принять за порог разрушения величину $3 \cdot 10^{-4}$, то при среднегодовой скорости деформации на уровне 10^{-5} в год, время до наступления возможной аварийной ситуации будет равно 30 годам. Если принять длительность эксплуатации систем и объектов недропользования (например, месторождений углеводородов) порядка 30-50 лет, то становится очевидным, что при среднегодовой скорости деформирования на уровне $3 \cdot 10^{-5}$ в год (типичный уровень СД-процессов) время безопасного эксплуатации объекта будет составлять 10 лет [1].

Система мер, которые могут снизить промышленно-экологический риск от воздействия сильных геодинамических событий и явлений:

– обоснованное выделение участков повышенного геодинамического риска, в пределах которых допустимо размещение скважин и других объектов, если их прочностные характеристики адекватны возможным максимальным нагрузкам при возникновении геодинамических событий. В противном случае, если это экономически оправдано, скважины и другие объекты должны размещаться вне зон возможного проявления геодинамических процессов в соответствии с результатами геодинамического районирования;

– интенсивное законтурное заводнение (в основном для нефтяных месторождений), которое может привести к прекращению процесса сильного оседания земной поверхности.

Аварий с катастрофическим исходом на Речицком месторождении пока не было, но, учитывая вышеизложенное, уделять повышенное внимание мониторинговым наблюдениям на месторождении стоит.

Литература

1. Концепция «Геодинамическая безопасность освоения углеводородного потенциала недр России». – М.: Изд-во ИГиРГИ, 2000.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИХ И ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ ПО КОСМОСНИМКАМ НА ТЕРРИТОРИИ АНГРЕНСКОГО УГОЛЬНОГО РАЗРЕЗА РЕСПУБЛИКИ УЗБЕКИСТАН

Н.И. Ибрагимова

ГПИ Институт ГИДРОИНГЕО, 100041, Ташкент, Узбекистан. Олимплар-64.

E-mail: hydrouz@inbox.uz, nodira_2016@mail.ru

Локальная ГИС была создана для территории Ангреновского угольного разреза, который находится в Ташкентской области Республики Узбекистан, по правому берегу р. Ангрена в пределах северного склона Кураминского хребта, частично захватывая и южные отроги Чаткальского хребта, где разрабатывается ряд месторождений. В пределах района, в настоящее время разрабатываются месторождения: угольные, золоторудные строительных материалов. При этом все компоненты геологической среды (ГС) в той или иной степени претерпевали значительные изменения: свойства горных пород, гидрогеологические условия, геологические процессы и морфология поверхности.

Изменение морфологии поверхности района. В настоящее время в Ангреновском горнопромышленном районе действуют три карьера: разрез “Ангреновский” площадью более 15 км² и глубиной около 400 м, Джигиристанский карьер по добыче глиежей площадью – 1,6 км², глубиной более 100 м и Апар-

такский, площадью около 1 км², глубиной 70-80 м. На конец отработки площадь Ангренских карьеров достигла 28-30 км², глубина – 450-500 м. Подземные горные работы приводят, в основном, к нарушению естественного рельефа, выражающегося в образовании мульд сдвижения, оползней и воронок обрушения, подрезки склонов и т.д.

Развитие инженерно-геологических процессов. Оползни, на склонах Ангренского угольного разреза формируются в связи с углублением карьера, играющего роль в снижении призмы упора и формирования гидродинамического давления. Примером является Туркский оползень, где в первые годы, смещение происходило в лессовых породах, а в последующие – по глинистым породам мелового-палеогенового возраста. Оползни на бортах карьеров, связаны с древними оползневыми подвижками, микро-тектоникой участка, гидрогеологическими условиями, морфологией поверхности глинистых водоупорных пород и горнотехническими параметрами бортов карьера.

Наиболее крупные оползни на бортах карьера связаны с изменением гидрогеологических условий, значительно завышенным наклоном (20-25°) борта карьера и слабыми глинистыми нижними прослоями, падающими в сторону выработанного пространства [1]. Оползни, связанные с подземной отработкой месторождений, вызваны оседанием и сдвижением масс горных пород над выработанным пространством. Обрушения, провалы горных пород внутри горных выработок, в основном, приурочиваются к местам выхода подземных вод, слабым прослоям и зонам тектонических нарушений.

Изменение гидрогеологических условий значительно влияет на УГВ, который варьирует на 10-15 м по всей территории. Ангренский карьер играет роль огромной дрены. Это обуславливает сработку водоносного горизонта, приуроченного к четвертичным отложениям. По мере удаления от бровки карьера, УГВ понижается от 62 до 33 м. Большинство водопроявлений мел-палеогенового комплекса приурочено к контактными зонам, характер водопроявлений – площадное смачивание, реже – высачивание с дебитом до 0,15 л/с. Максимальный общий расход всех водопроявлений, зафиксированных при обследованиях – 7,3 л/с (апрель, май). Водопроявления в юрском водоносном комплексе так же приурочены к контактными зонам, характер проявлений – площадное смачивание. Средний максимальный единичный расход достигает 2,46 л/с. Воды палеозойских отложений в обводнении карьера существенной роли не играют. Общая величина водопритоков со стороны рабочего борта карьера, составляет от 150 л/с до 190 л/с на высокое положение УГВ. При этом основные притоки происходят за счет грунтовых вод, приуроченных к галечникам, величина которых на межень – 140 л/с, на паводок – 180 л/с. Приток из Ахангаранского водохранилища в карьер – 45 л/с. При достижении проектной отметки разреза приток в карьер из водохранилища составит 1200 м³/ч.

Косвенные показатели изменения гидрогеологических условий, таких как влажность почв, определялась с использованием космоснимков landsat 7,8. Данные космоснимков показывают, что влажность в районе карьера постепенно увеличилась (рис. 1). Это определяется изменением УГВ в следст-

вии сработки водного горизонта и углубления карьера, что отражено в локальной ГИС системе. Обработка космоснимков проводилась стандартными функциями ГИС.

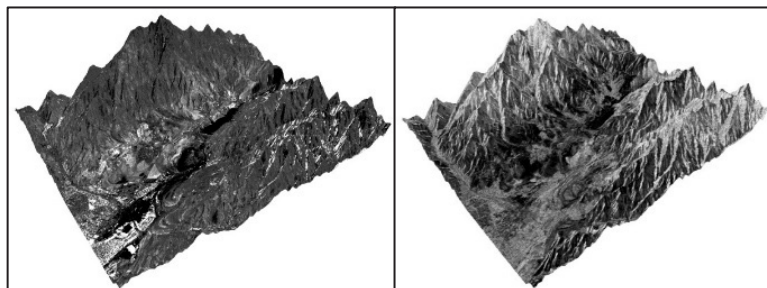


Рис. 1. Изменение влажности почв во времени.

Ангренский угольный карьер находится в зонах влияния крупных техногенных (водохранилище, обводной туннель, внутренний отвал) сооружений и сжатия между двумя хребтами (Чаткал и Курама). Строительство разреза начато в 1946 г., и в 1948 г. он сдан в эксплуатацию с проектной мощностью 1,5 млн. т угля в год, в 1956 г. утвержден проект о доведении проектной мощности до 4,5 млн т угля в год, которая была достигнута в 1975 г. С 1967 по 1970 г.г. объем добычи неравномерно уменьшался. Это объясняет наличием на рабочем борту Ангренского угольного разреза отводного канала р. Ангрен, что сдерживало развитие горных работ и вызвало активизацию оползней в северной части карьерного поля, что привело к консервации третьей части карьерных работ. Перенос р. Ангрен на стационарный борт (1975 г.) и завершение восстановительных работ на оползневой части поля позволили увеличить объем добываемого угля. С 1985 г. идет реконструкция карьера с проектной мощностью 10 млн т товарного угля в год с годовым объемом вскрыши 56 млн м³ [2].

Ангренский разрез имеет следующие горно-тектонические параметры: длина карьера 3,6-4,8 км, ширина 2-3,3 км, высота уступов 6-15 м, ширина бермы 20-35 м, мощность внутреннего отвала 95-180 м, количество уступов 26-30, генеральный угол заложения рабочего борта 16-21°, стационарного 24-26°, максимальная глубина 430 м [2]. С увеличением глубины карьера в разные периоды активизировались оползни, появились новые трещины вдоль основания стенки срыва. При разработке месторождения угля часто отмечаются оползни внутри карьера, которые, по сравнению с оползнями на склонах, как правило, происходят часто, меньшего объема, но являются более опасными и неблагоприятными для эксплуатирующих организаций, так как развиваются во вскрышных и добычных уступах. Крупные оползни наблюдаются при чередовании слоев глин, песчаников и известняков. В других местах встречаются, в основном, сравнительно мелкие обвалы, приуроченные

к местам разрывных нарушений, зонам сильной трещиноватости, реже, к контактам разновозрастных и разнотипных пород.

Наиболее крупные оползни (в палеогеновых и юрских отложениях), происходили в начале эксплуатации карьера, в отдельные периоды, приводившие к уменьшению добычи угля. Их значительная часть приурочена к северо-западной и западной частям карьера, наиболее увлажненными подземными водами. На этих участках (западный рабочий борт карьера) в 1963 г. образовался оползень объемом 8 млн м³. Названы две основные причины образования оползня: увеличение угла наклона борта в надугольных отложениях до 15°, вместо проектных 11° и наличие в прибортовом массиве сброснадвига, падающего в сторону разреза под углом около 40° [2]. По данным углераза «Ангренский», с июля по декабрь 1987 г. из призмы активного давления (уступы +4, +5) извлечено 2,25 млн м³ породы, а из нижних уступов – 0,8 млн м³, скорость смещения деформирующегося массива за этот период постепенно выросла с 3-4 до 9-14 мм/сут, а к 14.04.1988 г. до 16-20 мм/сут. Здесь, по всей вероятности, смещение происходит по нескольким поверхностям скольжения. Геологические условия это позволяют, т.е. на данном участке до упомянутой глубины зафиксированные четыре и более ослабленных зон мощностью от нескольких сантиметров до 1,5-2 м [3].

Наиболее типичный для Ангренского угольного карьера оползень (100 тыс. м³) образовался в 1977 г., в северной части рабочего борта. Который приурочен к крылу синклинали, где залегают верхнеюрские пестроцветные каолиновые глины, служащие местным водоупорам, выше глиноносные пески и песчаники. По этим толщам проходит зона скольжения. В правой (боковой) части оползня залегают юрские глины, а в левой песчаники, где имеются выходы подземных вод. Оползень образовался в результате изменения крутизны борта, снятия подпираемых пород, обнажения водоносных горизонтов и образования гидравлического градиента (до 0,15) (рис. 2). Он сместил нижний уступ, в результате часть поверхности скольжения обнажилась непосредственно по поверхности каолиновых глин. Его площадь, объем и направление смещения predetermined геологическим строением участка и ограничиваются распространением песчаных материалов в небольшой синклинали, что служит естественной дренажной для подземных вод. Крутизна поверхности наклона в районе стенки срыва 35-38°, в средней части почти горизонтальная.

При образовании водоупора в нижней и средней частях откосов значительная часть галечников увлажняется и откос обрушивается (рис. 2) возникают вертикальные стенки срыва. Контакты между галечниками и алевролитами четкие, без переходных зон. Следует отметить, что при отсутствии грунтовых вод обрушения откосов в верхних уступах не происходит. Алевролиты на контакте с галечниками из-за наличия подземных вод характеризуются более высокими величинами естественной влажности (30-35%) и низкими прочностными показателями ($\varphi=12-16^\circ$; $C=0,2-0,6$ МПа). Мощность контактного слоя составляет от 5 до 15 см, являясь поверхностью ослабления. Ниже 15-20 см, наблюдается нормальные плотные алевролиты ($W=9-12\%$,

$\varphi=25-30^\circ$, $C=1,5-3$ МПа) [2]. При разработке описываемого карьера оползневые процессы (мелкие и средние) происходят в результате потери бокового упора при изменении крутизны бортов, замачивании слабых разновидностей пород подземными водами, приводящих к уменьшению их прочностных свойств и образованию зон и поверхностей скольжения. Обычно в таких оползнях глубина до поверхности скольжения изменяется от 20-25 до 30-40 м, объемы 0,5-1,5 млн м³.

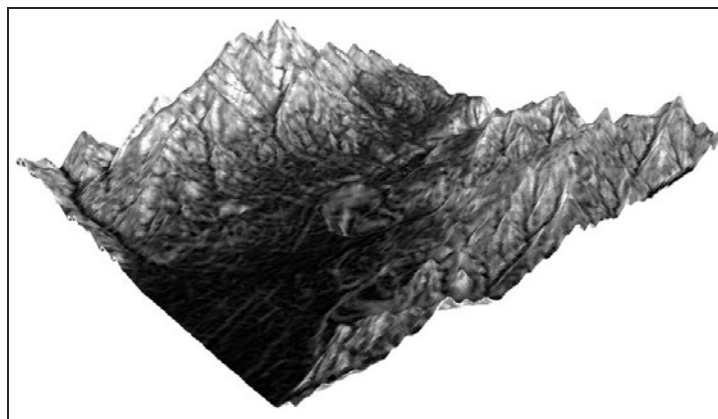


Рис. 2. Цифровая модель варьирования водоносных горизонтов

Кроме вышеприведённых оползней, на бортах карьера и в зонах его влияния сформировались и формируются еще более 10-ти достаточно крупных оползней.

Локальная ГИС Ангреновского угольного разреза.

В связи с вышеприведенными сложными разнородными геологическими и гидрогеологическими условиями и затруднениями ведения систематических наземных наблюдений, в настоящее время автором создается локальная ГИС Ангреновского угольного разреза, которая позволит решить следующие задачи:

1. Ведение мониторинга за геологическим инженерно-геологическим условиями разработки карьера.
2. Использования данных космической съемки для определения площадных и линейных объектов (рис. 3).
3. Создание локальной базы данных геологических, инженерно-геологических и геологических параметров.
4. Определение и расчет статистических данных изменения геологических, инженерно-геологических и гидрогеологических параметров.
5. ГИС моделирование и прогнозирование развития геологических, инженерно-геологических и гидрогеологических процессов (рис. 2).

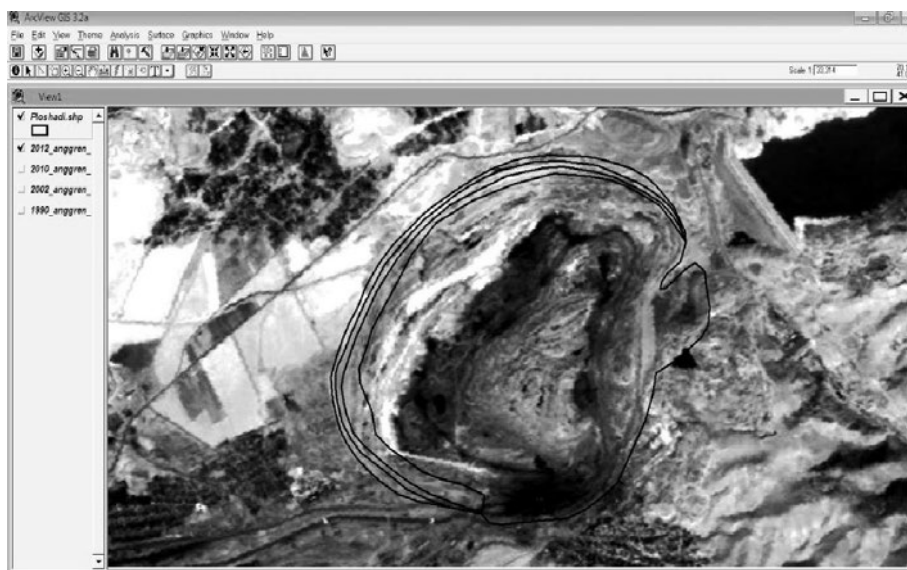


Рис. 3. Определение изменения площади карьера по космоснимкам

ГИС содержит следующие данные: геологические карты, тектонические нарушения и геологические разрезы. Инженерно-геологические характеристики: уклоны склонов и откосов карьера, зон трещиноватости пород, мощность геологических слоев, водопроницаемость пород гидрогеологические данные: уровень залегания грунтовых вод, направление основных потоков подземных вод, колебания уровня грунтовых вод, взаимодействие с поверхностными водотоками и др. данные (рис. 3).

Данные космоснимков (КС) позволяют определить параметры измерения рельефа, гидрогеологической сети, растительного покрова, формирование ОГП дистанционно, не привлекая наземных наблюдений.

Таким образом, ГИС позволит оптимизировать наблюдательную сеть за основными геологическими, гидрогеологическими и инженерно-геологическими параметрами карьера, вести статистику их изменений и непосредственный мониторинг геологических объектов, производить расчеты, интерполяцию данных и прогнозировать развитие инженерно-геологических, геологических и гидрогеологических процессов.

Экономически учет изученных факторов и полученных данных ДЗЗ и ГИС, являются наиболее оптимальными для целей мониторинга, статистической отработки данных, моделирования природных процессов, не требующих затрат для ведения дорогостоящих наземных наблюдений [4]. Имеющиеся данные, т.е. космические снимки, картографические покрытия, результаты полевых инженерно-технических замеров имеет различные форматы и разнообразные данные. Поэтому нами была использована ПО ArcGis, т.к. и программа имеет достаточно удобный интерфейс для работы с графическими мате-

риалами (космоснимками, картами, графиками) и табличными данными для расчетов статистических показателей, инженерно-геологических и гидрогеологических параметров.

Литература

1. *Сыроватко М.В.* Гидрогеология и инженерная геология при освоении угольных месторождений. – М.: Госгортехиздат, 1960. – С. 51-65.
2. *Мирасланов М.М.* Инженерная геология, гидрогеология месторождений твердых полезных ископаемых Узбекистана. – Ташкент, 2011. – С. 23-32.
3. *Фисенко Г.Л.* Роль прочности горных пород в формировании оползней // Материалы совещ. По вопросам изучения оползней и меры борьбы с ними. – Киев.: КИСИ, 1964. – С. 35-43.
4. *Ибрагимова Н.И.* Сборник материалов IV Всероссийской молодежной геологической конференции. – Уфа: ИГ УНЦ РАН, 2016. – С. 218-223.

ГЕОМОРФОМЕТРИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ НАРУШЕННЫХ ЗЕМЕЛЬ БАЛАКЛАВСКОГО РАЙОНА КРЫМА В ЦЕЛЯХ ОЦЕНКИ ИНФИЛЬТРАЦИОННОГО ПИТАНИЯ

Е.А. Карфидова, Г.И. Батрак

Институт геоэкологии им. Е.М. Сергеева РАН (ИГЭ РАН), Москва, Уланский пер., 13, стр. 2.
E-mail: e.karfidova@yandex.ru, gib74@mail.ru

Нарушенные земли **Балаклавского района Крыма** связаны с деятельностью Балаклавского рудоуправления (Западно-Балаклавский, Псилерахский и Кадыковский карьеры, прилегающие к ним участки рудоуправления и участки в районе горы Гасфорта). История предприятия начинается в 30-х годах прошлого века, когда стране понадобился флюсовый известняк; в 70-х годах добыча составляла порядка 5,5 млн т в год. В настоящее время наряду с продолжением горнодобывающих работ, поставлена задача ликвидации Кадыковского карьера, рассматривается возможность использования карьера как водохранилища (рис. 1).

В практике детектирования нарушенных земель РФ исходной информацией являются топографические карты и тематические сведения, в том числе: Росприроднадзора, Государственного мониторинга земель, мониторинга состояния недр, данные дистанционного зондирования земли, обеспечивающие мониторинг высот, растительного покрова, аридности земной поверхности и др. сведения.

В силу сложившейся геополитической ситуации найти многие данные из перечисленного выше за последние 25 лет в Крыму не представляется воз-

можным. Учитывая это, разработчикам приходится в большей степени ориентироваться на данные дистанционного зондирования.

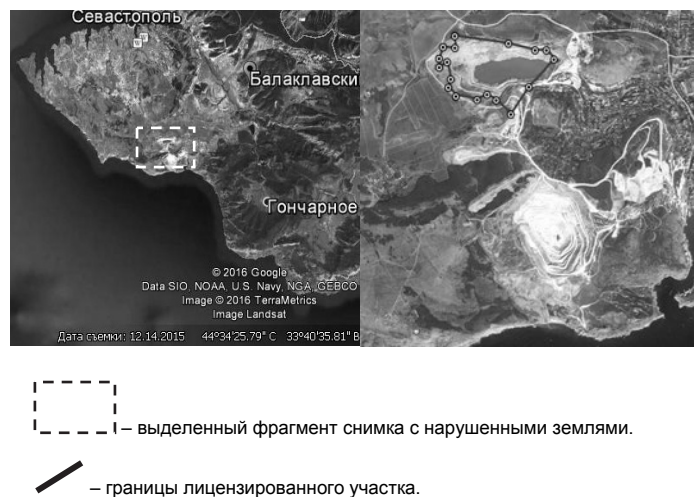


Рис. 1. Ситуационная схема Балаклавского района (слева) с выделенным участком нарушенных земель и справа – размещение Кадыковского месторождения с нанесенными границами лицензионного участка. В схеме используются космические снимки сервиса Планета Земля (Google Earth)

В настоящее время проблема реабилитации Кадыковского карьера находится на стадии обоснования возможности организации водохранилища в отработанном карьере. При этом необходимой составляющей такого обоснования является построение геофильтрационной модели окружающей территории. Одним из важнейших параметров, входящих в геофильтрационную модель является величина инфильтрационного питания, которая существенно варьирует в зависимости от рельефа земной поверхности и формирующегося микроклимата.

Определение инфильтрации является сложной гидрогеологической задачей. Основой для таких исследований должны являться водно-балансовые исследования, среди которых основное место должны занимать режимные наблюдения за осадками, температурой, поверхностным стоком и уровнем подземных вод.

В рамках данной работы специальные воднобалансовые исследования не проводились. Поэтому оценка распределения инфильтрации по территории строится на фондовых материалах, среди которых основное место занимают мелкомасштабные оценки инфильтрации для района Балаклавы и данные по рельефу земной поверхности, а также информация о строении и мощности зоны аэрации.

Для расчета инфильтрации использовались следующие данные: оценки уклонов и экспозиции склонов, построение модели поверхностных стоков и границ водосборных бассейнов, оценки профильной кривизны склонов. В целом решение поставленных задач требует развития методов геоморфометрического анализа для расчета количественных оценок цифровых картографических материалов, удобных для гидрогеологических исследований и численного моделирования. Методы геоморфометрического анализа основываются на цифровой модели рельефа (ЦМР).

Исходные данные и обеспечение анализа нарушенных земель

1. Для построения цифровой модели рельефа использовались топографические карты масштаба 1:50 000 (1986г.), радарные данные SRTM v/4 (размер ячейки сетки 100 м) и радарные данные ALOS (размер ячейки сетки 30 м) [1]. Радарные данные оказались, к сожалению, с большими пробелами и использовались ограниченно, в отличие от данных ALOS, которые покрыли весь Балаклавский район. Топографические данные в местной системе координат использовались в виде изолиний через 5 м, формат – SHP, данные ALOS в географических координатах в виде растрового изображения в формате TIF. Данные спроецированы с использованием проекции Mercator.

2. Данные геопортала мониторинга земной поверхности (CGIAR-CSI GeoPortal) [2]. На стадии среднесрочного планирования и обоснования реабилитации Кадыковского карьера оказалось возможным использовать для оценки состояния растительного покрова и аридности земной поверхности данные с разрешением 300 м (1990 г.), что для рассматриваемой территории в несколько десятков кв. км на стадии предпроектных исследований представляется допустимым. Данные предоставляются в географических координатах в формате TIF и проецируются также в проекции Mercator.

3. Необходимым программным обеспечением работы является ArcView/ArcGIS с модулями расширения трехмерного моделирования 3D Analysis, пространственного анализа – Spatial Analysis, проецирования Projection Utility, анализа растрового изображения – Image Analysis, гидрологического моделирования – Hydrologic modeling и геоморфометрического анализа склонов SMORPH.

Методы геоморфометрического анализа

В решении задачи выделяются следующие этапы:

1. Ввод данных топографической карты (изогипсы, гидрография, леса) и сведений о выделенных (лицензионных) участках Балаклавского горнодобывающего предприятия.

2. Выделение (детекция) по нескольким участкам общей зоны нарушенных земель по оценкам состояния растительности (GlobCover ESA 2009 Global Land Cover). Исходный файл конвертируется в формат IMG; средствами Image Analysis изображение дифференцируется на отдельные полигоны по типу растительности с выделением класса голых участков (bare areas Pal

Ind 20), участков скудной растительности (Sparse vegetation Pal Ind 14), участков широколиственного леса (Closed broadleaved deciduous forest Pal Ind 6).

3. Стандартный анализ ЦМР с расчетом уклонов, экспозиций и оценки вертикальной расчлененности рельефа по ближайшему окружению; расчет сопровождается созданием геостатистик.

4. Решение задач гидрологического моделирования с расчетом зон и объема аккумуляции поверхностного стока и границ водосбора.

5. Расчет кратчайших путей по водоформирующим стокам, их уклонов по пути следования и уклонов расчетных водотоков.

6. Нормирование ЦМР по выборке водосборных бассейнов и расчет профильной кривизны склонов.

7. Сравнительный анализ результатов по данным старой топографической карты 1986 г. и по данным ALOS; расчет оценок динамики изменения вертикальной расчлененности, уклонов, экспозиции и профильной кривизны.

8. Формирование данных о нарушенных землях (по распространению растительности и индексу аридности); картографическое оформление результатов, а также формирование расчетных данных геоморфометрического анализа и для гидрогеологической модели.

Основные результаты анализа и динамики нарушенных земель

По данным 2010 г. в водосборных бассейнах вокруг Кадыковского карьера: площадь земель лишенных растительности составляет около 3 км², площадь земель скудной растительности, окружающей горные участки, составляет 11,5 км². Результаты расчетов уклонов склонов представлены на рис. 2.

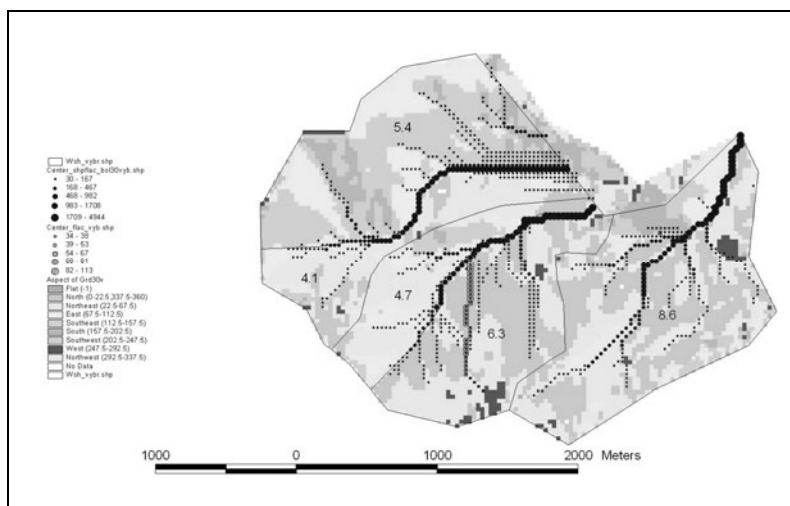


Рис. 2. Схема экспозиции склонов (8 румбов) по выделенным водосборным бассейнам южной части Кадыковского карьера. Водосборные бассейны поделены на левую и правую стороны водотока, цифры на схеме – средние значения уклонов водостока для каждой части водосборного бассейна

Пример расчетных данных и картографического оформления представлены в таблице расчетных значений и на рис. 3.

Таблица расчетных значений
геоморфометрического анализа

ID	FLACC	Z (м)	CURV (град)	SLP (град)	NEWC RV	ASPEC T (град)
1	34	290	0,35	2,6	plus	301
2	36	289	1,34	1,8	Plus	337
3	37	288	-2,16	4,2	minus	331
4	38	283	-4,08	8,3	minus	333
5	42	276	-3,85	11,6	minus	340
6	43	270	-2,07	12,8	minus	343
7	44	263	0,41	12,8	plus	345
8	45	256	-0,61	13,8	minus	345
9	46	221	3,88	8,1	plus	343
10	46	248	-2,06	15,4	minus	342
11	52	218	4,03	6,0	plus	344
12	53	215	2,39	4,6	plus	343
-
28	79	183	1,38	3,0	plus	17
29	80	182	1,25	2,2	plus	18
30	81	181	-0,10	2,1	minus	14
31	113	180	-1,29	2,8	minus	18

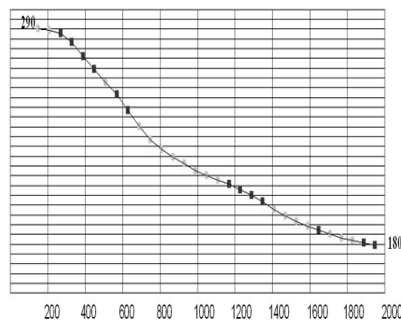


Рис.3. Профиль водотока с выделением профильной кривизны на выпуклую (квадрат красного цвета) и вогнутую (круг синего цвета) части, построенный по таблице расчетных значений (слева).

FLACC - аккумуляция стока (в ячейках ЦМР), Z - абсолютная отметка высоты по ЦМР, CURV - профильная кривизна склона, SLP - уклон склона, АСПЕКТ - экспозиция склона.

Схематизация условий формирования инфильтрационного питания

Роль макроформ рельефа в формировании водного баланса на поверхности земли и процессах инфильтрационного питания неоднозначна и зависит от многих факторов – климатических условий, крутизны склонов и их экспозиции, характера почвенного и растительного покрова. Однако, известно, что характер рельефа поверхности оказывает значимое влияние на перераспределение влаги, как за счет ее латерального стекания от вершин склонов к подножьям, так и за счет эвапотранспирационных процессов на различных участках склонов. Формирование особых микроклиматических условий, обуславливающих перераспределение влаги приводит к тому, что, в целом, за счет стекания влаги по поверхности склона, количество эффективных осадков уменьшается в верхних и средних частях склона и увеличивается в подножье. Величины потенциальной эвапотранспирации, отражающие различия температурных условий и поступления солнечной радиации, определяются также и экспозицией склона – если для северной ориентации характерно уменьшение потенциальной эвапотранспирации по сравнению с ровной поверхностью, то для южных склонов – наоборот [3].

Инфильтрация атмосферных осадков на уровень грунтовых вод определяется балансом основных составляющих: суммы осадков, эвапотранспирации, поверхностного стока. С увеличением глубины до уровня подземных

вод инфильтрация возрастает и с глубины 7-8 м остается практически постоянной, независимой от глубины до УГВ. Так как на исследуемой территории уровень подземных вод почти повсеместно залегает на глубине, превышающей 10 м, то можно не учитывать в оценке инфильтрационного питания мощность зоны аэрации.

Сложение зоны аэрации определяется особенностями геологического строения юга крымского полуострова. Под незначительной мощности почвенным слоем залегает массив известняков. Известняки монолитные слабо разрушенные. Средний коэффициент фильтрации составляет 0,15 м/сут.

В районе Ялты сумма твердых осадков за год составляет всего 37 мм, и их накопления не происходит. Поэтому все инфильтрационное питание осуществляется за счет дождевого стока. Условия инфильтрации существенно отличаются в зависимости от растительности, покрывающей водораздельные поверхности. Для упрощения без особой потери точности их схематизируют на лес и поле. Подавляющая часть исследуемого участка характеризуется как поле.

Формирование подземных вод связано с тремя видами питания: инфильтрационным (рассеянное проникновение в почву и коренные породы атмосферной воды и склонового стока), инфилюационным (проникновение в породы сосредоточенного стока) и конденсационным. Согласно региональной модели южной части Крыма инфильтрационное питание в районе Балаклавы составляет 50 мм/год (рис. 4) [4].

Расчет инфильтрационного питания

На основе полученных в работе [3] зависимостей влияния состава пород зоны аэрации, участка склона, его угла наклона, экспозиции и характера покрытия было рассчитано распределение инфильтрационного питания по площади водосборного бассейна (рис. 4).

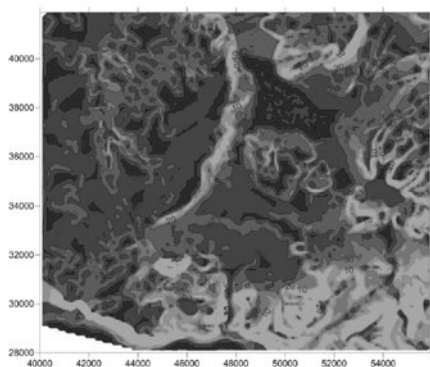


Рис. 4. Значение инфильтрации в результате учета состава пород зоны аэрации, угла наклона поверхности земли, экспозиции и характера покрытия территории

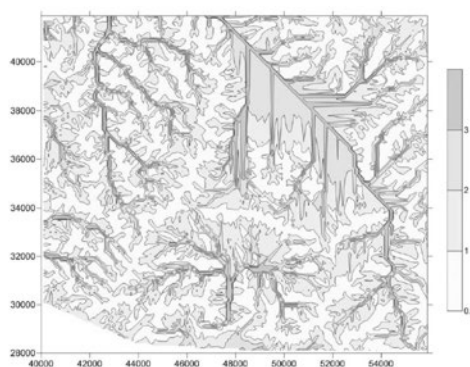


Рис. 5. Поправочные коэффициенты к значению инфильтрации, учитывающие место и интенсивность протекания поверхностного стока

Далее, исходя из того факта, что по тальвегам эрозионной сети проходит основная разгрузка поверхностных вод и инфильтрация там максимальна, были вычислены поправочные коэффициенты к карте инфильтрационного питания (рис. 5). В основу была положена математически рассчитанная эрозионная сеть.

Выводы. Разработанные методы позволяют оценить зону нарушенных земель, создать картографическое представление и необходимые цифровые данные для оценки инфильтрационного питания в целях информационно-методического обеспечения проекта реабилитации карьера и решения задачи обустройства водохранилища.

Литература

1. Геопортал данных дистанционного зондирования Центра научных исследований по наблюдениям Земли Earth Observation Research Center /JAXA (JAXA/EORC).
2. *Trabucco, A., Zomer, R.J.* 2009. Global Aridity Index (Global-Aridity) and Global Potential Evapo-Transpiration (Global-PET) Geospatial Database. CGIAR Consortium for Spatial Information. Published online, available from the CGIAR-CSI GeoPortal at: <http://www.csi.cgiar.org>.
3. *Гриневский С.О.* Оценка инфильтрационного питания и ресурсов подземных вод на основе геогидрологических моделей: докт. дис. – М., 2012.
4. *Шестопалов В.М., Богуславский А.С., Климчук А.Б., Фесенко А.В., Годенко Г.Е.* Моделирование ресурсов подземных вод юго-западной части горного Крыма // Геология и полезные ископаемые мирового океана. – Киев, 1999. – С. 5-28.

РАСЧЕТ СЕЙСМИЧЕСКИХ ВОЗДЕЙСТВИЙ ДЛЯ МЕСТА ПОСТАНОВКИ САМОПОДЪЕМНОЙ ПЛАВУЧЕЙ БУРОВОЙ УСТАНОВКИ «НЕПТУН» С ЦЕЛЮ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

М.Д. Кауркин, В.В. Несынов, Д.О. Андреев

Институт геоэкологии им. Е.М. Сергеева РАН, Москва, Уланский пер., д. 13, строение 2.
E-mail: igelab@mail.ru

В связи с активным освоением месторождений нефти и газового конденсата на Каспийском шельфе возникла необходимость в оценке природной опасности и рисков в этом районе. Одной из природных опасностей актуальной для южной части территории России является её высокая сейсмичность. Во время землетрясения может произойти нарушение устойчивости грунтового основания места постановки самоподъемной плавучей буровой установки, что может привести к повреждению обсадки скважины и разливу нефти в акваторию Каспийского моря.

Работы по сейсмическому микрорайонированию места постановки самоподъемной плавучей буровой установки (СПБУ) «Нептун» на площадке №1 структуры «Титонская» были выполнены Федеральным государственным бюджетным учреждением науки Институтом геоэкологии им. Е.М. Сергеева Российской академии наук (ИГЭ РАН) в 2014 г.

Целью исследований являлось сейсмическое микрорайонирование (СМР) площадки СПБУ размером 200×200 м с выдачей количественных характеристик прогнозных сейсмических воздействий от возможных землетрясений.

В работе были применены результаты инженерно-геологических и геофизических исследований на акватории северной и центральных частях Каспийского моря, выполненные различными организациями (ООО «Моринжгеология», Институт физики Земли им. О. Ю. Шмидта РАН, Институт океанологии им. П. П. Ширшова РАН, ООО ВНИИГ-Диагностика сооружений и др.).

Исследования можно разделить на два крупных этапа: уточнение исходной (фоновой) сейсмичности района и сейсмическое микрорайонирование (включающие расчет сейсмических воздействий).

Уточнение исходной сейсмичности

В соответствии с действующими на тот момент нормативными документами (комплект карт ОСР-97 и СП 14.13330.2014), в целочисленных значениях балла территория г. Махачкалы относится к 8-балльной зоне по карте А (повторяемость сотрясений 1 раз в 500 лет), по карте В – к 9-балльной зоне (повторяемость 1 раз в 1000 лет) и по карте С – к 10-балльной зоне (повторяемость 1 раз в 5000 лет).

По уточненной карте ОСР 97-С, построенной в ИФЗ по той же технологии, что и карты в целочисленных баллах, но более детальной (шаг между изосейстами 0,1 балла), площадка «Титонская-1» располагается вблизи изосейсты 9,0 баллов. Таким образом, для грунтов II категории по сейсмическим свойствам на площадке «Титонская-1» сейсмическую интенсивность следует принять близкую к 9 баллам (с повторяемостью сотрясений 1 раз в 5000 лет).

Параметры сейсмических воздействий

Согласно исходной сейсмичности и сейсмической обстановке в районе расположения площадки, было принято решение рассчитывать сейсмическую опасность для трёх сценарных землетрясениях: из местной, ближней и удалённой зон.

В табл. 1 приведены основные параметры трех сценарных землетрясений, опасных для площадки «Титонская-1».

Приведенные в табл. 1 интенсивности относятся к грунтам II категории по сейсмическим свойствам с повторяемостью 1 раз в 5000 лет.

Указанная на картах ОСР-97 [4] сейсмичность в баллах относится к грунтам II категории по сейсмическим свойствам. Однако не стоит забывать о разнообразии грунтов II категории по литологическому составу и физико-механическим свойствам. Таким образом, отмеченные на картах количест-

венные характеристики сейсмических воздействий – в баллах, в величинах ускорений (скоростей или перемещения) по существу относят к абстрактным «средним» грунтам II категории. В каждом конкретном случае необходимо учитывать геологическое строение толщи грунтов их состав, мощность слоев в разрезе, рельеф и другие локальные факторы, которые отражаются не только на амплитудном уровне колебаний от землетрясений, но и на частотном составе и продолжительности. В результате чего СМР предоставляет для проектирования более точную информацию о параметрах ожидаемых сейсмических воздействий.

Таблица 1

Параметры землетрясений

Сейсмогенерирующая зона	Магнитуда, M_S	Глубина очага, км	Эпицентральное расстояние до площадки, км	Интенсивность I , балл
Махачкалинская (Дагестанский клин)	7,0	10-15	45-50	8,9
Местное землетрясение из домена D0153	5,5	8-12	0	8,1
Красноводская зона	8,0	20-50	450	6,0

На основании данных табл. 1, были произведены расчеты исходных параметров сейсмических воздействий в зависимости от магнитуды M , гипоцентрального расстояния R и сейсмической интенсивности I .

В табл. 2 приведены параметры исходных сейсмических воздействий для места постановки СПБУ от трех наиболее опасных зон возникновения очагов землетрясений на грунтах II категории и поверхности условной скалы.

Таблица 2

Исходные сейсмические воздействия

Наименование зоны	Кат. грунтов	Макс. ускорение, $см/с^2$	Преобл. период, $T, с$	Продолжительность, $d, с$	Сейсмическая интенсивность I , балл
Махачкалинская	II	385	0,36	17	8,9
	I	191	0,31	13	7,9
Домен D0153	II	220	0,20	4	8,1
	I	110	0,17	3	7,1
Красноводская	II	50	1,1	45	6,0
	I	25	1,0	35	5,0

Расчет сейсмических воздействий

В плане геологического строения, литологического состава, состояния и физико-механических свойств, грунтовые условия площадки были отнесены к III категории по сейсмическим свойствам в соответствии с СП 14.13330.2014.

Следует также отметить, что «слабые» грунты мангышлакского вреза, проходящего значительно южнее места расположения СПБУ, характеризуются в пределах III категории относительно худшими условиями в сейсмическом отношении.

В отчете о сейсмическом микрорайонировании площадки «Хазри-1» и отчетах ИГЭ РАН по другим площадкам на шельфе Северного Каспия, приводились результаты изучения сейсмических колебаний на дне моря при помощи донных станций (выполнены ИО им. П.П. Ширшова РАН в 2004 г. на шельфе Черного моря). По результатам этих исследований было установлено, что при глубинах моря до 50-80 м закономерности реакции донных грунтов на колебания при землетрясениях практически не отличаются от реакции аналогичных грунтов на суше.

На первом этапе сейсмические воздействия, акселерограммы от близких, местных и удаленных землетрясений, рассчитывались отдельно в известной программе NERA [6], представляющей собой версию программы SHAKE.

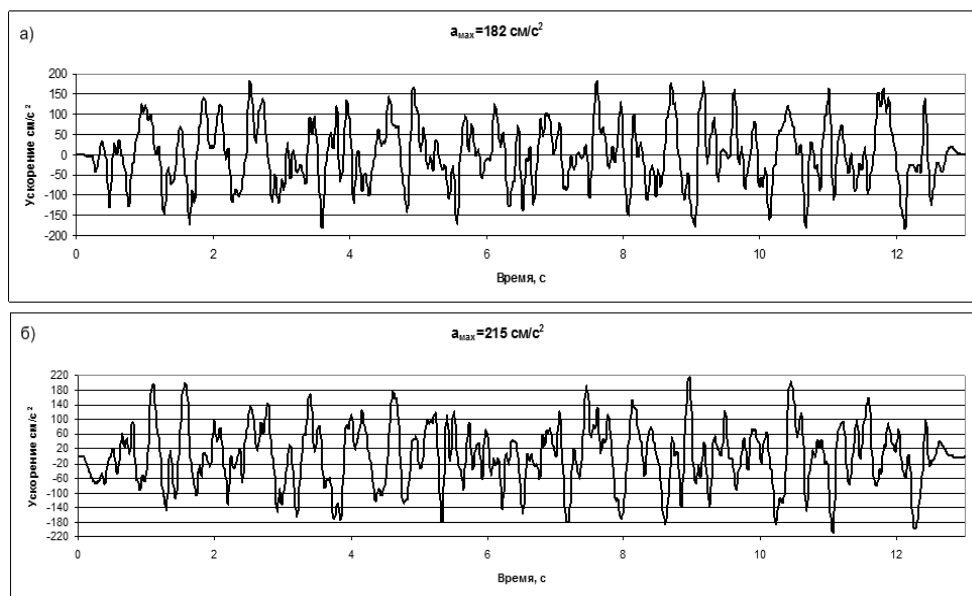


Рис. 1. Пример синтезированных акселерограмм, рассчитанных по обобщенному спектру реакции (горизонтальная компонента X):
а – для грунтов, соответствующих грунтам на месте постановки СПБУ;
б – для грунтов соответствующих мангышлакским врезам

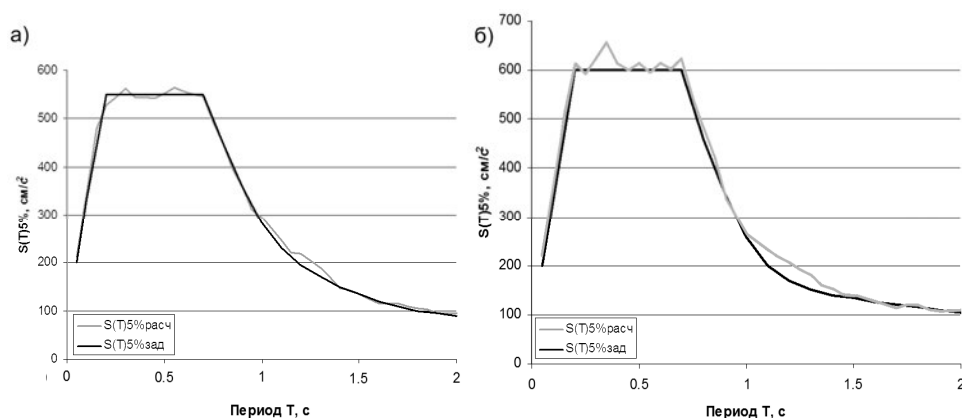


Рис. 2. Пример обобщенных спектров реакции для синтезирования акселерограмм (горизонтальная компонента X):
а – для грунтов, соответствующих грунтам на месте постановки СПБУ;
б – для грунтов соответствующих мангышлакским врезам

Второй этап расчетов, состоял в построении спектров синтезированных акселерограмм от наиболее опасных землетрясений из Махачкалинской зоны и домена D0153. В дальнейшем на их основе были построены обобщенные спектры и рассчитаны синтезированные акселерограммы (рис. 1), соответствующие этим обобщенным спектрам (рис. 2).

Расчётные величины ускорений на площадке исследований благодаря нелинейным явлениям в толще водонасыщенных песчаных и глинистых донных грунтов III категории мощностью около 90 м (благодаря эффекту демпфирования) соответствуют 7-8 баллам, а не 9-10 баллам по шкале MSK-64, как это предполагалось.

Результатом работ стал набор синтезированных акселерограмм (три компоненты колебаний X, Y, Z), учитывающий воздействие от опасных близких и местных зон ВОЗ как отдельно, так и вместе (общий), а в случае необходимости и набор землетрясений из Красноводской зоны со значительно меньшими ускорениями. Приводится аналогичный набор акселерограмм и для мангышлакских врезам.

В последующем полученный набор акселерограмм может быть применен для обеспечений сейсмической безопасности СПБУ.

Литература

1. Антикаев Ф.Ф. Инструментальная шкала сейсмической интенсивности. – М.: Наука и образование, 2012.
2. СП 14.13330.2014. Строительство в сейсмических районах (СНиП II-7-81*).

3. Уломов В.И. Вероятностно-деформационная оценка сейсмических воздействий на основе карт ОСР-97 и суммарных землетрясений // Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений. – 2005. – № 4. – С. 60-69.

4. Уломов В.И., Шумилина Л.С. Комплект карт общего сейсмического районирования территории РФ. ОСР-97. – М: ОИФЗ РАН, 1999. – 57 с.

5. Шебалин. Н.В. Очаги сильных землетрясений на территории СССР. – М.: Наука, 1974. – 54 с.

6. Bardet J. P., Tobita T., NERA: A computer program for Nonlinear Earthquake site Response Analyses of layered soil deposits. Univ. of Southern California, Los Angeles, 2001. 44 p.

ОТРАЖЕНИЕ СТРУКТУР КРИСТАЛЛИЧЕСКОГО ФУНДАМЕНТА АРХАНГЕЛЬСКОЙ АЛМАЗОНОСНОЙ ПРОВИНЦИИ В СОВРЕМЕННОМ РЕЛЬЕФЕ

Ю.Г. Кутинов^{1,2}, Е.В. Полякова^{1,2}, З.Б. Чистова¹, А.Л. Минеев¹

¹ Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики РАН,
163061, Архангельск, набережная Северной Двины, 23. E-mail: kutinov@fciarctic.ru

² Центр космического мониторинга Арктики Северного Арктического федерального
университета им. М.В. Ломоносова, 163002, Архангельск, набережная Северной Двины, 2/2/
E-mail: lenpo26@yandex.ru

Ограниченная обнаженность территории значительно затрудняет систематическое площадное изучение тектонического строения прямыми геологическими методами. Построенные разными авторами мелкомасштабные карты и схемы блоковой тектоники региона, несмотря на существенное сходство, несут и определенные принципиальные различия не только в определении генезиса и истории развития структур, но и в их пространственном размещении. Особенно наглядно это проявляется при сравнении карт, построенных по результатам дешифрирования космофото материалов и геоморфологических исследований, и карт интерпретации геопотенциальных полей. К тому же существует мнение, что после валдайского оледенения рельеф не достиг той стадии «зрелости», когда в нем проявляются тектонические нарушения фундамента и осадочного чехла. Вопрос этот имеет не только теоретическое, но и практическое значение, т.к. наследование и/или отсутствие оного позволяет сделать вывод и миграции глубинных флюидов, проникновении загрязняющих веществ по латерали и вертикали и возможной активизации разломов при разработке месторождений полезных ископаемых.

Данные о глубине залегания фундамента получены из «Карты рельефа поверхности фундамента» м-ба 1:1000000 [1, с. 50]. Процесс получения цифровой модели рельефа поверхности фундамента состоял из трех этапов: 1) сканирование исходного материала; 2) оцифровка изогипс глубин залегания фундамента; 3) создание цифровой модели глубины залегания в среде ESRI ArcGIS 10 с применением модуля *TopotoRaster*. Цифровая модель днев-

ного рельефа Архангельской области строилась на основе глобальной модели ASTERGDEMv.2, дополненной в областях разрыва данными GMTED2010. Методика построения подробно описана в [2].

Поскольку на территории области исследования высота рельефа земной поверхности измеряется десятками и сотнями метров, а глубина залегания фундамента – километрами, произвести анализ зависимости величин друг от друга графически представляется затруднительным. Поэтому было проведено математическое нормирование значений высот рельефа дневной поверхности $R(x)$ и глубин фундамента $F(x)$ в диапазоне от 0 до 1 по следующей формуле:

$$y' = \frac{y - y_{min}}{y_{max} - y_{min}}.$$

Пример нормирования по профилю приведен на рис. 1.

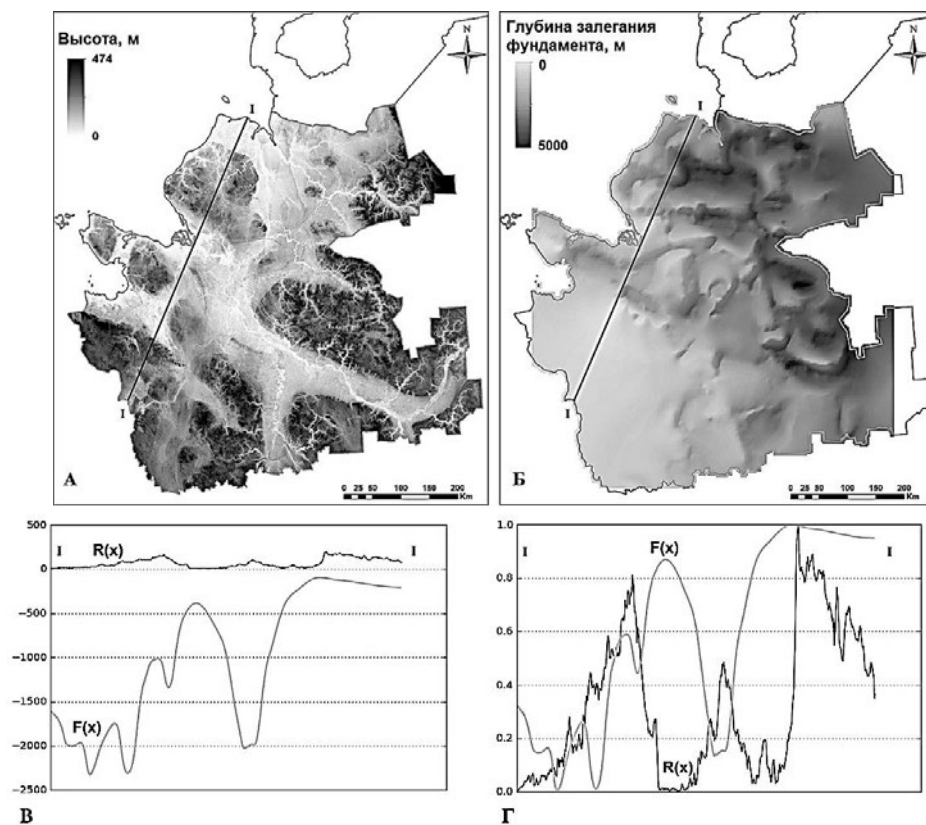


Рис. 1. Пример нормирования значений высот рельефа дневной поверхности и глубин фундамента по профилю:

A – цифровая модель рельефа на территорию Архангельской области;
B – цифровая модель рельефа поверхности фундамента; *В* – график значений по профилю I-I;
Г – график нормированных значений по профилю I-I

В результате получаем матрицу нормированных значений глубины залегания фундамента MF_n и матрицу нормированных значений высоты рельефа поверхности MR_n . Дальнейший анализ характера отражения структур фундамента в дневном рельефе осуществлялся на основе значений матриц разности ($M^- = MF_n - MR_n$) и суммы ($M^+ = MF_n + MR_n$). Значения разностей и сумм нормированных значений описывают определенные формы рельефа фундамента и дневной поверхности (рис. 2). При этом под **прямыми формами** будем понимать те участки области исследования, в которых одновременно с поднятием земной поверхности наблюдается поднятие фундамента или одновременно с опусканием земной поверхности наблюдается опускание фундамента (А, Б на рис. 2). Характеризовать эти формы будут значения матрицы M^+ , близкие к 0 или 2. Под **обратными формами** будем понимать те участки, в которых одновременно с поднятием земной поверхности наблюдается опускание фундамента или одновременно с опусканием земной поверхности наблюдается поднятие фундамента. Характеризовать эти формы будут значения матрицы M^- , близкие к 1 или -1.

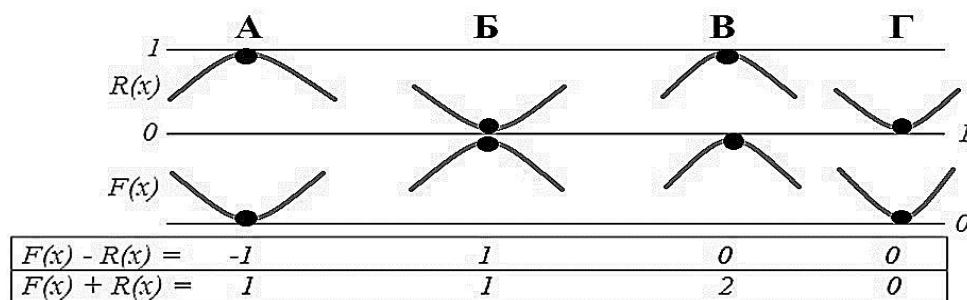


Рис. 2. Разность и сумма нормированных значений функций:
a, б – обратные (противоположные) формы; *в, г* – прямые (повторяющиеся) формы

Вначале стояла задача разделить область исследования на два типа форм (обратные и прямые). Для этого введено понятие абсолютной разницы нормированных значений матриц высоты земной поверхности и глубины залегания фундамента $M^{abs} = |MF_n - MR_n|$. Имея в виду такое обозначение, можно говорить, что:

- 1) значения матрицы абсолютной разности M^{abs} , приближающиеся к 1, будут соответствовать обратным формам;
- 2) значения матрицы абсолютной разности M^{abs} , приближающиеся к 0, будут соответствовать прямым формам (рис. 3).

Следует отметить, что прямой характер наследования имеет 61% территории области, обратный – 25%, районы, где наследования не отмечается, занимают 14% территории.

Далее ставилась задача выделения внутренней структуры форм.

Обратные формы по своей внутренней структуре делятся на два класса.

1) **впадина-выступ** – участки области исследования, в которых одновременно с опусканием фундамента наблюдается поднятие земной поверхности. Характеризуют эти участки значения матриц разницы, близкие к -1;

2) **выступ-впадина** – участки, в которых одновременно с поднятием фундамента наблюдается опускание земной поверхности. Этим участкам соответствуют значения матриц разности, близкие к 1.

Прямые формы в свою очередь так же делятся на два класса:

1) **выступ-выступ** – участки, в которых одновременно с поднятием фундамента наблюдается поднятие земной поверхности. Характеризуют эти участки значения матриц суммы, близкие к 2;

2) **впадина-впадина** – участки, в которых одновременно с опусканием фундамента наблюдается опускание земной поверхности. Им соответствуют значения матриц суммы, близкие к 0.

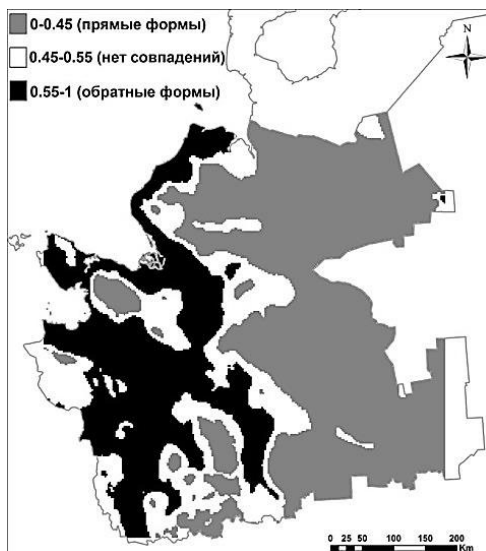


Рис. 3. Области прямых и обратных форм отражения фундамента в дневном рельефе

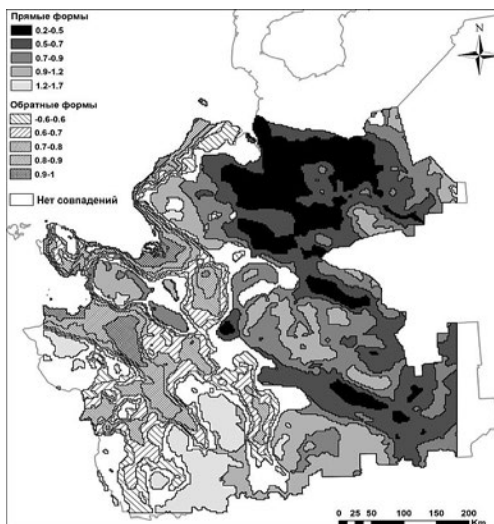


Рис. 4. Районирование территории Архангельской области по формам отражения структур фундамента в дневном рельефе

Комбинируя значения матриц разности и суммы таким способом, можно провести районирование исследуемой территории по формам отражения структур фундамента в дневном рельефе (рис. 4).

Предварительные результаты расчетов говорят о том, что проявления кимберлитового магматизма приурочены к прямым формам отражения структур фундамента в современном рельефе, структурно характеризующие-

ся как «выступ-выступ», что необходимо учитывать при поиске и разработке месторождений алмазов.

Исследование выполнено при финансовой поддержке ФАНО России, тема 0410-2014-0024 «Разработка комплексной физико-геоэкологической количественной модели взаимодействия (литосфера, гидросфера, биосфера, атмосфера и, частично, ионосфера) в районах тектонических узлов севера Русской плиты и оценка их влияния на окружающую среду».

Литература

1. Литосфера и гидросфера европейского Севера России. Геоэкологические проблемы. – Екатеринбург: УрО РАН, 2001. – 408 с.
2. Минеев А.Л., Полякова Е.В., Кутинов Ю.Г., Чистова З.Б. Методические аспекты создания цифровой модели рельефа Архангельской области на основе ASTER GDEM V. 2 // Современные проблемы науки и образования. – 2015. – № 2; URL: www.science-education.ru/129-21949

НЕОТЕКТОНИКА РАВНИННОГО КРЫМА В СВЯЗИ С ПРОБЛЕМАМИ ВОДОСНАБЖЕНИЯ И ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТЬЮ

**В.М. Макеев¹, Н.В. Макарова², А.Л. Бенедик³, И.В. Галицкая¹,
С.В. Козловский¹, Н.А. Гриднев³**

- ¹ Институт геоэкологии им. Е.М. Сергеева РАН (ИГЭ РАН),
101000, Москва, Уланский пер., д. 13, стр. 2, а/я 145. E-mail: vmakeev@mail.ru;
² Московский государственный университет (МГУ), геологический ф-т, 119991,
Москва, ГСП-1, Ленинские горы, д. 1. E-mail: vladim-makarov@yandex.ru;
³ ООО «ПК ГЕОСФЕРА», 142046, Домодедово Московской обл., мкр. Житнево,
ул. Лесная, д. 1в. E-mail: geosfera2@mail.ru

В современный период постоянно возрастающее техногенное воздействие на природную среду привело к обострению экологической ситуации, в том числе к значительному ухудшению качества поверхностных вод. В связи с этим существенно возросла роль подземных вод как ценного полезного ископаемого, имеющего стратегическое значение для обеспечения экологической безопасности страны. Особую значимость приобрели проблемы поиска и разведки месторождений пресных подземных вод и обоснование рациональной эксплуатации водозаборов для предотвращения загрязнения этих вод.

В северо-западной части Крымского полуострова (Черноморский, Раздольненский и Красноперекопский районы) подземные воды среднесармат-

ско-понтического водоносного комплекса являются основным источником водоснабжения населения пресными водами. Однако нерациональный водоотбор в ряде районов привел к увеличению минерализации подземных вод эксплуатируемого водоносного горизонта вследствие понижения уровня и подтягивания соленых вод из нижележащего водоносного горизонта и морских вод в прибрежной зоне. Особенно интенсивно повышение солености происходит при малой мощности горизонта пресных вод. В связи с этим особую актуальность приобретает проблема обоснования перспективных участков для организации водозаборов и разработка оптимального режима водоотбора.

В равнинном Крыму водоносный горизонт пресных вод приурочен к среднесарматско-понтическим известнякам, песчаным известнякам и песчаникам. Породы трещиноваты и часто являются закарстованными. Мощность этих отложений различная: она увеличивается с юга на север от 137 м до 245 м [3]. Глубина залегания отложений в значительной степени зависит от направленности плиоцен-четвертичных движений: на поднятиях кровля понтических отложения поднята до абсолютных отметок 50-60 м, в прогибах опущена до уровня моря и глубже. Соответственно водоносный горизонт также деформирован. Но новейшие движения не были устойчивыми во времени и в пространстве: опускания неоднократно сменялись поднятиями с образованием конседиментационных и постседиментационных складок. Некоторые поднятия появились в рельефе еще в среднем и позднем миоцене. Современные движения, приведшие к континентальному режиму развития и формированию рельефа, приходятся на плиоцен-четвертичное время. Территория поныне находится под влиянием восходящих движений, вследствие чего активизируются различные экзогенные геологические процессы, особенно карстово-суффозионные, оползневые, эрозия временных потоков и др.

Общая неотектоническая структура Крымского полуострова представляется в виде четырех субширотных протяженных блоков или ступеней, в плане несколько сдвинутых относительно друг друга к востоку (рис. 1) [5, 6].

С севера на юг это Тарханкутско-Джанкойский (I), Новоселовский (II), Каламитско-Арабатский (III) и Горнокрымский (IV) блоки. Они разделяются линеаментами, отражающими глубинные разломы, движение по которым, возможно, происходило и в новейшее время. Равнинный Крым расположен в пределах трех северных блоков. Для них характерно общее снижение поверхности (рельефа) с юга на север и с запада на восток. Северные части блоков опущены относительно южных, и к ним приурочены вдающиеся в сушу заливы и озера. Восточные наиболее низкие части блоков находятся в пределах западных замыканий Индоло-Кубанского и Сивашского прогибов, испытывающих опускание и в четвертичное время. Границей перегиба рельефа между поднятой западной частью равнинного Крыма и восточной частью относительно опущенной является меридиональный транзитный Центрально-Крымский линеамент, отражающий глубинный разлом, выраженный в релье-

фе Мохо [7]. На поверхности ему соответствует пологий водораздел-вал, определяющий сток атмосферных вод к западу и востоку.

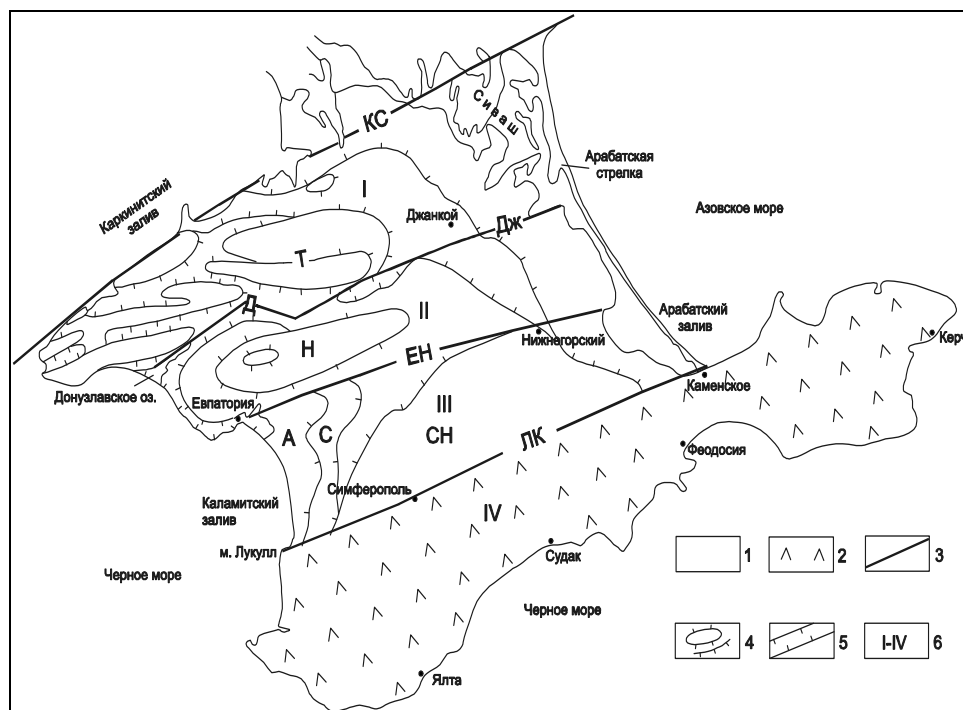


Рис. 1. Неотектоническое строение равнинного Крыма [6]:

1 – равнинный Крым; 2 – Горный Крым и Керченский полуостров; 3 – основные линеаменты; 4-5 – новейшие структуры: 4 – поднятия, 5 – прогибы; 6 – номера блоков.

Линеаменты: КС – Каркинитско-Сивашский, Д – Донузлавский, Дж – Джанкойский, ЕН – Евпаторийско-Нижнегорский, ЛК – Лукулльско-Каменский.

Поднятия: Т – Тарханкутское, Н – Новоселовское, С – Сакское, СН – Симферопольско-Новоцарицинское, А – Альминский прогиб

Существование широтных блоков подтверждается геологическими данными: приподнятым положением палеозойского основания, уменьшением мощности меловых и кайнозойских отложений, в том числе четвертичных, по сравнению с относительно опущенными их частями и прилежащими прогибами.

Тарханкутско-Джанкойский блок (I) с севера ограничен Каркинитским заливом, наследующим одноименный грабен, отделяющий эпипалеозойскую Скифскую плиту, являющуюся основанием равнинного Крыма, от расположенной к северу Восточно-Европейской докембрийской платформы. Каркинитско-Сивашский линеамент (КС) отражает флексуру, по которой докембрийский фундамент погружается с севера на юг на глубину до 12 км. С юга

блок ограничен Донузлавским (Д) на западе и Джанкойским (Дж) на востоке линейными, также соответствующими глубинным разломам [1]. Восточная часть блока снижается по пологим ступеням к востоку к Сивашскому прогибу.

Новоселовский блок (П) в плане смещен к востоку относительно северного. Северная пониженная его часть с Донузлавским озером согласуется с узким мезозойским грабеном, выполненным триасовыми и юрскими отложениями. В новейшее время по нему заложилась Донузлавско-Войковская синклиналь, разделяющая Новоселовское и Тарханкутское поднятия. Южной границей блока является Евпаторийско-Нижнегорский линейный элемент (ЕН), согласующийся с глубинной дислокацией. Она контролировала формирование платформенного чехла на всех этапах геологической истории [2]. Новоселовское поднятие является южноасимметричным, конседиментационно развивающимся с позднего мела. В рельефе проявилось в позднем миоцене. Отделяющая его от Тарханкутского поднятия синклиналь, к которой приурочен Донузлавский залив, постепенно выклинивается к востоку.

Залегание водоносных горизонтов во многом зависит от локальных структур, осложняющих протяженные блоки. Новейшая структура Тарханкутского и Новоселовского блоков представлена локальными поднятиями и прогибами. В Тарханкутском блоке повышенные западную и центральную части занимает новейшее одноименное поднятие (вал) (Т) или Тарханкутская зона дислокаций [2, 3]. Поднятие состоит из нескольких субширотных структурных зон, объединяющих многочисленные локальные поднятия и прогибы, являющиеся прямым отражением антиклинальных и синклинальных складок. Строение этих складок детально освещено в работах, связанных с разведкой месторождений нефти, газа и поисками пресной воды.

Формирование наиболее крупных складок началось в позднем меле. Большая их часть развивалась конседиментационно, и они асимметричны: южные крылья круче северных. Геодинамическая обстановка их формирования неоднократно менялась, вследствие чего отмечаются смещение осей складок по разным горизонтам в основном к югу или северу и размывы. В рельефе складки появились в разное время, наиболее крупные – в среднем и позднем миоцене, менее крупные в эо- и неоплейстоцене. Стадийное развитие складок отражено в ступенчатом строении их крыльев-склонов.

Субширотные зоны поднятий и прогибов сочленяются кулисно. В Кельшейской меридиональной зоне происходит левосдвиговое смещение кулис. В целом особенности строения поднятий и прогибов, отражающих антиклинали и синклинали, их асимметрия, кулисное расположение предполагают развитие новейшей структуры в условиях субмеридионального сжатия при участии сдвиговых напряжений. Южноасимметричное строение блоков, сходно с общим куэстовым строением северного крыла Крымского мегантиклинория. Эта асимметрия определяет поведение подземных вод: их движение происходит преимущественно на север и юг по уклонам крыльев поднятий. Оси прогибов, наклонные с востока на запад, также способствуют потоку подземных вод в западном направлении.

Значительный интерес представляет исследование приуроченности пресных подземных вод к зонам активных разломов, по которым, как предполагается, осуществляется их транзит из горной части Крыма (рис. 2).

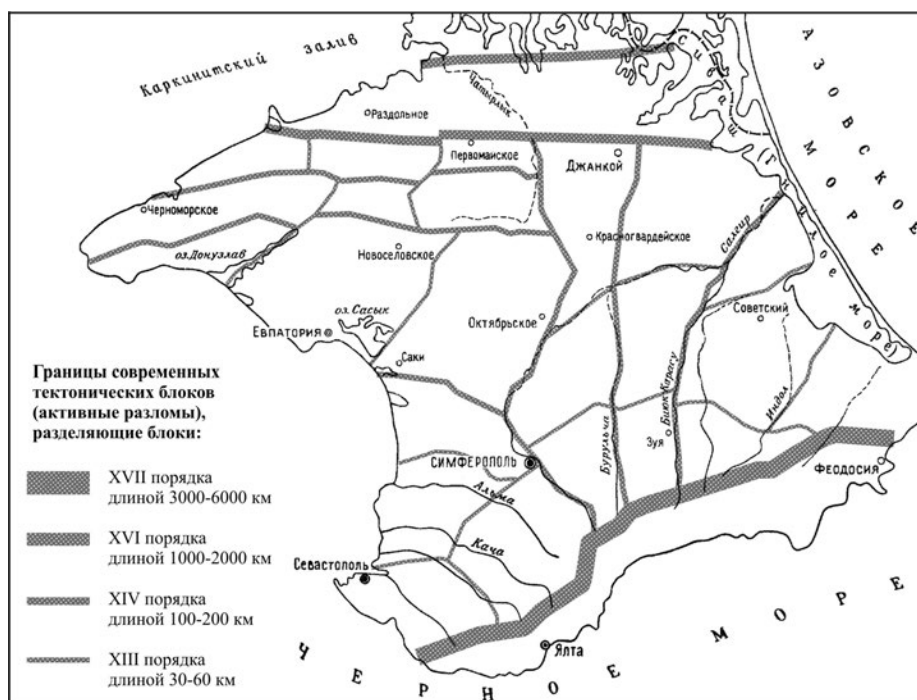


Рис. 2. Предварительная карта современных тектонических блоков и активных разломов полуострова Крым [1]

В основу этих исследований положена дискретно-иерархическая блочная модель, которая учитывает свойства иерархичности и самоподобия блочной системы земной коры как дискретной среды [1]. Согласно модели, каждый блок состоит из более мелких блоков, сам являясь частью более крупного блока. Длина блоков не произвольная, а формирует дискретный ряд. Длина блоков определяет их порядок. Границы между блоками являются разломными зонами. Блочная структура выделяется по картам рельефа, космо-аэрофотоснимкам и геофизическим данным.

Разломы фиксируются в фундаменте и в осадочном платформенном чехле, они деформируют в основном меловые отложения, но не прослеживаются в новейших отложениях, и, тем не менее, линейamentные зоны, согласованные с ними, представляют собой зоны повышенной трещиноватости и проницаемости. Анализ скважин, расположенных в пределах этих зон, показывает, что в них установлено наличие пресной воды [1, 4]. Поэтому дополнительными участками поиска воды могут служить эти зоны.

Таким образом, интенсивное экономическое развитие равнинного Крыма невозможно без привлечения дополнительных ресурсов пресной подземной воды. Для поиска перспективных участков разработан концептуальный подход, согласно которому эти участки могут находиться в пределах разломных зон, прогибов, зон повышенной трещиноватости и линейментов, т.е. в зонах интенсивных современных деформаций. Предварительные исследования показывают на связь пресной воды с этими структурами, что важно в условиях, когда ее известные запасы крайне ограничены для использования. Нерациональная и неконтролируемая эксплуатация подземных вод приведет к деградации запасов, их быстрому засолению, потерям имеющихся водозаборов и экологическому бедствию. Здесь нужен государственный подход, направленный на сохранение и рациональное использование имеющихся пресных вод и на открытие новых запасов.

Литература

1. Бенедик А.Л., Иванов А.В., Кочарян Г.Г. Построение структурных моделей участков земной коры на разном иерархическом уровне // Физ.-техн. пробл. разработки полезных ископаемых. – 1995. – № 5. – С. 31-42.
2. Геологическая карта СССР масштаба 1:200 000. Серия Крымская. – Киев, 1973.
3. Геология СССР. – Т. VIII. – Ч. 1. Равнинный Крым. – 1969. – С. 397-443.
4. Гидрогеология СССР. – Т. VIII. Крым. – М.: Недра, 1970.
5. Кац Я.Г., Макарова Н.В., Козлов В.В., Трофимов Д.М. Структурно-геоморфологический анализ Крыма по дешифрированию космоснимков // Изв. Вузов. Геол. и разв. – 1981. – № 3. – С. 8-20.
6. Макарова Н.В., Суханова Т.В. Неотектоническое строение равнинного Крыма // Тектоника и геодинамика континентальной и океанической литосферы: общие и региональные аспекты. Мат-лы XLVII Тектонич. совещ. – М.: ГЕОС, 2015. – Т. 1. – С. 276-280.
7. Соллогуб В.Б., Соллогуб Н.В. Строение земной коры Крымского полуострова // Сов. геология. – 1977. – № 3.

ФОРМИРОВАНИЕ И ОСОБЕННОСТИ СТРУКТУРНО-ТЕКТОНИЧЕСКОГО ПЛАНА ТЕРРИТОРИИ ВЕРХНЕКАМСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ КАЛИЙНЫХ СОЛЕЙ В ПЕРМСКОМ КРАЕ

Ю.А. Мамаев, А.А. Ястребов

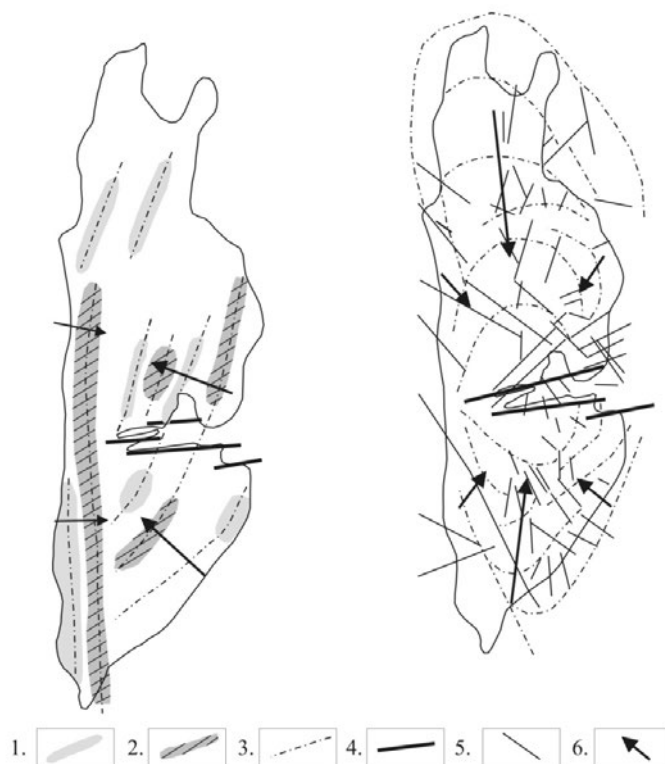
Институт геоэкологии им. Е.М. Сергеева РАН, 101000, Москва, Уланский пер. д. 13, стр. 2.

Территория Соликамско-Березниковской градопромышленной агломерации (СБ ГПА) расположена в центре Пермского края РФ в пределах Верхнекамского месторождения калийных солей (ВКМКС), границы которого близко совпадают с границами Соликамской впадины. Последняя располагается в центральной части Предуральяского краевого прогиба, занимающего

граничное положение между глобальными геологическими структурами: Восточно-Европейской платформой и Уральской складчатой областью. Рассматриваемая территория характеризуется повышенной тектонической активностью и наивысшей сейсмичностью для всей Восточно-Европейской платформы и Урала [3]. В геологическом строении территории ВКМКС принимают участие породы палеозоя, мезозоя и кайнозоя, перекрывающиеся с поверхности четвертичными образованиями элювиального, флювиогляциального, аллювиального, делювиального генезиса, а также покровными лессовидными отложениями сложного происхождения. Основное значение здесь имеют коренные породы пермского возраста, сформировавшиеся более 300 млн. лет назад, залегающие с поверхности и вмещающие продуктивные пласты калийных солей, разрабатываемые подземными выработками. Анализ полного геологического разреза восточного обрамления Восточно-Европейской платформы показывает, что данная территория претерпела несколько тектонических циклов, сопоставимых с беломорской, карельской, кадомской, каледонской, герцинской и альпийской фазами горообразовательных процессов [2]. Наиболее важными с точки зрения формирования структурно-геоморфологических особенностей территории ВКМКС являются герцинский и альпийский этапы развития. В герцинский период (каменноугольное время) формируются: Уральская складчатая система с сетью региональных тектонических нарушений, преимущественно, надвигов и Предуральская депрессия. Закладывается субмеридианальная Верхнекамская впадина, прогибание и заполнение которой продолжается в пермское, триасовое и юрское время. В поздне триасово-раннеюрский период происходит активизация тектонической деятельности на Урале, которая привела к существенной трансформации складчатых сооружений Урала, трансгрессии моря в Верхнекамскую впадину, развитию траппового магматизма в Зауралье и Западной Сибири.

Новейшие тектонические движения начались между миоценом и плиоценом и проявились в виде блоковых подвижек вдоль ранее существовавших разломов, вызвавших значительные изменения в рельефе территории и рисунке гидрографической сети. Они происходили на Урале, в Предуральском прогибе в краевой части Восточно-Европейской платформы на Камском, Пермском, Башкирском сводах и Уфимском плато [4]. При этом на рассматриваемой территории формируются неотектонические поднятия и депрессии субмеридионального направления (рис. 1), что может обуславливаться субширотным сжатием. В это же время активизируются линеаментные зоны диагональных направлений (С-З и С-В), совпадающие с ориентацией общепланетарной сети линеаментов.

В настоящее время территория ВКМКС является сложнопостроенной субрегиональной структурой слоистого строения, испытывающей горизонтальное сжатие со стороны граничащих с ней дислоцированных складчатых структур Урала и Восточно-Европейской платформы.



Складки: 1 - антиклинальные; 2 - синклиналиные; 3 - оси положительных и отрицательных структур; 4 - субширотная система сдвигов в соляной залежи; 5 - линеаменты на земной поверхности; 6 - направления деформаций соляных и надсоляных толщ.

Рис. 1. Схемы воздействий тектонических сил, проявленных структурах ВКМКС

Горизонтальное сжатие соляной толщи большой мощности (до 600 м и больше) приводит к формированию внутри ее зон надвигов, складчатости и трещиноватости, а в кровле – образованию валообразных и купольных поднятий и мульдообразных впадин. Причем, формирование поверхностных структур в кровле соляной толщи, предположительно, происходит не за счет адвекционной соляной тектоники (галокинеза), вызванной отжатием масс из прогибов в сторону куполовидных поднятий, а путем медленного выдавливания (перетока) солей в пространства между осями максимального горизонтального сжатия с образованием складчатости [2].

Здесь выявлено несколько направлений сжатия неуральской ориентировки, позволяющих говорить о неоднократном перераспределении напряжений и деформаций в пределах соляной толщи. О многократном деформировании соляных пластов свидетельствуют специфические ориентировки скла-

док: параллельная, пересекающаяся, радиально-концентрическая, S-образная, вихревая). Их простирание отражает неоднородный характер распределения напряжений в массивах соляных пород.

Пластические деформации толщи и кровли соляных пород отражаются на строении массивов терригенно-карбонатных пород надсоляной толщи, определяя пространственное положение складчатых и разрывных структур. С поверхности массивы пород надсоляной толщи имеют сложный структурно-тектонический план. Геологами, преимущественно, уральских организаций: Р.Н. Валеева (1974, 1976), Г.Г. Кассин (1985, 1991), Л.Д. Нояксова (1990), А.И. Петрик (1998), Н.М. Джиноридзе и др. (2000), Т.В. Харитонов (1992, 2002), В.Е. Васильев (2004, 2013), В.В. Белкин (2005), И.И. Чайковский (2014) и А.И. Кудряшев и другие, на рассматриваемой территории выявлены многочисленные разновозрастные разрывные нарушения разных порядков, сформировавшие разноуровневую разломно-блоковую структуру массивов коренных пород. По тектоническим нарушениям происходят дифференцированные по интенсивности и направленности движения блоков. По всей рассматриваемой территории отмечается разновысотное залегание маркирующих горизонтов (солевых пластов) даже в пределах смежных территорий (блоков). Разница в отметках залегания маркирующих горизонтов достигает 160 м. Здесь выделяются системы тектонических нарушений, следующих простираний: субмеридиональная – север 350 – 150; субширотная – Восток 80-1120; Северо-Западная 310-3250. Очевидно, существуют и другие системы тектонических нарушений более высоких порядков.

Выполненные сотрудниками ИГЭ РАН дистанционные дешифровочные, инженерно-геологические и структурно-геоморфологические исследования данной территории, позволили уточнить и дополнить представления о тектонических условиях района. В частности, установлено несколько субширотных зон сдвиговых нарушений, делящих территорию ВКМКС в меридиональном направлении на отдельные блоки (рис. 2).

На рассматриваемой территории дизъюнктивные структуры по механизму развития, пространственному положению и масштабам проявления подразделяются на:

– Крупные регионального плана субмеридиональные зоны разломов преимущественно типа сбросов и взбросов с большими амплитудами вертикальных смещений отдельных блоков. Они характеризуются большой протяженностью (десятки км) и значительными зонами влияния с повышенной трещиноватостью пород от нескольких сотен метров до первых километров. Часто образуют структурные узлы сопряжения и пересечения тектонических нарушений, в пределах которых активно развиваются фильтрационные, суффозионно-карстовые и деформационные процессы, обуславливающие образование участков оседания и провалы земной поверхности над подработанным пространством.







-  - Крупные региональные субмеридиональные зоны разломов типа сбросов и взбросов;
-  - Локальные субширотные зоны сдвиговых горизонтальных смещений вдоль разломов;
-  - Структурные блоки территории ВКМКС;  - Граница залежи калийных солей.

Рис. 2. Обзорная структурно-тектоническая схема территории ВКМКС

– Локальные субширотные зоны сдвиговых смещений (типа трансформных), преимущественно, с горизонтальным смещением блоков вдоль разломов и небольшими вертикальными сбросами. Имеют протяженность до 15-20 км и ширину – первые километры. В рельефе к ним приурочены впадины и низины, часто, с долинами рек, русла которых имеют спрямленные и (или) круто изогнутые (ломающиеся) под острыми углами участки. Установлено около шести субширотных сдвиговых зон, самой крупной из которых является Дуринская, расположенная в центральной части ВКМКС.

– Локальные линейно вытянутые зоны сгущения тектонических нарушений с повышенной трещиноватостью и раздробленностью массивов коренных пород надсоляной толщи. Данные зоны являются областями активного развития фильтрационных, гипергенных и деформационных процессов. В этих зонах происходит интенсивное растворение и выщелачивание горных пород соляной формации с активизацией карстово-суффозионных процессов, что обуславливает изменение плотности сложения и пустотности массивов пород, их физико-механических свойств, а также напряженно-деформированного состояния, при снижении несущей способности пород.

– Одиночные тектонические нарушения широко и равномерно распространены на рассматриваемой территории. Представлены субвертикальными крупными трещинами и разломами, секущими надсоляную толщу пород. Трещины имеют разные азимуты простирания, часто оперяя или тяготея к зонам крупных субрегиональных разломов и (или) субширотных сдвиговых зон.

В геологическом разрезе соляной толщи территории ВКМКС выделяются крупные региональные субмеридианальные зоны надвигов (Усольский, Соликамский, Троицкий) со значительными (сотни метров) сдвиговыми горизонтальными смещениями по напластованию солей. Протяженность надвиговых зон в субмеридиональном направлении до 40-50 км, а ширина, в проекции на дневную поверхность, от 1-2 до 4 км. В толщах: покровной каменной соли (ПКС), калийной залежи (КЗ) и подстилающей каменной соли (ПдКС) углы падения кулисообразно залегающих сместителей изменяются от $8-12^{\circ}$ до 45° . Региональные надвиги согласуются по простиранию с Красноуфимской разломной зоной и Камским прогибом. Они пересекают субширотные сдвиговые зоны и тектонические дислокации, локализованные внутри отдельных блоков.

Изучение тектонических структур на территории ВКМКС и факторов, изменяющих их морфологию, фильтрационные и геомеханические свойства имеет важное значение для оценки и прогнозирования условий подземной отработки залежи калийных солей. Неправильно выбранные технологические схемы расположения горных выработок, их размеров, последовательности, объемов и скорости отработки могут активизировать, усилить опасные процессы, а оптимальные – позволят минимизировать возможные опасности и вызванные ими риски.

Литература

1. *Белкин В.В.* Техногенная трансформация геологической среды Верхнекамского соленосного бассейна: автореф. дис. ... докт. геол.-мин. наук. – Екатеринбург, 2010.
2. Геологические памятники Пермского края: Энциклопедия / Под общ. ред. И.И. Чайковского; Горный институт УрО РАН. – Пермь, 2009. – 616 с.
3. Инженерная геология СССР: В 8 т. – Т. 1. Русская платформа. – М.: Изд-во МГУ, 1978. – 528 с.
4. *Кудряшов А.И.* Верхнекамское месторождение солей. 2-е изд., перераб. – М.: ООО «РПФ» Эпсилон Плюс, 2013.

ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ РАЙОНИРОВАНИЕ ТЕРРИТОРИИ СОЛИКАМСКИХ РУДНИКОВ В ПЕРМСКОМ КРАЕ ДЛЯ ОЦЕНКИ УСЛОВИЙ СТРОИТЕЛЬСТВА И ЭКСПЛУАТАЦИИ НАЗЕМНЫХ КАПИТАЛЬНЫХ ОБЪЕКТОВ

Ю.А. Мамаев, А.А. Ястребов

Институт геоэкологии им. Е.М. Сергеева РАН, 101000, Москва, Уланский пер. д. 13, стр. 2.

Инженерно-геологические условия территории Соликамско-Березниковской градопромышленной агломерации (СБ ГПА), включая ее северную часть – территорию г. Соликамска и прилегающих районов шахтных полей калийных рудников, являются сложными. Это обуславливается весьма пестрым петрографическим составом переслаивающихся горных пород терригенной, карбонатной и галогенной формаций нижнепермского возраста; сложным структурно-тектоническим планом территории с разломно-блоковой структурой массивов пород; тесной гидравлической связью поверхностных и подземных вод, имеющих разный химический состав и минерализацию; комплексом опасных геологических процессов, активность которых определяется как природными, так и техногенными факторами. К группе природных факторов относятся сейсмические воздействия силой от 2-3 до 4-6 баллов, тектонические движения блоков по зонам тектонических нарушений, гипергенез массивов горных пород на глубину до 80 м и более, обусловленный разгрузкой, трещинообразованием, выветриванием и выщелачиванием пород, эрозионные и карстово-суффозионные процессы, а также процессы растворения, массопереноса и переотложения растворимых пород, и другие. Техногенные факторы развития опасных геологических процессов включают: создание подземных горных выработок в залежи калийных солей с большим суммарным объемом (млн м³), наведенную сейсмичность до 3-4,5 баллов, создание крупных водных объектов, долговременные откачки нефти и подземных вод, химическое загрязнение природной среды.

Карты инженерно-геологического районирования являются комплексными обобщающими материалами, синтезирующими разноплановую геологическую информацию, необходимую для оценки условий хозяйственного использования территорий [1].

Карты районирования подразделяются на карты целевого тематического районирования (карты карстовой, оползневой опасности, несущей способности грунтов и др.) и общего назначения для всех видов строительства [2]. Составленные карты инженерно-геологического районирования территории Соликамского района Пермского края масштабов 1:50000 и 1:25000 относятся к разряду карт общего назначения, которые разрабатывались для целей оценки и сравнения условий строительства и эксплуатации объектов наземного капитального строительства разного назначения. Методика составления данных карт отличается комплексностью применения элементов нескольких методик инженерно-геологического районирования, в том числе, индивидуального (генетико-морфологического), типологического и оценочно-сравнительного районирования.













Выделение наиболее крупных таксонов, а именно: регионов (по структурно-тектоническим признакам) и областей (по геоморфологическим признакам) выполнялось по методике индивидуального однорядного районирования. В пределах субглобальной структуры кристаллического фундамента – Предуральского краевого прогиба выделены: регион 3-го порядка – Соликамская впадина и фрагменты двух более мелких регионов 4-го порядка – Камского прогиба и Соликамско-Березниковского поднятия. Сравнительно небольшие размеры картографируемой территории обусловили выделение в пределах названных выше регионов по структурно-геоморфологическим признакам двух инженерно-геологических областей. Это область 1 – долина р. Камы и устьевых частей её крупных притоков рек Боровой, Усолки, Поповки и других, и область 2, включающая структурные возвышенные водораздельные выположенные равнины Соликамского поднятия, расчлененные долинами малых рек и крупных оврагов. В пределах областей по геологическим признакам, а именно: условиям формирования и составу литолого-генетических комплексов четвертичных пород выделены инженерно-геологические районы.

В границах области I – районы соответствуют разновозрастным аллювиальным образованиям с разными высотными отметками поверхности, условиями формирования, составом, состоянием и свойствами пород.



В границах области II – районы выделены по генезису и составу четвертичных отложений: районы развития элювиальных, делювиальных, гляциальных, флювиогляциальных, пролювиальных отложений. В целом, на рассматриваемой территории четвертичные отложения имеют большое распространение. Все они относятся к образованиям континентального типа. Их возраст колеблется от среднего плейстоцена до голоцена. Мощность четвертичных отложений изменяется от 1-2 м до 20 м и более. Широко распространены современные техногенные отложения.

Условные обозначения:

I. Инженерно-геологические таксоны

-  II-A, II-B
Низкосы и границы районов
-  II-A-a, II-B-b
Низкосы и границы участков
-  2.4-0.5-2
Амплитуды колебания УГВ на участках, в метрах
- 
Зоны оседания земной поверхности над подработанными территориями с суммарными вертикальными деформациями, в метрах
- 
Участок современного оседания поверхности земли в 1995 г., с провалом 2014 г
- 
Границы городской застройки на техногенных грунтах
- 
Границы подработанных территорий
- 
Зарегистрированные эпицентры землетрясений (природных и техногенных)
- 
III. Геологические условия для наземного капитального строительства
-  <0,5 м
Благоприятные. Возвышенные водораздельные поверхности с маломощным чехлом четвертичных отложений и малыми амплитудами колебаний УГВ, в метрах
-  0,5-2 м
Условно благоприятные. Эрозионно-деградированные пологие склоны и возвышения перекрытые чехлом делювиальных и флювиогляциальных отложений (средние амплитуды колебания УГВ)
-  2-4 м и более
Неблагоприятные. Побочы и низкие террасы рек затопляемые и подтопляемые (с большими амплитудами колебаний УГВ)

III. Прочие обозначения

-  250
Горные выработки и их номера
- 
Реки

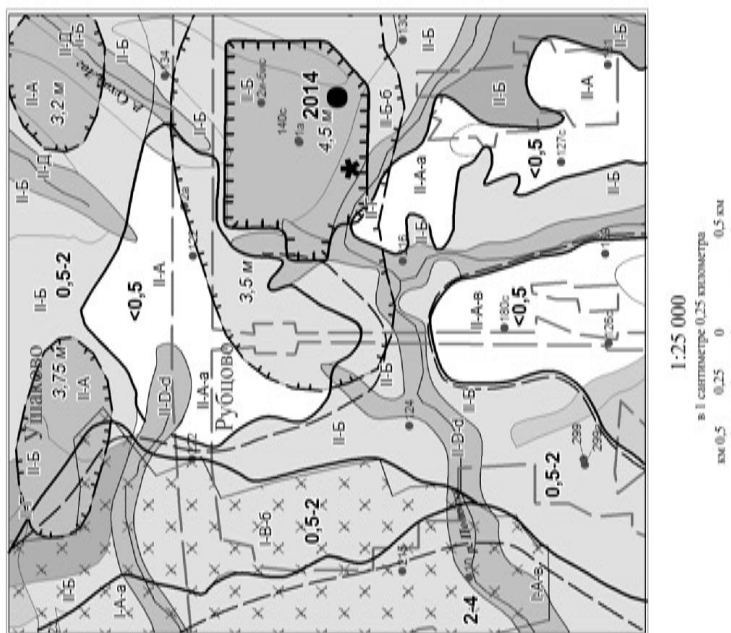


Рис. 1. Фрагмент карты инженерно-геологического районирования территории Соликамского района Пермского края

Выделение на картах инженерно-геологических районов проводилось по типологическому принципу, когда на основе типизации ведущих признаков (в нашем случае – это особенности геологической среды, т.е. генезиса, состава, состояния и свойств горных пород в условиях их естественного залегания) обособляются территориальные элементы, обладающие общностью как геологических условий, так и различных видов техногенных воздействий, что позволяет оценивать их устойчивость к воздействиям природного и техногенного характера. С целью детализации картографической информации, и доведения районирования территории до уровня инженерно-геологических участков, традиционно, выделяемых по гидрогеологическому признаку (условиям), составлена карта инженерно-геологического районирования территории Соликамского района Пермского края в масштабе 1:25000 в границах гидрогеологической математической модели, на которой изучались возможные изменения гидрогеологических условий данной территории при образовании максимально высокого уровня воды в Камском водохранилище (112 м), в результате климатической аномалии. На данной карте показаны участки с разными амплитудами возможных колебаний уровней подземных вод в период максимального подпора водохранилища, и обусловленными этим процессами затопления и подтопления территорий. На карте выделены и проиндексированы участки, где при климатической гидрологической аномалии колебания уровней подземных вод будут составлять:

- менее 0,5 м: неподтопленные участки, благоприятные для наземного капитального строительства;
- 0,5 – 2 м: слабо и средне подтопленные участки, условно благоприятные;
- 2 – 4 м: сильно подтопленные участки, неблагоприятные;
- 4 – 8 м: затопляемые территории, весьма неблагоприятные (опасные) для строительства.

Итоговая оценка таксонов по условиям пригодности для строительства наземных капитальных объектов осуществлялась по оценочно-сравнительному принципу. На обобщающей (синтезированной) карте показаны территориальные выделы (районы и участки) благоприятные, неблагоприятные и опасные по современным условиям строительства, в частности, развитию опасных геологических процессов. На данной карте территории с благоприятными условиями строительства капитальных объектов показаны зеленым цветом, с условно благоприятными – желтым, неблагоприятными и опасными условиями – красным.

Составление данных карт районирования выполнялось на основе последовательного совмещенного анализа информации, содержащейся на тематических геологических картах территории: структурно-тектонической, геологической, геоморфологической, гидрогеологической, инженерно-геологических условий и др. Современное состояние компонентов геологической среды, в том числе развитие экзогенных геологических процессов анализировалось по данным визуальных наблюдений, дешифрированию космофотоснимков, результатам комплексных мониторинговых исследований, выполненных, преимущественно, уральскими геологическими органи-

зациями. На основе приведенных выше методических приемов построения карт, а также информации, необходимой для оценки инженерно-геологических условий территориальных выделов, разработаны легенды и макеты карт инженерно-геологического районирования территории масштаба 1:50000 и 1:25000 (рис. 1). В экспликациях к картам дается описание инженерно-геологических условий выделенных таксонов: регионов, областей, районов и участков, с характеристикой опасных геологических процессов. На картах показаны участки развития процессов: периодического подтопления и затопления водами Камского водохранилища, овражной и береговой эрозии, оседания земной поверхности на подработанных участках, провал поверхности земли 2014 г. и др.

Составленные карты являются наглядной, объективной и достаточно точной основой для накопления и анализа фактических данных, составления прогнозов возможного развития опасных процессов, принятия административных, планирующих или инженерных мер, направленных на минимизацию природных рисков и ущербов.

Литература

1. Голодковская Г.А., Елисеев Ю.Б. Геологическая среда промышленных регионов. – М.: Недра, 1989. – 220 с.
2. Трофимов В.Т., Красилова Н.С. Инженерно-геологические карты. – М.: ООО «Издательство «КДУ», 2007. – 383 с.

ПРИМЕНЕНИЕ ОРОТЕКТОНИЧЕСКОГО МЕТОДА ПРИ ПОИСКАХ РОССЫПНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ В ДОЛИНАХ ГОРНЫХ РЕК

С.А. Несмеянов

Институт геоэкологии им. Е.М. Сергеева РАН, Москва, Уланский переулок, дом 13, стр. 2.

Оротектонический метод, предусматривающий возрастное расчленение рельефа, анализ преобразования речных долин и строения разновозрастного аллювия, должен использоваться при поисках россыпных месторождений. При этом развитие долин в неоплейстоцене определяется последовательной сменой сокращающихся по продолжительности, т.е. разномасштабных эрозионно-аккумулятивных циклов, имеющих тектоно-климатическую природу [4, 6, 7].

Характерной чертой поперечного сечения речных долин является его ступенчатость – террасированность или ярусность. Она отражает последовательность эрозионно-аккумулятивных циклов в ходе углубления долин, обусловленного импульсивностью орогенеза или эвстатических колебаний уровня моря.

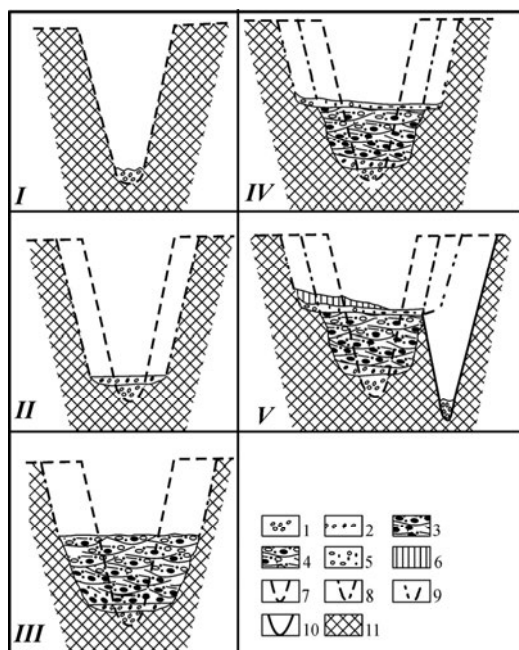


Рис. 1. Схема последовательности формирования цикловой террасы (по [3] с небольшими изменениями [5]):

Стадии: I – инстративная;
II – субстративная; III – констративная;
IV – перстративная; V – инстративная следующего цикла.

1 – галечно-валунные отложения с глинисто-песчаным заполнителем;
2 – базальные бурые конгломераты и валунные галечники; 3 – серовато-бурые крепко сцементированные линзовидно-слоистые конгломераты и галечники; 4 – буровато-серые слабо сцементированные конгломераты и галечники; 5 – серые рыхлые (сыпучие) галечники с песком;
6 – пролювиально-делювиальные покровные отложения; 7-10 – контуры эрозионных врезов разных стадий цикла:
7 – инстративной, 8 – субстративной и констративной, 9 – перстративной, 10 – инстративной следующего цикла;
11 – коренной цоколь

Значительную роль играют представления о динамических фазах преобразования строения долины и накапливающегося в ней аллювия в каждом эрозионно-аккумулятивном цикле [3]. Формирование цикловой террасы расчленяется при этом на четыре стадии с самостоятельными формой и границами частных эрозионных врезов и своеобразными динамическими фазами руслового аллювия: инстративную, субстративную, констративную и перстративную (рис. 1).

Инстративная стадия обусловлена максимальной глубинной эрозией, когда днище узкого (у крупных рек шириной 50-150 м) вреза выполняется тальвеговым аллювием – валунно-галечными плохо сортированными и окатанными, рыхлыми или слабо и неравномерно сцементированными отложениями с большим содержанием гравийно-песчано-суглинистого заполнителя. *Субстративная стадия* обусловлена боковой эрозией (“речной абразией”), формирующей широкое (до 1 км и более) плоское днище главного эрозионного вреза, на котором отлагается базальный маломощный (0,5-4 м), крепко сцементированный конгломерат с галькой разной степени окатанности и малым содержанием песчано-суглинистых фракций. *Констративная стадия* аккумуляции характеризуется выполнением главного эрозионного вреза мощной (до 30-150 м) толщей ритмичного чередования крупно-, средне- и мелкогалечных слоев с преимущественно средней и хорошей окатанностью гальки и разной степенью ее цементации. *Перстративная стадия* отвечает динамическому равновесию, когда русловая аккумуляция в долине завершается накоплением маломощного (2-3 м) хорошо окатанного и промытого

(т.е. почти лишенного глинистых фракций) галечника с гравийно-песчаным заполнителем. Слой формируется в процессе боковой миграции русла, перемыкающего верхи аллювия констративной стадии и часто способного на боковую эрозию с некоторым, а иногда и значительным расширением долины на уровне кровли аллювиального чехла цикловой террасы. К этой же стадии относится и серия сближенных по высоте террас “нисходящего врезывания”, которые обычно вложены в констративный аллювий.

Исследования в долине р. Зеравшан (Юго-Западный Тянь-Шань) показали, что основная масса тяжелого металла (золота, платины) концентрируется в инстративном аллювии, который залегают в относительно узком и неглубоком врезе, “запечатанном” под субстративным аллювием. Субстративный, констративный и перстративный аллювий содержат золото в гораздо меньших количествах [2].

Соответственно, основной задачей геоморфологических исследований при поисках таких россыпей можно считать поиск узких врезов, выполненных инстративным аллювием. Данная задача в долинах горных рек имеет три варианта стандартных решений при: 1) симметричном строении поперечного профиля долины – т.е. равномерном орогеническом воздымании территории; 2) слабом и 3) сильном перекосе долины.

На рис. 2 показано соотношение основных элементов трех поздних эрозионно-аккумулятивных циклов. При этом наиболее молодой из них находится на завершении накопления констративного аллювия. Такая ситуация обычна для геологической современности многих орогенов.

Симметричное строение долины. Более молодые эрозионные врезы располагаются практически равноудаленно от бортов относительно древних врезов. Локальные врезы с инстративным аллювием обычно находятся ближе к оси долины (рис. 2, *а*). Поэтому большинство из них бывает уничтожено последующими эрозионными врезами.

Слабый перекося долины. При таком перекося молодой врез обычно еще не выходит за пределы более древнего вреза, но смещен к тому борту, куда направлен наклон перекося. В обоих бортах долины остаются сохраненными все элементы разновозрастных врезов (рис. 2, *б*). В этом случае инстративный врез несколько смещен относительно центра последующего субстративного вреза, а субстративный врез следующего эрозионно-аккумулятивного цикла еще несколько смещен в том же направлении. Соответственно, при слабом перекося долины в ней могут сохраняться фрагменты инстративных врезов.

Сильный перекося долины. Это перекося, когда каждый последующий врез выходит за пределы предыдущего вреза в борту долины, куда направлен перекося. В таком борту обычно не сохраняются элементы более древних врезов (рис. 2, *в*). В этом случае все элементы одного эрозионно-аккумулятивного цикла стремятся сместиться относительно предыдущего. Но искомый локальный инстративный врез обычно находится еще в пределах предыдущего субстративного вреза и имеет шанс сохраниться.

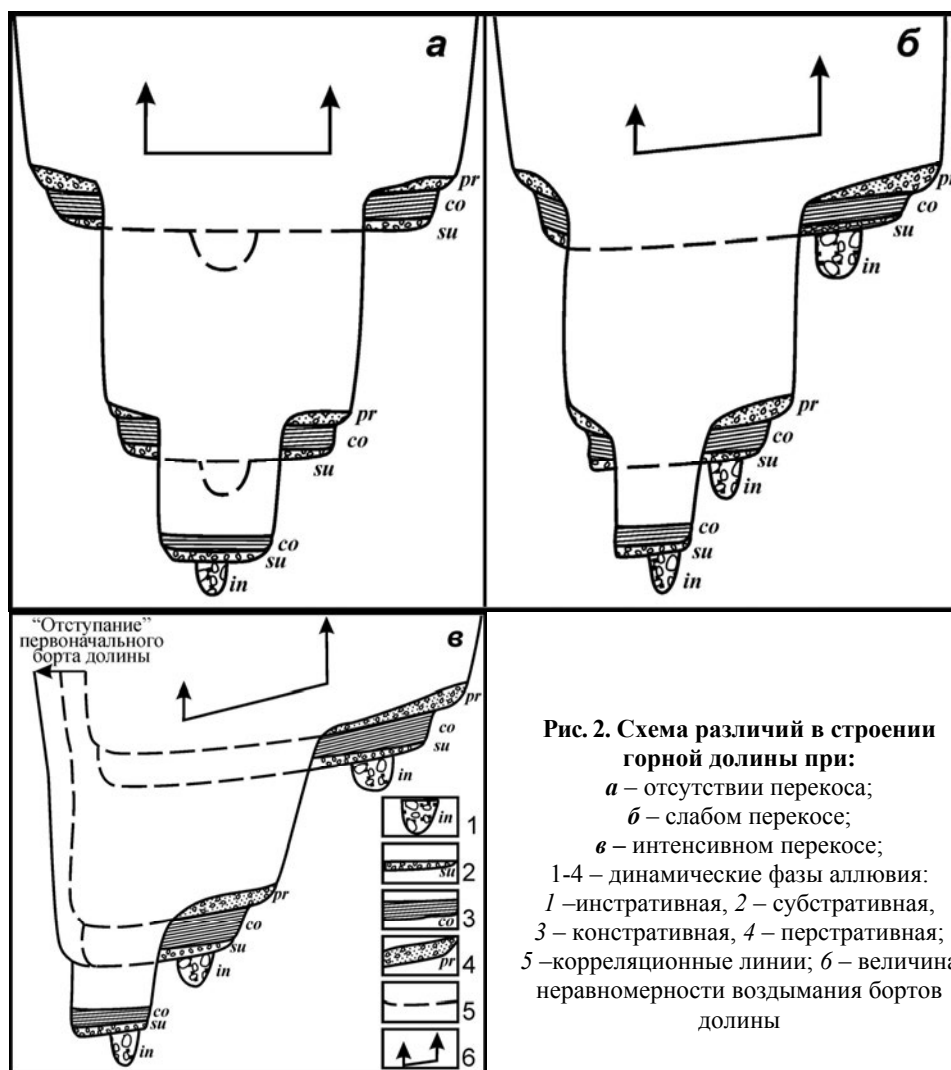


Рис. 2. Схема различий в строении горной долины при:
a – отсутствии перекоса;
б – слабом перекосе;
в – интенсивном перекосе;
 1-4 – динамические фазы аллювия:
 1 – инстративная, 2 – субстративная,
 3 – констративная, 4 – перстративная;
 5 – корреляционные линии; 6 – величина
 неравномерности воздымания бортов
 долины

Можно наметить **два варианта сложных сочетаний** участков возможной сохранности фрагментов древних инстративных врезов. Первый вариант связан с большой извилистостью молодых русел, пересекающих более древние врезы. Тогда в современных бортах долины могут наблюдаться обнажения древних инстративных врезов. Это помогает их трассировке. Второй вариант относится к ситуации смены направления перекосов долины. По расположению и величине останцов разновозрастных террасовых уровней на разных бортах долины хорошо фиксируется различие поперечных тектонических перекосов, когда русло последовательно смещается то к одному борту долины, то к другому (рис. 3). В этом случае возможны сложные изгибы и даже перекрещивание трасс разновозрастных инстративных врезов.

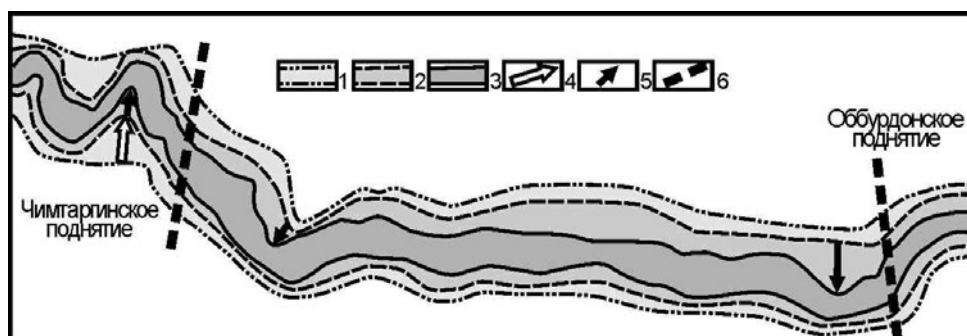


Рис. 3. Размещение четвертичных эрозионных врезов р. Зеравшан в районе Захматабадской впадины:

1-3 – эрозионные врезы, соответствующие горизонтам:

1 – ташкентскому (Q_2), *2* – голодностепскому (Q_3), *3* – сырдарьинскому (Q_4);

4-5 – направления активных смещений палеорусел р. Зеравшан для этапов:

4 – голодностепского, *5* – раннесырдарьинского;

6 – границы поперечных мегаподнятий

Известно, что россыпное золото при углублении долин в основном проецируется вниз по вертикали. Поэтому при сохранении древнего золото-содержащего инстративного аллювия, россыпи в более молодом инстративном аллювии обычно беднее, чем на смежных участках, где древний аллювий уничтожен последующей эрозией.

Следует отметить, что продолжительность формирования отдельных упоминавшихся выше типов аллювия каждого эрозионно-аккумулятивного цикла в разных тектонических ситуациях, свойственных даже одной долине, может быть различной. Дело в том, что при различных интенсивности тектонического воздымания и прочности (податливости эрозии) разных литологических типов пород, продолжительность прединстративного и особенно предсубстративного эрозионных врезов может быть существенно различной. Многократно приходилось наблюдать как в одних ситуациях (например, при пересечении руслом тектонических впадин) накапливается современный констративный аллювий, а в других (например, в активных горстовых поднятиях) еще продолжается активная глубинная эрозия. Следовательно, одноцикловый и однотипный аллювий даже в пределах одной горной долины, пересекающей клавиатуру тектонических блоков, может оказаться существенно разновозрастным.

Возрастное расчленение рельефа и связанное с ним неструктурное районирование позволяют наметить участки наиболее вероятного образования как первичных, так и преобразованных россыпей. Обычно в первую очередь перспективными считаются зоны сочленения блоковых структур, особенно проявление поднятия на пути транзита обломочного материала, россыпи часто контролируются активными приразломными впадинами и раз-

рывными зонами, а повышенное внимание обращается на участки разгрузки и подпруживания [1].

Возрастное расчленение рельефа особенно важно при выявлении долин, развивавшихся унаследованно, и долин, связанных с перестройкой рельефа. Считается, что аллювиальные россыпи долин унаследованного развития – самые многочисленные в большинстве россыпных провинций. При устойчивом поднятии территории россыпи занимают современные днища долин; при чередовании эпох врезания и аккумуляции россыпи оказываются погребенными под современным днищем; в стабильных морфоструктурах при преобладании боковой эрозии образуются близповерхностные залежи, обычно небольшие по запасам и с небольшой мощностью пласта. [8].

Таким образом, применение оротектонического метода позволяет существенно повысить эффективность поиска россыпных месторождений в долинах горных рек за счет относительно малозатратных геолого-геоморфологических исследований.

Литература

1. Корчуганова Н.И. Новейшая тектоника с основами современной геодинамики: методическое руководство. – М.: Геокарт, ГЕОС, 2007. – 354 с.
2. Макарова Н.В., Акинин Б.Е., Макаров В.И. Стадийность формирования аллювия реки Зеравшан (Южный Тянь-Шань) в связи с россыпеобразованием // Известия ВУЗ. Геология и разведка. – 1977. – № 4. – С. 76-81.
3. Макарова Н.В., Макаров В.И., Акинин Б.Е. Закономерности строения и развития речных долин Средней Азии в четвертичном периоде // История развития речных долин и проблемы мелиорации земель. Западная Сибирь и Средняя Азия. – Новосибирск, 1979. – С. 93-100.
4. Несмеянов С.А. Корреляция континентальных толщ. – М.: Недра, 1977. – 144 с.
5. Несмеянов С.А. Методика изучения террасового генетического комплекса для анализа палеоэкологии палеолитических стоянок в горных областях // Методические проблемы реконструкций в археологии и палеоэкологии. – Новосибирск: Наука, 1989. – С. 225-260.
6. Несмеянов С.А. Генетические комплексы континентальных отложений. – М.: Книга и Бизнес, 2012. – 397 с.
7. Несмеянов С.А. Возрастное расчленение орогенного рельефа как геоморфологическая основа оротектонического метода // Сергеевские чтения. Вып. 18. – М.: РУДН, 2016. – С. 661-665.
8. Россыпные месторождения России и других стран СНГ. – М.: Научный мир, 1997. – 479 с.

ТЕХНОГЕННЫЕ ЭКОЛОГО-ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ АНОМАЛИИ В МЕСТАХ РАЗРАБОТКИ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

А.В. Николаев¹, А.Д. Жигалин^{1,2}, Е.В. Архипова³

¹ Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН, 123242, Москва, Б. Грузинская, 10, корп. 1.

² Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова,
119991, Москва, Ленинские горы, 1. E-mail: zhigalin.alek@yandex.ru

³ Международный университет «Дубна», 141980, Дубна Моск. обл., Университетский пр., 19.
E-mail: olenageo@mail.ru

Из всех видов хозяйственной деятельности (антропогенного воздействия) наибольший урон окружающей нас и используемой нами природной среде, если не считать военных действий, наносит разработка месторождений полезных ископаемых. При промышленной добыче любых полезных ископаемых происходит заметное негативное изменение геологической среды, ландшафтов, поверхностной и подземной гидросферы. Эти изменения распространяются на значительных площадях, захватывают значительные по глубине массивы горных пород. Каждое из разрабатываемых месторождений полезных ископаемых, как на суше, так и на акваториях Мирового океана и на шельфовых зонах окраинных морей, является объектом «особой важности» и высокого уровня экологического риска.

Несмотря на все старания средств массовой информации убедить человечество в том, что вот-вот на смену используемым сейчас «грязным и экологически опасным» ископаемым источникам энергии появятся новые, экологически безопасные, источники энергии, а также новые технологии добычи и переработки разнообразных полезных ископаемых, современные реалии свидетельствуют о другом. Можно констатировать, что:

– еще долгое время для получения электрической и тепловой энергии мы будем по традиции (и по необходимости) использовать уголь, нефть, газ, горючие сланцы, радиоактивное топливо, понемногу, добавляя к ним гидравлическую и ветровую энергию, энергию, получаемую за счёт сжигания «вторичного продукта» (В. Войнович, Москва 2042), а также энергию от других, не менее экзотических источников, таких как дрова, древесный спирт и т.п. (табл. 1);

– ещё долгое время технологии производства энергии и добычи необходимых, и, в силу этого, постоянно требуемых во все больших объемах, полезных ископаемых различных видов будут предполагать наличие отходов от добычи в соотношении 80-95% к 20-5% не в пользу полезного продукта; при этом многие из этих отходов характеризуются потенциально высокой степенью геоэкологического риска,

– ещё долгое время будет сохраняться и даже возрастать противоречие между потребностью максимального удовлетворения всех запросов населения в плане улучшения условий жизнедеятельности, с одной стороны, и необходимостью поддерживать на приемлемом уровне (в границах гомеостаза) существования биосферы в целом как оболочки жизни, с другой стороны.

Таблица 1

Доля различных источников тепловой и электрической энергии в мировом энергетическом балансе в прошлом, настоящем и будущем

Вид энергии Период	Мышечная энергия	Органические вещества	Древесина	Уголь	Нефть	Природный газ	Водная энергия	Атомная энергия	Нетрадиционные источники
500 000 тыс. лет до н.э.	100								
2000 тыс. лет до н.э.	70	25							
Около 1500 г. н.э.	10	20	70						
1910 г.			16	65	3				
1935 г.				55	15	3	5		
1972 г.				32	34	18	5	1	
1987 г.				25	38	24	4	8	1
2002 г.				24	37	24	3	12	2
2030 г. (прогноз)				21	25	31	3	17	3

Приводимые в таблице данные показывают, что как в настоящее время (2002 г.), так и в недалеком будущем основная доля энергии по-прежнему будет обеспечиваться «главными» полезными ископаемыми – углем, нефтью и природным газом (83% в 2003 г. и 77% в 2030 г.). Основной прирост ожидается в атомной энергетике и то, только на 5%. Из таблицы также следует, что, по мнению экспертов нефть и природный газ поменяются местами, а роль угля несколько снизится.

Добыча полезных ископаемых вне зависимости от направлений их использования в дальнейшем всегда (!) создает напряженную экологическую обстановку на локальном (в рамках одного предприятия с его инфраструктурой) или региональном (комплексы добывающих и перерабатывающих предприятий) уровнях. Это связано прежде всего с формированием устойчивого химического загрязнения и соответствующей трансформацией ресурсной, динамической и геохимической функций литосферы [2]. Технические службы, призванные следить за стабильностью и поддержанием в норме экологического состояния окружающей среды, в той или иной мере

справляются с этой задачей, хотя время от времени возникают чрезвычайные ситуации, имеющие негативную экологическую составляющую.

По остаточному принципу осуществляется оценка техногенного физического загрязнения территорий и геологического пространства в пределах и объеме которых наблюдается сформировавшееся устойчивое физическое воздействие на геологическую среду и на живые организмы, в первую очередь человека. Установлено, что все без исключения промышленные и горнодобывающие предприятия, а также энергетические комплексы и предприятия ядерного топливного цикла уже своим существованием и реализацией соответствующих технологий способствуют формированию в местах размещения самих предприятий и их инфраструктуры устойчивые так называемые техногенные эколого-геофизические аномалии. Такого рода аномалии играют важную роль в формировании экологической обстановки в целом и иногда являются причиной возникновения чрезвычайных ситуаций с экологическими последствиями.

Что представляет собой эколого-геофизическая аномалия, в контексте данного сообщения. Канонически геофизическая аномалия представляет собой отклонение параметрических характеристик физических полей от некоторого фоновый уровня или ординара для данной территории. Эколого-геофизической такая аномалия становится в том случае, если её критическая величина существенно отличается от «нормального» (фоновый) значения и при этом превышает допустимый биологический или санитарный пороги, определенные на данный отрезок времени. Это значит, что физические поля в рамках этих аномалий способны оказывать определенное воздействие на живые организмы и организм человека, вызывая негативные последствия [1].

Эколого-геофизические аномалии на уже разрабатываемых месторождениях полезных ископаемых или подготавливаемых к разработке содержат в себе потенциальный эколого-геофизический риск, который может реализоваться, если не обращать внимание на его существование. Для оценки возможной ситуации следует обратить внимание на те характеристики геофизических аномалий, которые установлены для ряда аномалеобразующих объектов.

Если сосредоточить внимание только на наиболее значимые с экологических позиций виды техногенных физических полей, а именно, – температурном, электромагнитном, радиационном и сейсмоакустическом (вибрация и шум), то установленные характеристики для этих видов следующие:

– промышленная горнодобывающая деятельность захватывает площади от 0,1 до 100 км² при глубине проникновения в геологическую среду 0,05 – 1,5 км (иногда глубже); при этом аномалии температурного поля могут достигать от 2 – 15 до 100 – 200 °С, электромагнитного поля – 20 – 2·10³ В/км и более, радиационного 3 – 50 мкЗв/г и более и сейсмоакустического – от 20 до 300 дБ;

– при разработке месторождений нефти и газа могут формироваться геофизические аномалии, характеризующиеся следующими величинами: захват геологического пространства по площади и по глубине составляет от 100 до 1000 км² и 2–10 км; величина аномалий в той же последовательности – от 10–30 до 200–500 °С и более, 10–2·10³ В/км, 5–30 мкЗв/г, от 50 до 150 дБ и более;

– при эксплуатации месторождений подземных вод геофизические аномалии достигают в том же порядке: захват геологического пространства по площади и по глубине составляет от 10 до 500 км² и 0,1–1 км; величина аномалий в той же последовательности – более 10–20 °С, 10–5·10² В/км, 3–30 мкЗв/г, от 10 до 30 дБ и более;

– общая промышленная деятельность, относящаяся к добывающей отрасли, характеризуется следующими показателями геофизических аномалий: отчуждение и захват геологического пространства – 0,1–100 км², 0,05–1,5 км, величина аномалий от 5–20 до 300–500 °С, 20–2·10³ В/км, от 3–5 до 30–50 мкЗв/г, от 20 до 120 дБ;

– городское строительство и коммунальное хозяйство также вносят свою лепту в формирование геофизических аномалий, характеризующихся следующими данными: захват геологического пространства по площади 0,1–1000 км² и по глубине 0,01–0,5 км, температурные аномалии могут достигать от 5–10 до 400–600 °С, электромагнитные аномалии формируются в пределах 50–2·10³ В/км, радиационные имеют величину от 3–5 до 15–20 мкЗв/г и сейсмоакустические – от 20 до 150.

Если приводимые характеристики геофизических аномалий сопоставить с действующими санитарными нормами, то окажется, что во многих случаях сформировавшиеся аномалии геофизических полей различных видов выходят за «разрешительные» рамки санитарных норм. Это относится к температурным аномалиям, также в значительной мере аномалиям электромагнитного поля и сейсмоакустических полей. Так, например, санитарная норма температурного поля составляет всего 16–18 °С, акустического поля для производственных помещений – 60–70 дБ и др. [1]. Такое расхождение реальных влияющих геофизических факторов с санитарными нормами автоматически относит геофизическое загрязнение к категории экологических факторов прямого воздействия и понуждает принимать меры к оптимизации условий нахождения персонала предприятий в местах устойчивого существования геофизических аномалий. Поскольку в настоящее время оценке техногенного физического (энергетического, в отличие от химического – вещественного), загрязнения, уделяется недостаточное внимание, можно рекомендовать введение на производстве и в том числе на добывающих предприятиях специальных эколого-геофизических паспортов.

По нашему мнению, эколого-геофизический паспорт предприятия должен представлять собой ведомственный технический документ, включающий данные о геофизической и экологической обстановке в регионе и непосредственно в месте расположения предприятия. Он должен содержать

набор данных, выраженных через геофизические параметры, отражающих общую природно-техногенную геофизическую и экологическую обстановку и взаимосвязь природных и техногенных физических полей в месте расположения предприятия и его окрестностях.

Геофизический паспорт предприятия должен содержать сведения о всех объектах-источниках техногенных физических полей как входящих в инфраструктуру служб предприятия и связанных с предприятием, так и не имеющих к предприятию непосредственного отношения, но могущих оказывать влияние на эколого-геофизическую обстановку на данном предприятии.

Эколого-геофизический паспорт предприятия должен разрабатываться собственными техническими службами предприятия и службами безопасности производственной деятельности с привлечением к работе квалифицированных специалистов-геофизиков и экологов. Желательно введение в состав технического персонала специального ответственного по контролю эколого-геофизических условий на предприятии.

Основой для составления геофизического паспорта предприятия являются показатели, определяющие влияние аномалий геофизических полей на персонал всех служб предприятия. Геофизический паспорт предприятия не заменяет и не отменяет ныне действующие нормативные документы, регламентирующие функционирование предприятия, а является дополнением к ним.

Это нововведение позволило бы унифицировать подход к оценке эколого-геофизической обстановки, приучить руководящий состав производственных предприятий внимательнее относиться к самочувствию и общему состоянию рабочего персонала и, в конечном итоге, таким образом, сохранять и поддерживать его работоспособность.

Литература

1. Богословский В.А., Жигалин А.Д., Хмелевской В.К. Экологическая геофизика. – М.: Изд-во МГУ, 2000. – 256 с.
2. Трансформация экологических функций литосферы в эпоху техногенеза / В.Т. Трофимов, Д.Г. Зилинг, Т.А. Барабоскина и др. – М.: Изд-во «Ноосфера», 2006. – 720 с.

АНАЛИЗ РАСТЕКАНИЯ СБРОСНЫХ КАРЬЕРНЫХ ВОД В ПРЕДЕЛАХ ВЕРХОВОГО БОЛОТА

Т.В. Орлов¹, С.А. Садков¹, А.В. Зверев¹, Е.Г. Панченко¹,
И.В. Воловинский²

¹ Институт геоэкологии им. Е.М. Сергеева РАН, г. Москва, Уланский пер. 13, стр. 2,
а/я 145, (495)-624-72-57, tim.orlov@gmail.com.

² Географический факультет, Московский государственный университет им. Ломоносова,
г. Москва

Введение.

Верховые болота являются естественным накопителем и фильтром пресных вод [4]. Они могут использоваться как фильтр для сбросных и сточных вод. Однако в условиях недостаточной изученности этих природных комплексов необоснованные решения по использованию болот как фильтрующих систем могут привести к серьезным отрицательным геоэкологическим последствиям [5, 6].

При разработке месторождения алмазов имени М.В. Ломоносова (Приморский район, Архангельская область) было принято и утверждено проектное решение по сбросу дренажных карьерных вод [1, 2, 7]. Сбросные воды формируются за счет стока поверхностных и подземных вод по стенкам карьеров и отвалов. Подземные воды, на текущих горизонтах разработки, имеют состав, близкий к поверхностным и грунтовым водам данного региона. При стекании по стенкам карьеров происходит их замутнение глинистой фракцией осадочных отложений вскрыши. Сбросные воды карьеров собираются, откачиваются и поступают в систему отстойников, затем на болотный комплекс. Таким образом, на верховое болото поступают сбросные воды, по составу ионов соответствующие поверхностным и грунтовым, но повышенной мутности.

Целью данной работы является изучить закономерности растекания и фильтрации сбросных вод в пределах верхового болота с помощью геохимических, химико-гидрологических, дистанционных и геофизических методов.

Характеристика условий

Месторождение алмазов имени М.В. Ломоносова находится в пределах Беломоро-Кулойского плато, в подзоне северной тайги. Рельеф местности представлен плоскими и слабовсхолмленными равнинами с абсолютными высотами 90-120 м. Четвертичные отложения представлены флювиогляциальными песками, моренными отложениями, встречаются выветрелые останцы карбонового возраста. Понижения заняты торфяными отложениями.

Болотный ландшафт, используемой как поле фильтрации, является сложным массивом, состоящим из верховых болот разного типа (рис. 1), общей площадью 240 га. Средняя мощность торфа 3,5 м, однако она может

меняться в пределах от 1,5 до 6 м, в т.ч. в центральной части массива. Значительные участки заняты грядово-мочажинными комплексами. Массив в целом имеет уклон с юга на север. В юго-западной его части присутствует ряд естественных каналов стока.

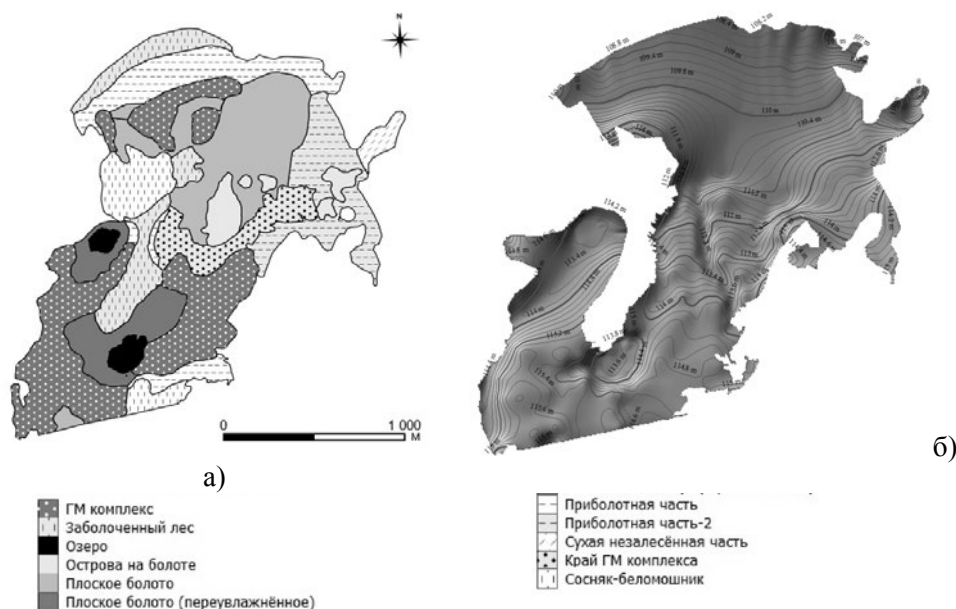


Рис. 1. Структура болотного массива:
а – исходные микрокомплексы; *б* – рельеф

Сброс карьерных вод осуществляется распределенным способом из южной части массива (южный обрез ЦМР) с 2012 года. Ввиду неоднородности болотного микрорельефа и болотных микроландшафтов формируются зоны конвергенции и дивергенции поверхностных потоков. Карьерные воды концентрируются в естественных каналах, а также следах проезда гусеничного транспорта, которые при общих небольших превышениях могут перенаправлять потоки.

Материалы и методы

На первом этапе работы на основе имевшихся полевых ландшафтных и геоботанических описаний была сделана карта болотных микроландшафтов (рис 1а). На основе архивной детальной информации о рельефе была разработана ЦМР (рис 1б).

Описание болотных микроландшафтов сопровождалось георадарным профилированием, которое позволило выявить мощность торфяных отложений и преобладающие типы поверхности дна.

Основным методом анализа растекания карьерных вод являлся дистанционный мониторинг на основе ежегодных высокдетальных летних

космических снимков пространственным разрешением 0,5 м/пикс, полученных в период с 2011 по 2016 гг. (рис. 2).

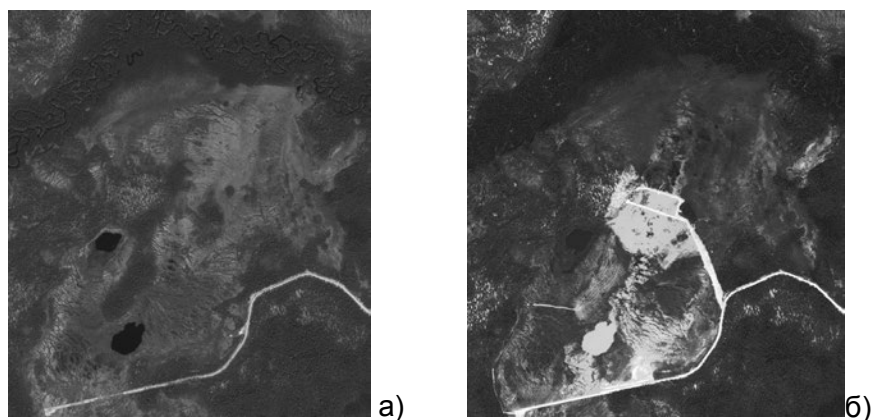


Рис. 2. Состояние ППФ, приведенное на высокодетальном космическом снимке по состоянию на:
а – 2011 г (до начала сброса); *б* – 2016 год

Весь остальной период года мониторинг растекания осуществлялся с использованием снимков Landsat 8, Sentinel 2 среднего пространственного разрешения (10-15 м/пикс).

Такое сочетание различных дистанционных данных позволило не только выявить одномоментное состояние, но и проследить закономерности миграции потока карьерных вод в пределах болота в течение года.

Результаты дистанционного мониторинга заверялись геохимическим экспресс-опробованием поверхностных и болотных вод, которое проводилось в разных частях потока карьерных вод и за его пределами (контроль) для выявления границ зон распространения карьерных вод. Экспресс-опробование состояло из визуального определения мутности воды, а также измерения pH и удельной электропроводности. Воды верховых болот в своем естественном состоянии имеют низкую удельную электропроводность и кислый pH. Карьерные воды имеют нейтральный или щелочной pH и в разы большую удельную электропроводность, что позволяет уверенно отделить карьерные воды от естественных болотных даже с помощью экспресс-методов.

Георадарное профилирование позволяло и оценить внутреннее строение болотной толщи и смоделировать распространение карьерных вод.

Результаты

Были выделены различные зоны распространения карьерных вод в пределах болота (рис. 3). По результатам работы можно выделить следующие основные зоны:

– основного потока – поверхность болота, залитую водой повышенной мутности;

- средней фильтрации – поверхность болота, залитую водой средней мутности;
- уверенной фильтрации – поверхность болота, залитую очищенной водой.

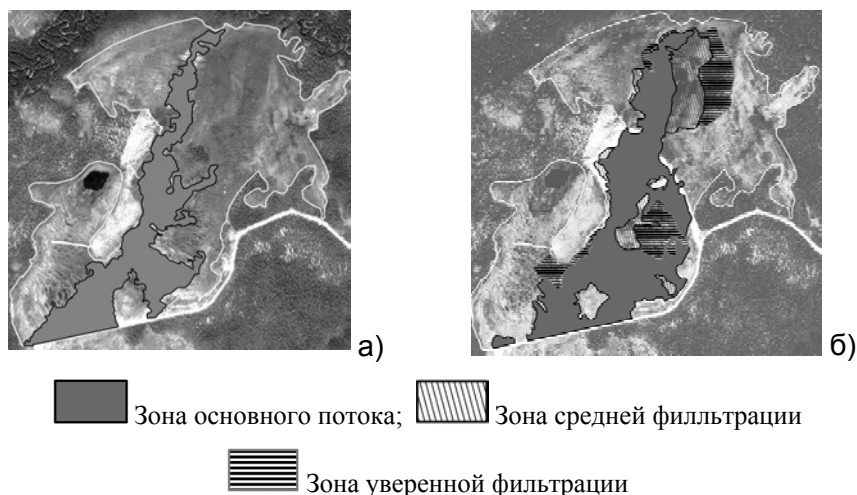


Рис. 3. Зоны растекания карьерных вод в пределах болота:
a – 2014 г.; *б* – 2016 г.

В табл.1 приведен анализ динамики общей площади болота, занятой фильтрацией карьерных вод.

Таблица 1

Динамика общей площади болота, занятой фильтрацией карьерных вод

Год	Площадь (га)	Доля (%) от площади болота
2012	55,23	23,2
2013	43,39	18,2
2014	61,79	26,0
2015	111,04	46,7
2016	127,65	52,9

Отмечается тенденция к увеличению площади болота, занятой фильтрации карьерных вод. Резкий скачок площади произошел в 2015 году после строительства дамбы в центральной части ППФ, которое привело к формированию запруды выше по течению и большему распространению карьерных вод ниже дамбы.

К 2016 г. отмечается распространение карьерных вод на восточную часть болота с успешным очищением. Распространения карьерных вод в западную часть болота не происходит.

Результаты вертикального геохимического профилирования показывают, что для зоны основного потока характерно вертикальное распространение карьерных вод на глубину до 4 м. Если мощность торфа не достигает этой величины, то распространение карьерных вод происходит на всю глубину болота. При этом миграции карьерных в толще торфа за границы поверхностного потока не происходит.

Особую роль в распространении карьерных вод играет грядово-мочажинный рельеф. Гряды и мочажины являются чисто болотными образованиями и сложены верховым торфом, однако взаимодействие грядового и мочажинного торфа с потоком карьерных вод различно.

Для мочажин, находящихся в зоне потока, характерно проникновение карьерных вод на глубину до 4 м. Для гряд характерна другая ситуация: карьерные воды проникают на глубину до 0,75 м, затем отмечается их отсутствие, а с глубины 2,75 м геохимический состав болотных вод в грядах и мочажинах выравнивается.

Соответственно гряды являются естественными ограничителями потока карьерных вод и почти полностью препятствуют их распространению.

Ограничение потока карьерных вод болотными грядами сильнее всего проявляется в западной части болота. Зона фильтрации здесь, как правило, имеет четкую границу, так что расстояние между соседними мочажинами, разделенными грядой высотой не более 40-50 см, может не превышать 1 м. При этом визуальные, геохимические, дистанционные и георадарные исследования подтверждают, что поверхностный сток не проникает за эту границу, а смешивание карьерных вод с болотными в глубине торфяной толщи минимально.

Заключение.

На основании приведенных результатов можно сделать следующие выводы:

- было опробован комплекс подходов, базирующийся на современных методах – дистанционном зондировании, георадарном профилировании, геохимическом горизонтальном и вертикальном экспресс-опробовании;
- в пределах изучаемого болота можно выделить следующие зоны: основного потока, средней фильтрации, уверенной фильтрации;
- с каждым годом все большая площадь оказывается занята потоком карьерных вод;
- вертикальное распространение карьерных вод достигает 4 м в пределах потока. За пределами поверхностного потока фильтрация в толще торфа отсутствует;
- болотные гряды являются естественными ограничителями распространения потока карьерных вод. Фильтрации карьерных вод сквозь болотные гряды практически не происходит.

Литература

1. *Иванов А.К., Викторов А.С., Орлов Т.В.* Система производственного экологического мониторинга месторождения алмазов им. М.В. Ломоносова: Сборник научных трудов Международной научно-практической конференции. Вып. 3. «Развитие минерально-сырьевой базы Архангельской области: проблемы, перспективы, задачи». – Североонежск – Архангельск, 2006. – С. 60-69.
2. *Иванов А.К.* Оценка воздействия добычи алмазов на окружающую среду // Экология северных территорий России: проблемы, прогноз ситуации, пути развития, решения: материалы междунар. конф. – Т. 1. – Архангельск, 2002. – С. 577-579.
3. *Валуев Е.П.* Этапы освоения месторождения алмазов им. М.В. Ломоносова // Горн. журнал. – 2002. – № 7. – С. 29-32.
4. *Исхаков Х.А., Счастливец Е.Л.* Проблема торфа и торфяников // Вестник КузГТУ. – 2007. – № 3. – С. 20-22.
5. *Савичев О.Г.* Биологическая очистка сточных вод с использованием болотных биоценозов // Известия ТПУ. – 2008. – № 1. – С. 69-74.
6. *Сивкова Е.Е., Семенов С.Ю.* Использование технологии «Constructed wetlands» для очистки сточных вод малых населенных пунктов и предприятий // Вестник Томского гос. ун-та. Биология. – 2010. – № 4 (12). – С. 123-130.
7. *Шевелёва А.В., Шварцман Ю.Г.* Проблемы экологической безопасности при разработке месторождения алмазов имени Ломоносова // Вестник Северного (Арктического) федерального университета. Серия: Естественные науки. – 2012. – № 2. – С. 40-46.

ИЗУЧЕНИЕ ГЕОДИНАМИКИ ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ СРЕДЫ В МУРМАНСКОЙ ОБЛАСТИ КОЛЬСКОГО ПОЛУОСТРОВА С ПОМОЩЬЮ СЕЙСМО-ЭКОЛОГИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА

О.Г. Попова¹, М.Г. Попов², Ф.О. Аракелян³, В.В. Недядько³

¹ Институт геоэкологии им. Е.М. Сергеева РАН, Москва, Уланский пер. 13, стр. 2.
E-mail: Oksana-p@list.ru

² Геологический факультет, Московский государственный университет им. Ломоносова.
E-mail: mgpopov@list.ru

³ ООО «Атомсейсмоизыскания», ул. Скаковая 32, кор. 2, Москва, 125040.
E-mail: asi_47@mail.ru

Изучение напряженного состояния является особенно важным при проектировании и эксплуатации жизненно-важных объектов строительства, таких как строительство гидроэлектростанций (ГЭС), атомных станций (АЭС), а также в районах добычи полезных ископаемых.

В настоящей статье приводятся результаты сейсмического мониторинга на Кольском полигоне в период с 2013 г. по 2016 г. осуществляемого ООО «Атомсейсмоизыскания» в Мурманской области севернее г. Кандалакши с целью определения наличия (или отсутствия) современной местной сейсмичности и уточнения параметров сейсмической активности геоструктур. Эти исследования очень важны в двух аспектах: 1) выявить степень эколо-

гической опасности для площадки планируемой Кольской АЭС-2, 2) изучить возможную техногенную сейсмическую активность в результате добычи полезных ископаемых в двух близко расположенных карьерах Лавозерского и Хибинского, в которых добываются апатито-нефелиновые руды.

Сейсмо-экологический мониторинг (от естественных сейсмических источников) [5] позволяет на малых территориях в крупном масштабе выявлять участки повышенного напряженного состояния, оценивать изменение этой напряженности и ее миграцию по латерали и вертикали во времени. Это, в свою очередь, позволит изучить согласованность разноглубинных структурных планов распределения геофизических (сейсмических) параметров, характеризующих геодинамику среды в средах разной тектонической активности, а также изучить приуроченность очаговых зон к структурам повышенного напряженного состояния в разных глубинных диапазонах. В основу этих исследований положена методика оценки показателя напряженного состояния по записям далеких землетрясений, разработанная в Институте геоэкологии РАН [3,5]. Сейсмо-экологический мониторинг проводился с 2013 г по 2016 г, но не непрерывно, а с перерывами, то есть проводился циклический мониторинг.

Цель мониторинга – определить наличие (или отсутствие) современной местной сейсмичности на исследуемой территории, а главное – выявить структуры повышенного напряженного состояния, с которыми может быть связана местная сейсмичность, миграцию и изменение этих структур во времени для решения прогнозных задач сейсмической безопасности района.

Полевые сейсмологические наблюдения проводились локальной сетью, включающей в себя семь пунктов наблюдений, оснащенных цифровыми станциями РСС «Дельта-Геон», на площади 40x50 км. В результате были зарегистрированы далекие землетрясения, которые позволили по разработанной методике [3,5] оценить изменение во времени геодинамических показателей геологической среды γ (показатель анизотропности) и S (показатель напряженного состояния), зарегистрировать местные и удаленные землетрясения, а также зарегистрировать карьерные взрывы, связанные, в основном, с разработками полезных ископаемых в Хибинском и Ловозерском массивах.

Особенностью глубинного разреза земной коры исследуемого региона является полное отсутствие осадочной толщи [1]. Верхняя часть разреза (0-1,0) км сложена гнейсами со скоростями, равными 5,9 км/с. Толща (1-10) км имеет скорости в пределах 6,2-6,4 км/с и гораздо более расчленена на блоки, чем средняя и нижняя часть разреза земной коры. Скорости в средней части разреза (10-25) км колеблются в интервале 6,5-6,76 км/с.

Район Балтийского щита считается частью Русской платформы, но для него характерна сейсмическая тектоническая активизация в отличие, например, от платформенного района Нижегородской АЭС, геодинамические показатели среды γ и S в котором имеют малые значения и изменяются во времени очень незначительно [5], что свидетельствует об отсутствии напря-

женного состояния в среде. Аналогичный анализ полевого материала сейсмо-экологического мониторинга был проведен и для Кольского полигона под планируемую площадку АЭС-2. За период наблюдений в районе работ было зарегистрировано два локальных землетрясения: 28.02.2016 г. $T_0=17:48:10$ с магнитудой $M=2,1$ и 03.04.2016 г. $T_0=00:04:27$ с магнитудой $M=1,2$ на глубинах 25 км и 8 км соответственно.

Для Кольского полигона были обработаны записи далеких землетрясений, оценены значения показателей напряженного состояния S и степени анизотропности γ для разных толщ среды (0-10) км и (10-25) км и построены 3-х мерные модели, позволяющие судить об изменении напряженного состояния по глубине и во времени. Модели построены для 5-и интервалов наблюдения (табл. 1, рис. 1).

Таблица 1

Геодинамические характеристики среды Кольского полигона

Год проведения мониторинга	Номер интервала наблюдений	Временные границы интервалов наблюдения	Глубина слоев, в км	Показатель степени анизотропности среды, $\gamma = E_R/E_V$	Интегральный показатель напряженного состояния среды, S
2013-2014	1	16.08.13-12.10.13	0-10 10-25	0-0,2 0-0,4	0,0 0,029
	2	15.10.13-25.01.14	0-10 10-25	0-0,6 0-0,6	0,086 0,219
2015-2016	3	26.10.15-11.12.15	0-10 10-25	0-0,8 0-1,2	0,254 0,872
	4	17.12.15-21.02.16	0-10 10-25	0-1,2 0-1,2	0,555 1,27
	5	28.02.16-6.04.16	0-10 10-25	0-1,2 0-4,0	0,237 4,1

На рис. 1 представлены трехмерные модели схем показателя γ для 5-и интервалов наблюдения с августа 2013 г. по начало апреля 2016 г. Как видно из рисунка, степень анизотропности в 1-м и 2-м интервалах наблюдения очень небольшая. Причем, во втором интервале времени степень анизотропности и напряженности в среде увеличилась по сравнению с 1-м интервалом времени. В слое (10-25) км степень анизотропности и величина показателя напряженного состояния S в обоих интервалах наблюдения (1 и 2) несколько выше, чем на глубинах (0-10) км (табл. 1, рис. 1 *a, б*), но, тем не менее, значения указывают на отсутствие напряженного состояния в среде.

Следует отметить, что в обоих интервалах наблюдения схемы показателя анизотропности γ в разных диапазонах глубин (0-10) км и (10-25) км согласуются, то есть среда в диапазоне глубин (0-25) км может рассматриваться как единое целое.

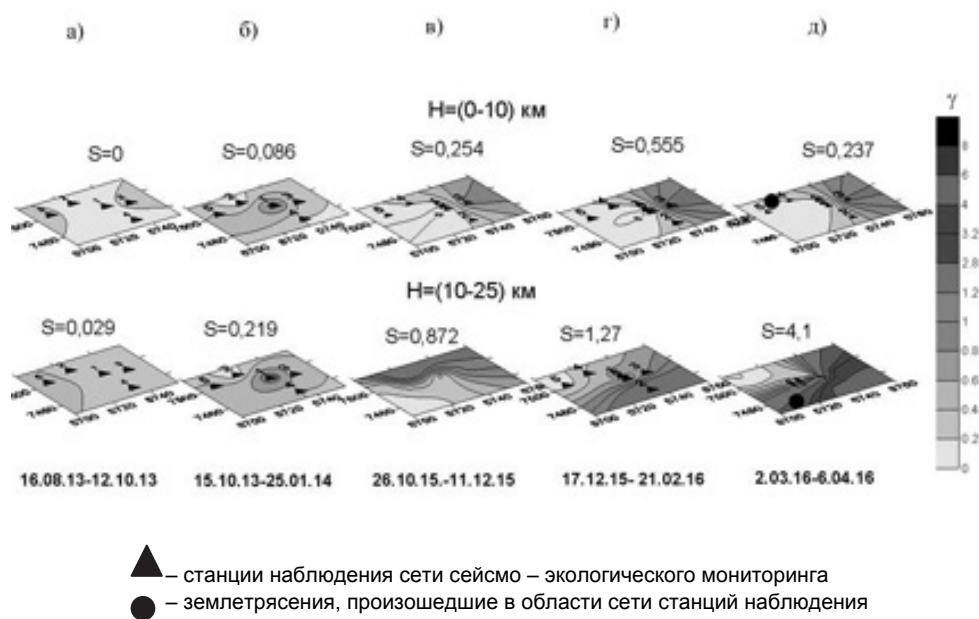


Рис. 1. Трехмерные модели распределения по площади наблюдения сети мониторинга показателя анизотропности γ в разные интервалы наблюдения 2013-2016 гг.

Совсем другой характер степени анизотропности и напряженности в среде отмечается в интервалах наблюдения (3, 4, 5) за 2015-2016 гг. (рис. 1 в, г, д, табл. 1). Как видно из рисунка, для всех интервалов наблюдения в разных диапазонах глубин выделяются области с повышенными значениями показателя γ . Во всех 3-х интервалах наблюдения картина распределения показателя γ в среде на глубинах (0-10) км очень похожа, область повышенной анизотропности среды тяготеет к восточной части полигона наблюдения. Значения показателя напряженного состояния S колеблются в диапазоне 0,237-0,555 (табл. 1, рис. 1. в, г, д), что существенно превышает значения показателя S в интервалах времени наблюдения за 2013-2014 г.г.

Схемы распределения показателя анизотропности γ в среде на глубинах (10-25) км показывают совершенно другую картину. Во-первых, положение области повышенных значений показателя γ изменяется во времени, резкое изменение происходит между 3-м (26.10.15-11.12.15) и 4-м (17.12.15-21.02.16) интервалами наблюдения. Во-вторых, значения показателя S в слое (10-25) км существенно выше, чем в слое (0-10) км (рис. 1, в, г, д, табл. 1) и возрастают со временем до высокого значения $S=4,1$ в 5-м интервале наблюдения (28.02.16-6.04.16). Такие высокие значения показателя S отмечались, согласно нашим предыдущим исследованиям, только в сейсмоопасных регионах [5]. В-третьих, во всех интервалах наблюдения 3,4,5 отмечается

полная несогласованность «структурных планов» схем распределения показателя γ по площади наблюдения в верхней части земной коры (0-10) км со скоростями 5,9-6,4 км/с и в средней части земной коры (10-25) км со скоростями 6,5-6,7 км/с (рис. 1, *в*, *г*, *д*). На глубинах (0-10) км характер схем показателя анизотропности γ очень слабо изменяется во времени, а на глубинах (10-25) км отмечается резкое изменение между 3-м и 4-м интервалами. Создается впечатление, что изменение анизотропности в слое (0-10) км и в слое (10-25) км зависит от разных факторов, то есть геодинамика среды обеих уровней глубин различна.

Было сделано предположение, что на изменение характера распределения показателя анизотропности γ в слое (10-25) км между 3-м и 4-м интервалами наблюдения повлияли внешние факторы, такие как катастрофическое землетрясение из Индонезии (13.02. 16) с магнитудой $M=7,8$, после которого на полигоне сети мониторинга регистрировались поверхностные волны. Этот вывод можно сделать на основании работ [3,4,5], в которых было показано, что после регистрации в районе проведения мониторинга далеких катастрофических землетрясений, после которых регистрируются поверхностные волны, в сейсмоопасных регионах происходит перестройка распределения анизотропных свойств среды, степень напряженного состояния резко возрастает (резкое возрастание показателя S), и отмечается активизация местной сейсмичности. В работе А.В. Николаева [3] такие местные землетрясения считаются наведенными.

Отмеченные выше признаки влияния катастрофического далекого землетрясения имеют место и на Кольском полигоне: было зарегистрировано сильное землетрясение с магнитудой $M=7,8$, с регистрацией последующих поверхностных волн. Далее произошла резкая перестройка анизотропных свойств среды между 3-м и 4-м интервалами наблюдений, показатель напряженного состояния сильно возрос, и произошли 2-а местных землетрясения, которые упоминались выше 28.02.2016 г. с магнитудой $M=2,1$ и 03.04.2016 г. с магнитудой $M=1,2$ на глубинах 25 км и 8 км соответственно. Оба землетрясения вынесены на схемы показателя γ в интервале времени (28.02.16-6.04.16). Следует отметить, что одним из последних сильных землетрясений в Лавозерском массиве было событие с магнитудой $M=4,6$, произошедшее 17.08.1999 г. $T_0=04:44:36$ на глубине 10 км.

Появление областей повышенной степени анизотропности и напряженного состояния позволяют предположить, что среда района Кольской АЭС по своим свойствам отличается от платформенных территорий, для которых не было отмечено влияние далеких катастрофических землетрясений [5]. А это, в свою очередь, предполагает возможность существенной сейсмической активности в районе планируемой АЭС, а также вызывать усиленную техногенную сейсмичность в результате добычи полезных ископаемых в Ловозерском и Хибинском массивах, что может осложнить условия использования карьеров.

Для безопасности строительства и эксплуатации Кольской АЭС-2 в сочетании со стабильной работой по добыче полезных ископаемых в Хи-

бинском и Лавозерском карьерах необходимо постоянное слежение за напряженным состоянием среды с помощью сейсмо – экологического мониторинга.

Литература

1. *Аракелян Ф.О., Недядько В.В., Лаврик Е.В., Ракитов В.А.* Сейсмический мониторинг на Кольском полигоне с использованием локальной сейсмологической сети: Материалы XX Всероссийской конференции с международным участием «Глубинное строение, минералогия, современная геодинамика и сейсмичность Восточно-Европейской платформы и сопредельных регионов. – Воронеж: Научная книга, 2016. – С. 51-54.
2. *Николаев А.В.* Проблемы наведенной сейсмичности. Наведенная сейсмичность. – М.: Наука, 1994. – 222 с.
3. *Попова О.Г., Серый А.В., Коновалов Ю.Ф., Недядько В.В.* Влияние катастрофических землетрясений на напряженное состояние среды удаленных территорий. Геофизика XXI столетия: 2006 г. Сборник трудов восьмых геофизических чтений имени В.В. Федынского. – М., 2007. – С. 200-2004.
4. *Попова О.Г., Серый А.В., Коновалов Ю.Ф.* Результаты долговременного сейсмического мониторинга в сейсмоопасном районе Кавказских Минеральных Вод // Геоэкология. – 2008. – № 2. – С. 135-40.
5. *Попова О.Г., Попов М.Г., Аракелян Ф.О., Недядько В.В., Васютинская С.Д.* Основные результаты по локальному сейсмо-экологическому мониторингу в разных регионах Российской Федерации // Геоэкология. – 2016. – № 6. – С. 483-496.

О ПРИРОДЕ СЕЙСМИЧЕСКИХ АКТИВИЗАЦИЙ В КУЗБАССЕ

Е.А. Рогожин, А.Н. Овсюченко, А.С. Ларьков

Институт физики Земли им О.Ю. Шмидта РАН, 123242 Москва, ул. Б. Грузинская, 10,
стр. 1. E-mail: eurog@ifz.ru, ovs@ifz.ru

На территории Кемеровской области в последние годы наблюдается активизация техногенной сейсмичности и внезапных выбросов метана в местах разработки месторождений угля. В 2005 г. такая активизация возникла в районе г. Осинники, а с 2007 г. – районе гг. Полысаево и Ленинск-Кузнецкий. В мае 2010 г. произошел внезапный выброс метана на шахте Распадская (район г. Междуреченск), который привел к мощным взрывам и многочисленным человеческим жертвам. Наиболее интенсивные сейсмические активизации происходят в районах населенных пунктов и городов: Полысаево, Бачатский, Осинники, Междуреченск, Малиновка [1].

В районе гг. Полысаево и Ленинск-Кузнецкий было зарегистрировано несколько тысяч толчков малой магнитуды. При событиях 2007-2008 гг. на окраине г. Полысаево повреждены десятки жилых домов, на поверхности земли образовались множественные деформации в виде протяженных тре-

щин, отмечено опускание обширных участков поверхности. Помимо бессистемных, рассредоточенных просядок, провалов и трещин обнаружены линейные нарушения земной поверхности, образующие закономерные структурные рисунки (парагенезы) и выстраивающиеся в относительно обширную, протяженную систему общей длиной 7,6 км, что позволяет рассматривать их в качестве поверхностных тектонических разрывов [2, 3]. Кроме того, многие разрывы четко вписаны в деформации молодых форм рельефа. Проявившиеся на поверхности разрывы отражают процесс криповой активизации разлома в ответ на импульсное воздействие расположенной поблизости зоны роевой сейсмичности техногенной природы.

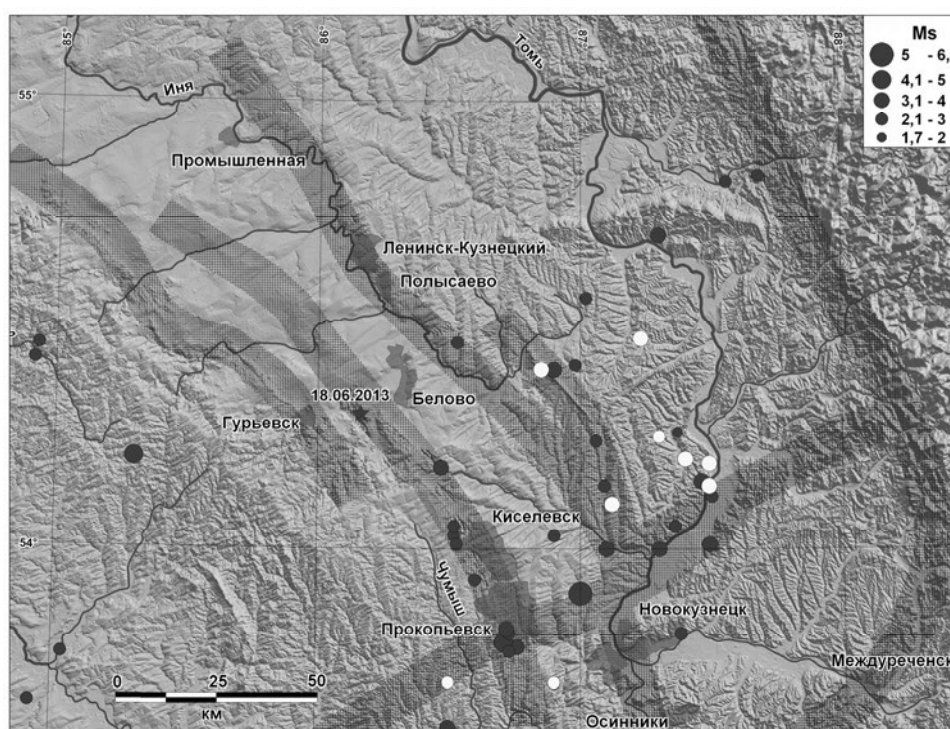


Рис. 1. Карта зон ВОЗ (возможных очагов землетрясений) Кузбасса.

На карте заштрихованными полосами показаны зоны ВОЗ.

Темные кружки – эпицентры землетрясений и их магнитуда; *светлые* – возможно взрывы; *звездочкой* показан эпицентр Бачатского землетрясения 18.06.2013.

В связи с этим было выдвинуто предположение, что зарегистрированная сейсмичность лишь частично носит техногенный характер, а имеет главным образом природное происхождение и является началом более мощной сеймотектонической активизации, вызванной интенсивной техногенной нагрузкой в районах разработки угля [2, 3]. Позже 18 июня 2013 г. в районе Бачатского угольного разреза произошло землетрясение с $M_s=5.2$ (по дан-

ным ГС РАН, <http://www.ceme.gsras.ru>). Максимальная интенсивность сотрясений в эпицентральной области составила 7 баллов по шкале MSK-84 [1]. Землетрясение сопровождалось мощным афтершоковым процессом. Облако афтершоков вытянуто в северо-западном направлении. Рассчитанный механизм очага главного толчка представляет собой практически чистый взброс; нодальные плоскости, одна из которых является плоскостью разрыва, также вытянуты в северо-западном направлении [1].

Известно, что газодинамическая ситуация является чутким индикатором состояния тектонического поля напряжений, а внезапные выбросы метана являются следствием роста напряжений. В то же время, далеко не все районы разработки угля сопровождаются сейсмическими активизациями. Результаты проведенных сеймотектонических исследований, показывают, что в зонах влияния геологических структур, ответственных за сейсмические активизации и внезапные газовые выбросы, наблюдаются формы рельефа, предположительно порожденные землетрясениями доинструментального периода наблюдений, изучение и датирование которых позволяет выявить повторяемость и силу природных землетрясений. Карта сейсмогенерирующих структур также позволяет прогнозировать возникновение техногенных сейсмических активизаций (рис. 1).

Литература

1. Еманов А.Ф., Еманов А.А., Фатеев А.В., Лескова Е.В., Шевкунова Е.В., Подкорытова Е.В. Техногенная сейсмичность Кузбасса (Бачатское землетрясение 18 июня 2013 г.) // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. – 2014. – № 2. – С. 41-46.
2. Овсяченко А.Н., Рогожин Е.А., Новиков С.С., Мараханов А.В., Ларьков А.С., Акбиев Р.Т., Могушков Е.М. Палеосейсмогеологические и тектонические исследования сейсмоопасных территорий юга Кузбасса // Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений. – 2010. – № 6. – С. 35-45.
3. Овсяченко А.Н., Рогожин Е.А., Новиков С.С., Мараханов А.В., Ларьков А.С. Природа массового разрывообразования при сейсмической активизации в Центральном Кузбассе // Вопросы инженерной сейсмологии. – 2010. – Т. 37. – № 4. – С. 5-24.

**ПРИНЦИПЫ ТИПИЗАЦИИ ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ СРЕДЫ
ДЛЯ ЦЕЛЕЙ СЕЙСМИЧЕСКОГО МИКРОРАЙОНИРОВАНИЯ
РАЙОНОВ РАЗРАБОТКИ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ
(НА ПРИМЕРЕ ЭРДЭНЭТА И УЛАН-БАТОРА, МОНГОЛИЯ)**

Т.Г. Рященко

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

Город Эрдэнэт построен в 1973 г. в связи с разработкой месторождения медно-молибденовых руд; в этом районе находится крупнейший в Азии горно-обогатительный комбинат (ГОК). Для гражданской и промышленной зон города, который расположен в пределах межгорной впадины в области высокой сейсмической активности (семь – девять баллов), в 2005–2009 гг. по заданию администрации ГОКа сотрудниками Института земной коры СО РАН (Россия, Иркутск, ИЗК СО РАН) и Исследовательского центра астрономии и геофизики Академии наук Монголии (Улан-Батор) выполнялись геофизические и инженерно-геологические работы по сейсмическому микрорайонированию (СМР). Составлена схематическая карта типизации геологической среды (ГС) территории (рабочая основа 1:25000) для целей СМР; макет этой карты опубликован [2, 3].

Улан-Батор основан в 1639 г., как кочующий населенный пункт, который только в 1778 г. становится оседлым и получает название Оргоо (Урга). Уточнения сейсмической опасности столицы, в районе которой ведутся разработки полезных ископаемых (прежде всего, стройматериалов и др.) также потребовали выполнения инженерно-геологических исследований, результатом которых снова явилась схематическая карта типизации ГС, составление которой проходило по аналогичной с Эрдэнэтом методике (рабочая основа 1:25000), правда, с некоторыми изменениями. Макет этой карты также опубликован [4].

Прежде чем перейти к изложению методических принципов типизации ГС исследованных территорий для целей СМР, которые, по нашему мнению, заслуживают внимания в качестве новых разработок, следует заметить, что они соответствуют современным тенденциям в развитии инженерной геологии. При составлении карты крупномасштабного (детального) инженерно-геологического районирования территории г. Москвы эти тенденции были выражены путем введения в практику картографирования вместо традиционных таксонов «регион, область, район, участок» понятия «геологический массив» с его индексацией [1].

Авторами выделены мега-, макро-, мезомассивы соответственно по структурно-геодинамическому, геоморфологическому и литолого-стратиграфическому принципам; инженерно-геологические массивы установлены по

характеру распространения опасных природно-техногенных геологических процессов и грунтов [1].

Принцип выделения грунтовых массивов впервые был использован значительно раньше (2001–2005 гг.) при типизации ГС Иркутска [5,6], позднее – Эрдэнэца [3] и Улан-Батора [4]. В представляемой статье изложены основные позиции по методике составления карты типизации ГС для целей СМР территорий с высокой сейсмической активностью.

Можно выделить следующие основные позиции методического характера.

Преимущества методики. Во-первых, предлагаемый «картографический продукт» имеет аналитический характер и поэтому менее загружен в техническом отношении. Во-вторых, выполненная типизация ГС города в отличие от районирования (разделения) территории позволяет установить (объединить) по разработанным принципам участки с типовым разрезом грунтовой толщи и оценить степень ее устойчивости к сейсмическим и техногенным воздействиям на качественном и полуколичественном уровне с применением метода экспертных оценок. В-третьих, в этом случае ликвидируется понятие «средний грунт», которое, вероятнее всего, до сих пор используется при проведении работ по СМР урбанизированных территорий.

Характер исходных материалов. Используются технические отчеты по результатам инженерно-геологических и гидрогеологических исследований (фондовые материалы); проводится рекогносцировка территории; привлекаются данные современных инженерно-геологических изысканий монгольских специалистов на отдельных строительных площадках.

Принципы типизации ГС. Выделяются типы ГС – грунтовые мегамассивы с различной мощностью четвертичных (кайнозойских) отложений; подтипы ГС – грунтовые мезомассивы в пределах определенных геоморфологических элементов; виды ГС – грунтовые микромассивы определенного строения (типовые разрезы): геолого-литологические колонки с выделением геолого-генетических комплексов кайнозойских отложений и геологических формаций с элювиальной зоной; указывается глубина залегания грунтовых вод и мощность литологических и петрографических разновидностей пород; колонки выносятся за пределы картографического пространства или записываются в виде индексационного кода, когда в строке указываются условные индексы для обозначения элементов типового разреза.

Состав и свойства грунтов в пределах микромассивов. Эти фактические данные учитываются на предмет их влияния на устойчивость микромассива к сейсмическим (S) или техногенным (T) воздействиям.

Далее для двух городов Монголии кратко представим результаты типизации ГС для целей СМР, выполненной по изложенным методическим принципам.

Эрдэнэт. Для составления карты на территории города проводилась рекогносцировка; изучен разрез скважины 4гр (глубина 80 м) в пределах озерного расширения долины р. Эрдэнтуйн; использованы материалы современных инженерно-геологических изысканий, проведенных монголь-

скими коллегами на трех площадках – в промышленной зоне и будущем жилом северо-восточном микрорайоне.

Типы ГС – это грунтовые мегамассивы с различной мощностью четвертичных отложений: А – 45–70 м; Б – 20–40 м; В – 10–15 м; Г – 5–10 м; Д – 3–5 м; Е – менее 3 м. Подтипы ГС – грунтовые мезомассивы (выделено шесть: I–VI), при этом каждый расположен в пределах одного геоморфологического элемента: А–I (озерное расширение долины р. Эрдэнтыйн); Б–II (первая и вторая террасы р. Эрдэнтыйн); В–III (пологие склоны, сложенные породами интрузивной триасовой и эффузивной пермской формаций); Г–IV (древние долины); Д–V (молодые конуса выноса и предгорные шлейфы с эрозионными формами в лессовидных отложениях); Е–VI (водоразделы и крутые склоны).

Для каждого из шести подтипов выделяются виды ГС – грунтовые микромассивы (всего восемь), особенности которых могут снижать устойчивость к сейсмическим воздействиям. Оценка проводится по шкале условных индексов от 0 до 3: 0 – влияние отсутствует; 1 – слабое, 2 – среднее, 3 – существенное. Каждому подтипу ГС соответствует определенный участок территории города с типовыми разрезами (микромассивами).

Максимальную сумму индексов (13) «набирает» участок, соответствующий микромассиву А–I–1, для которого установлены следующие особенности: 1) сложное строение грунтовой толщи (от трех до пяти этажей) (3 индекса); 2) разнородное чередование в разрезе различных литологических разновидностей дисперсных грунтов, общая мощность которых достигает 70 м (3 индекса); 3) присутствие среди песчаных и крупнообломочных грунтов прослоев черных суглинков болотно-старичных фаций (мощность прослоев 0,5–4,0 м), склонных к тиксотропии (3 индекса); 4) присутствие в качестве подстилающей основы для дисперсных грунтов особых образований элювиальной зоны гранодиоритов, которые включают «сапролиты», «рухляк» (особые проблемные группы) и «разборную скалу» (трещинная подзона элювия) (2 индекса); 5) разнородная обводненность: в четвертичных отложениях грунтовые воды залегают на глубине от 2–3 до 14–20 м, трещинные воды в элювии – на глубине 20–50 м (2 индекса). Общая сумма индексов равна 13 ($\sum^{A-I-1} = 13$). Этот участок весьма слабой степени устойчивости (13 индексов) совпадает с 9-балльной зоной по карте СМР, остальные характеризуются слабой (8 индексов) (это 8-балльная зона) и средней (4–5 индексов) (7-балльная зона) устойчивостью. Следовательно, «инженерно-геологический метод» работает.

Улан-Батор. Город находится в пределах Уланбаторской впадины, заложенной в нижнемеловое время; в кайнозое продолжается унаследованное развитие этой структуры. Для составления схематической карты типизации ГС территории были использованы: карта мощности рыхлых отложений города, которая сопровождалась геолого-гидрогеологическими разрезами и колонками для 227 гидрогеологических скважин глубиной 10–250 м (при типизации выбрано 25); схематическая геологическая карта района Улан-Батора (фонды Исследовательского центра астрономии и геофизики Акаде-

мии наук Монголии); разрез инженерно-геологической скважины П4 глубиной 24 м, пробуренной в 1979 г. в пределах платообразной возвышенности северной части Улан-Батора, и некоторые обнажения в районе Аэропорта, которые были детально описаны и опробованы автором статьи.

Типы ГС – это грунтовые мегамассивы с различной мощностью кайнозойских отложений: А – 100–120 м и более; Б – 50–80 м (до 100 м); В – 30–50 м; Г – 10–30 м; Д – менее 10 м (редко до 15). Подтипы ГС (мезомассивы: I–V) соответствуют определенным геоморфологическим элементам и поскольку эти элементы расположены в пределах каждого мегамассива к индексу последнего добавляется «геоморфологический» индекс: А–I (мезомассив в пределах платообразной возвышенности); Б–II (в пределах высокой поймы и первой террасы р. Толы); В–III (пойм и надпойменных террасы р. Толы и ее притоков); Г–IV (конусов выноса, предгорных шлейфов и распадков); Д–V (склонов и водоразделов, сложенных докайнозойскими скальными грунтами). Виды ГС представляют собой грунтовые микромассивы (типовые разрезы) определенного строения; на территории Улан-Батора их выделено 13: А–I–1, А–I–2, А–I–3; Б–II–4, Б–II–5, Б–II–6; В–III–7; Г–IV–8, Г–IV–9, Г–IV–10, Г–IV–11; Д–V–12, Д–V–13. Оценка устойчивости грунтовых микромассивов (им соответствуют определенные участки города) проводится отдельно к техногенным (Т) и сейсмическим (S) воздействиям по шкале условных индексов от 1 до 4 (1–относительно высокая, 4–слабая), затем рассчитывается суммарный индекс.

В качестве примера рассмотрим участок, которому соответствует микромассив А–I–3 (скважина П4). Выделено пять этажей – чередование аллювиально-пролювиальных крупнообломочных отложений и озерных песчаных глин и алевролитов (палеоген); глины и алевролиты имеют высокую плотность (2,00–2,30 г/см³) и очень низкую влажность (<0,5), модуль общей деформации крупнообломочных грунтов достигает 12 МПа; глубина залегания грунтовых вод > 30 м. Следовательно, устойчивость микромассива к техногенным воздействиям (Т) можно оценить как относительно высокую (1 индекс). Устойчивость к сейсмическим воздействиям (S) понижает разнородность разреза грунтовой толщи (в пределах 24 м выделено пять этажей), поэтому поведение этого «слоеного пирога» предположительно оценивается как неустойчивое (3 индекса) ($\sum^{A-I-3} = 4$).

Устойчивость микромассивов Б–II–4, 5, 6 к техногенным и сейсмическим воздействиям можно оценить как слабую (в обоих случаях присваиваем по четыре индекса) по причине обводненности грунтов современного аллювия, присутствия в делювиально-пролювиальном комплексе лессовидные просадочных супесей и сложности строения типовых разрезов. Эти разрезы представляют своеобразную «матрешку» – современные обводненный аллювий и просадочный лессовидный комплекс вложены в мощные моласовые (dpQ) и крупнообломочные аллювиально-пролювиальные неогеновые отложения. Суммарный индекс устойчивости – $\sum^{B-II-4-6} = 8$).

Таблица 1

Устойчивость территории г. Улан-Батора к техногенным (Т) и сейсмическим (S) воздействиям

Участки	Σ	Степень устойчивости
А-I	4 [1 (Т) + 3 (S)]	Средняя
Б-II	8 [4 (Т) + 4 (S)]	Слабая
В-III	3 [1 (Т) + 2 (S)]	Относительно высокая
Г-IV	3 [1 (Т) + 2 (S)]	Относительно высокая
Д-V	4 [2 (Т) + 2 (S)]	Средняя

В табл. 1 представлена оценка (в условных индексах) устойчивости различных участков, выделенных при типизации ГС территории Улан-Батора.

Литература

1. Осипов В.И., Бурова В.Н., Заиканов В.Г. и др. Принципы составления карты крупномасштабного (детального) инженерно-геологического районирования территории г. Москвы // Геозкология. – 2011. – № 4. – С. 306-318.
2. Районирование сейсмической опасности территории города Эрдэнэта / В.И. Джурик, С.П. Серебренников, Т.Г. Рященко и др. – Иркутск: Институт земной коры СО РАН, 2011.
3. Рященко Т.Г. Типизация геологической среды при сейсмическом микрорайонировании территории г. Эрдэнэта (Монголия) // Известия ВУЗов. Геология и разведка. – 2010. – № 5. – С. 71-78.
4. Рященко Т.Г. Типизация геологической среды территории Улан-Батора (картографическая модель) // Современная геодинамика и опасные природные процессы в Центральной Азии. Вып. 7. – Иркутск: Институт земной коры СО РАН, 2012. – С. 127-133.
5. Рященко Т.Г., Акулова В.В. Оценка устойчивости геологической среды г. Иркутска (картографическая модель) // Вестник ИрГТУ. – 2005. – № 2. – С. 48-52.
6. Рященко Т.Г., Акулова В.В., Макаров С.А. Картографическая модель геозкологического состояния территории // География и природные ресурсы. – 2001. – № 4. – С. 110-117.

**КОМПЛЕКСНАЯ ОЦЕНКА ТОРФЯНЫХ ТЕЛ
С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ДАННЫХ СЪЕМКИ С БПЛА
И ГЕОРАДИОЛОКАЦИИ В ЗОНЕ РАЗРАБОТКИ МЕСТОРОЖДЕНИЯ
ТВЕРДЫХ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ
МОРФОЛОГИЧЕСКОЙ СТРУКТУРЫ БОЛОТ**

**С.А. Садков¹, Т.В. Орлов¹, И.В. Воловинский^{1,2},
Т. Дамс³, А.В. Зверев¹**

¹ Институт геоэкологии им. Е.М. Сергеева РАН, Москва, Уланский пер. 13, стр. 2.
E-mail: dist@geoenv.ru

² Географический факультет, Московский государственный университет им. Ломоносова

³ University of Greifswald [Ernst-Moritz-Universität Greifswald]

Данная работа посвящена разработке методики объемного моделирования торфяных геологических тел с помощью аэрофотосъемки с беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) и наземного георадарного зондирования.

Торфяные тела на поверхности земли заняты болотными ландшафтами, играющими свою особую роль в гидрологическом балансе территории, эмиссии и накоплении парниковых газов, биоразнообразии. Болотные ландшафты занимают значительные площади в таежной и тундровой зонах и часто являются объектами, в пределах которых идет воздействие горнодобывающей промышленности на окружающую среду. В пределах болотных ландшафтов выделяются особые грядово-мочажинные комплексы, индицирующие основные направления поверхностных потоков. Вероятностное моделирование методом математической морфологии ландшафта является перспективным подходом, для их изучения.

Георадарное зондирование (георадиолокация) и съемка с беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) интенсивно развиваются в настоящее время. К безусловным преимуществам этих методов относятся высокая скорость получения данных и возможность точной пространственной привязки. Выполненные на настоящий момент работы по съемке болотного микро-рельефа при помощи БПЛА свидетельствуют о большом потенциале данного метода для изучения болот различных типов по сравнению с наземной съемкой, аэрофотосъемкой и лазерным сканированием (LIDAR) по сочетанию стоимости работ, производительности и точности; при этом наиболее точные результаты можно получить с применением станций GPS наземного базирования [6]. В то же время, существует возможность совмещения данных различных источников, которая позволит при точности глобального позиционирования порядка первых метров получить на один порядок более высокую точность относительного измерения расстояний. В нашей работе мы рассматриваем возможности совмещения данных собственного GPS-приемника георадара и космического снимка пространственным разрешени-

ем 0,5 м для позиционирования ортофотоплана, изначально не имеющего пространственной привязки.

В качестве образца для выполнения такой работы было выбран модельный участок грядово-мочажинного верхового болота, расположенного на территории Приморского района Архангельской области. Выбранное тестовое болото, его вертикальная и горизонтальная структура является типичной для изучаемой территории, но находится в ненарушенном состоянии. В районе идет разработка месторождения алмазов им. М.В. Ломоносова (рис 1.)

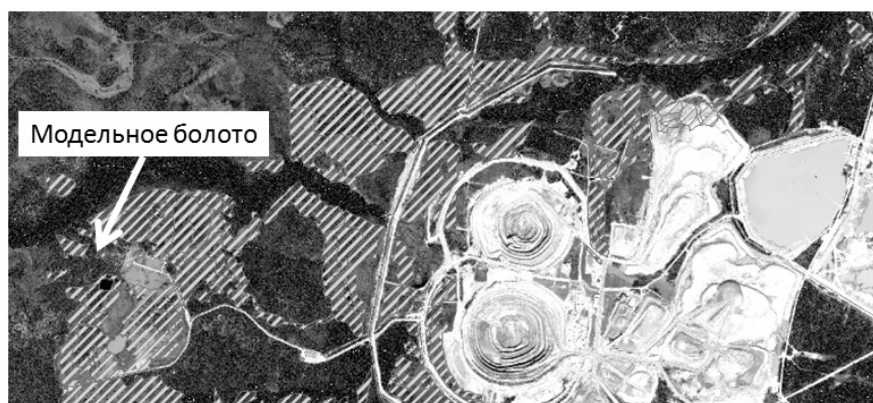


Рис. 1. Положение тестового болота относительно месторождения алмазов им. М.В. Ломоносова (болотные системы показаны штриховкой)

Болотные массивы находятся в тесном взаимодействии с инфраструктурой месторождения и испытывают существенное влияние вследствие ряда процессов: механического, осушения, подтопления, использование как фильтра для карьерных вод и др.

Апробация предложенных методов для ненарушенного болотного массива позволит тестировать предложенную методику, а затем распространить и на нарушенные системы.

Болото представляет собой удобный объект для изучения обоими методами [1, 6]. С одной стороны, поверхность грядово-мочажинного болота имеет сложный рельеф со множеством гряд и мочажин, при перепаде высот менее 1 м, что позволяет в полной мере использовать возможности БПЛА. С другой стороны, торфяная толща и подстилающие ее в данном месте водноледниковые и аллювиальные пески представляют собой среду, хорошо проницаемую радиоволнами используемой частоты. К факторам, осложняющим работу, можно отнести залесенность выбранного участка, создающую затруднения при взлете и посадке БПЛА и анализе результатов съемки, а также неровность и труднопроходимость грядово-мочажинного микро-рельефа и неоднородность распределения скорости электромагнитных волн

в торфяной толще, вносящие дополнительные погрешности в результаты георадарного зондирования.

Для съемки нами использовались БПЛА SKYCAP с камерой GoPro3 и георадар Zond-12e с экранированной антенной рабочей частотой 300 МГц. Обработка данных съемки, создание и привязка ортофотопланов осуществлялись в программе AgisoftPhotoscan. Георадарные профили обрабатывались по общепринятой методике [1, 5].

Скорость прохождения электромагнитных волн в торфе для модельного болота заверялась при помощи бурения дополнительных скважин с измерением глубины торфа. Поскольку ключевым фактором, влияющим на распределение скорости электромагнитных волн в торфяной толще является электропроводность пород, а ключевым компонентом, вносящим наибольший вклад в величину электропроводности торфа, является вода с растворенными в ней веществами, для оценки вертикального распределения электропроводности в торфяной толще был проведен отбор проб болотных вод с различных глубин с измерением их электропроводности. Отбор проб проводился с поверхности, с глубин 0,5-1,0 м, 1,5-2,0 м и т.д. На основании этих данных можно рассчитать диэлектрическую проницаемость болотных вод на определенной глубине [1].

Однако в реальности торф является двухфазной средой, состоящей из двух компонентов: болотных вод и органических остатков. Оценка его электропроводности может быть выполнена по одной из формул, разработанных для различных моделей неупорядоченной среды, применяемых в геофизике для расчета электропроводности и скорости распространения электромагнитных волн в неупорядоченной смеси двух компонентов [2, 4].

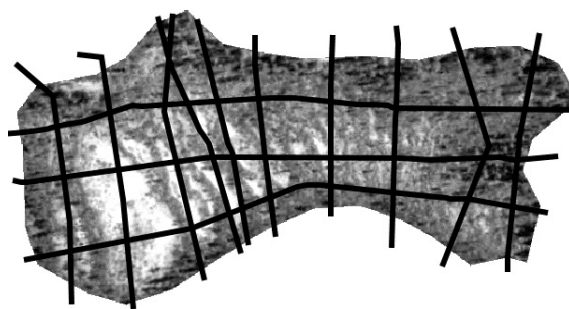


Рис. 2. Фрагмент модельного болота и расположение на нем георадарных профилей

По результатам работы были получены ортофотоплан крупного фрагмента модельного болота и ряд георадарных профилей (рис. 2). Эти данные дают возможность построения трехмерной растровой модели поверхности рельефа и дна болота [3].

Также определенный интерес представляют полученные эмпирические данные о вертикальном распределении электропроводности болотных вод в толще грядово-мочажинного болота. Результатами исследований модельного болота и окружающих его территорий установлено, что минимум электропроводности воды приходится на приповерхностные участки профиля. Далее на глубине 1 м находится локальный максимум электропроводности, за которым следует устойчивое его падение, сопровождающееся значимым подъемом в придонном слое (рис. 3).

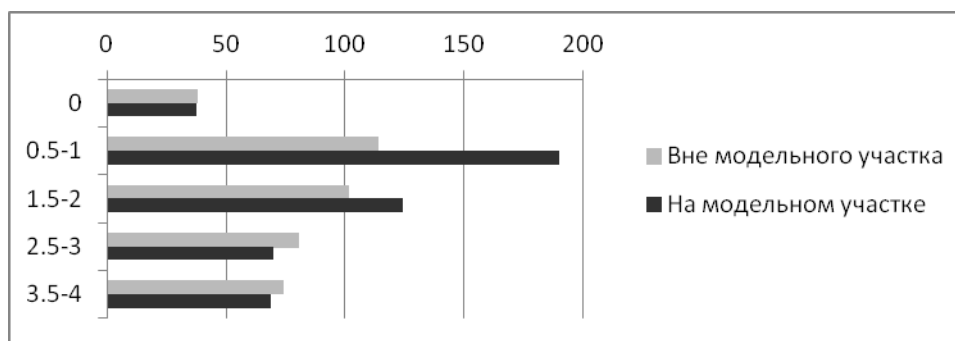


Рис. 3. Изменение электропроводности болотных вод (мкСм) на модельном участке болота с глубиной (приведено к 25 °С)

В результате обработки снимков с БПЛА была получена мозаика для поверхности рельефа и растительности. Точность полученных снимков и картографирования составила 0,05 м/пикс. Были выделены основные типы микрокомплексов, имеющих значение для анализа гидрологического режима, распространения загрязнителей и современных процессов. С помощью данных с БПЛА можно достоверно оценить степень обводненности, частей болота, что необходимо для оценок осушенности и пожароопасности и величины эмиссии парниковых газов.

Для целей изучения изменения морфологической структуры болот с помощью БПЛА были получены следующие параметры: ширина гряд и их частей, площадь мочажин и их частей, превышения гряд над мочажинами и др.

Таким образом, результаты работы показывают потенциал практического совмещения результатов съемки с БПЛА и георадиолокации для получения оперативных данных о трехмерной структуре геологических тел. Представленная в работе методика оценки распределения скорости прохождения электромагнитных волн в торфяной толще нуждается в дальнейшей разработке, прежде чем она смогла бы снизить погрешность измерения глубины торфяной толщи до порядка первых сантиметров.

К выявленным объективным трудностям применения метода следует отнести: уязвимость БПЛА к воздействию ветра и влаги; сложность построения ортомозаик сантиметрового разрешения на залесенных территориях; высокие погрешности определения скорости прохождения электромагнитных волн в двухфазной среде.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ № 15-05-04948.

Литература

1. *Владов М.Л., Старовойтов А.В.* Введение в георадиолокацию: учеб. пособие. – М.: Изд-во Московского университета, 2005.
2. *Корбанова В.Н.* Петрофизика: учебник для вузов по спец. «Геофизические методы поисков и разведки месторождений полезных ископаемых». 2-е изд. – М.: Недра, 1986. – С. 141-185.
3. *Орлов Т.В., Садков С.А., Зверев А.В., Викторов А.С., Калашиников А.Ю., Заров Е.А., Филиппов И.В.* Использование георадарных и дистанционных методов и математического моделирования при изучении торфяных отложений для решения геоэкологических задач // 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.). – М.: РУДН, 2016. – С. 679-683.
4. *Судакова М.С.* Разработка и применение методики диэлектрических измерений с использованием полевого георадара в лабораторных условиях: автореф. дис. ... канд. физ.-мат. наук. – М.: Изд-во Московского университета, 2009.
5. *Старовойтов А.В.* Интерпретация радиолокационных данных. – М.: Изд-во Московского университета, 2008.
6. *Macer J.J., Westbrook C.J.* Ultrahigh resolution mapping of peatland microform using ground-based structure from motion with multi-view stereo// Journal of Geophysical Research: Biogeosciences. Vol. 121, 2016 DOI: 10.1002/2016JG003478.

УКАЗАТЕЛЬ АВТОРОВ

Абатурова И.В., Петрова И.Г., Королева И.А., Патракова М.С. Оценка влияния освоения месторождений полезных ископаемых на природно-территориальные комплексы (на примере месторождений Якутии), с. 444

Абатурова И.В., Савинцев И.А., Стороженко Л.А., Борисихина О.А. Разведка и разработка рудных месторождений и их влияние на геоэкологические условия, с. 7

Абдрахманов Р.Ф., Попов В.Г., Ахметов Р.М. Гидрогеоэкологические проблемы горнорудного комплекса Южного Урала, с. 363

Абдуллаев Б.Д., Мирасланов М.М., Туляганов Б.И. Оценка геолого-экологической безопасности хвостохранилищ и критериальные признаки прорывоопасности их плотин, с. 204

Абрамова Т.Т. Технологические решения обеспечения безопасности добычи твердых полезных ископаемых, с. 126

Абрамович А.А., см. Абрамович О.К., с. 494

Абрамович О.К., Абрамович А.А. Проблемы инженерной и экологической геодинамики при разработке Речицкого нефтяного месторождения (Припятский прогиб), с. 494

Агзамова И.А., см. Исмаилов В.А., с. 41

Адылов А.А., см. Исмаилов В.А., с. 41

Азаренко В.А., см. Норель Б.К., с. 178

Акулов Н.И., см. Акулова В.В., с. 209

Акулова В.В., Акулов Н.И., Худоногова Е.В., Рубцова М.Н. Современные геоэкологические проблемы угледобывающих регионов, с. 209

Акчурин М.И. см. Яшков И.А., с. 86

Алексеев И.В., см. Дашко Р.Э., с. 37

Алентьев Ю.Ю., Ведерникова М.И. Влияние фактора общественного мнения на создание горно-обогатительных комбинатов на примере Новохоперского ГОКа, с. 12

- Алёшин Ю.Г., см. Торгоев И.А., с. 266*
- Алименко Т.Г., Мележ, Т.А. Геоэкологические проблемы Солигорского промышленного узла, с. 16*
- Аманов К.А., см. Кожобаев К.А., с. 242*
- Андреев Д.О., см. Кауркин М.Д., с. 509*
- Аникеев А.В. Некоторые особенности разрушения слабопроницаемых грунтов при снижении напора подземных вод, с. 131*
- Аракелян Ф.О., см. Попова О.Г., с. 549*
- Архипова Е.В. см. Николаев А.В., с. 539*
- Атрощенко Ф.Г. Влияние суффозионных процессов на состояние водопонижающих скважин при отработке месторождения им. М.В. Ломоносова, с. 368*
- Атрощенко Ф.Г., см. Хархордин И.Л., с. 350*
- Ахметов Р.М., см. Абдрахманов Р.Ф., с. 363*
- Ахметов Р.М. Техногенные минеральные ресурсы Южного Урала, с. 214*
- Аюпова Э.Я., Харькина М.А., Самарин Е.Н. Геоэкологические условия территории Россошинской площади Волгоградского подземного хранилища газа и необходимость мониторинга экологических систем, с. 272*
- Бардамова И.В., Дорошкевич С.Г. Использование природных сорбентов в схеме очистки рудничных вод сульфидно-вольфрамового месторождения Холтосон, с. 219*
- Батрак Г.И. Закономерности формирования гидродинамического и гидрохимического режимов подземных вод в г. Сланцы в связи с затоплением шахт, с. 373*
- Батрак Г.И., см. Карфидова Е.А., с. 503*
- Бауэр Т.В., см. Линник В.Г., с. 312*
- Белюсова А.П. Концепция экологического мониторинга объектов нефтегазовой промышленности, с. 277*
- Беляев В.Р., см. Гаранкина Е.В., с. 282*
- Бенедик А.Л. см. Макеев В.М., с. 518*
- Богомолов А.Н., см. Габиров Ф.Г., с. 146*
- Бозоров Д.Ш., см. Исмаилов В.А., с. 41*
- Болгаров А.Г., см. Травкин А.И., с. 115*
- Бондарь И.В. см. Макеев В.М., с. 101*

- Борисихина О.А., см. Абатурова И.В., с. 7*
- Боровков Ю.А., см. Норель Б.К., с. 178*
- Буй Куок Зунг, Пуневский С.А., Дервянкин В.В. Оценка устойчивости отвальных насыпей несцементированных пород с помощью комплексного зондирования, с. 139*
- Булдакова Е.В., см. Минакова Т.Б., с. 56*
- Бычинский В.А., см. Головных Н.В., с. 228*
- Вегнер-Козлова Е.О., см. Гуман О.М., с. 32*
- Ведерникова М.И., см. Алентьев Ю.Ю., с. 12*
- Виноградова Т.Н., см. Яшков И.А., с. 86*
- Воловинский И.В., см. Орлов Т.В., с. 544*
- Воловинский И.В., см. Садков С.А., с. 562*
- Волчек А.А., Шведовский П.В. Концептуальные основы прогноза геоэкологической безопасности районов освоения месторождений полезных ископаемых, с. 92*
- Габибов Ф.Г. Вопросы оценки и обеспечения устойчивости бортов карьеров, сложенных набухающими глинистыми породами, с. 142*
- Габибов Ф.Г., Богомолов А.Н., Зейналов А.З. Исследование влияния основных прочностных свойств глинистых грунтов на устойчивость откосов и склонов, с. 146*
- Галицкая И.В., см. Макеев В.М., с. 518*
- Гальперин А.М., Мосейкин В.В., Кутепов Ю.И., Дервянкин В.В. Прогноз и мониторинг состояния отвальных сооружений горных предприятий, с. 150*
- Гараева А.Н., Храмченков М.Г. Миграция загрязнений в форме взвесей и кольматация порового пространства, с. 380*
- Гаранкина Е.В., Беляев В.Р., Гуринов А.Л., Добрыднева Л.В., Иванов М.М., Кузьменкова Н.В., Романенко Ф.А., Туляков Е.Д. Определение вклада катастрофических геоморфологических процессов в распространение радиоактивного загрязнения после разработки ловчорритовых руд в долине Гакмана, Хибин, Кольский п-ов, с. 282*
- Гимаев Б.Д., Тихонов В.В. Мокрая магнитная сепарация золошлаковых отходов тепловой электростанции г.Северск, с. 223*
- Глазунов О.М., см. Головных Н.В., с. 228*

Головных Н.В., Бычинский В.А., Филимонова Л.М., Чудненко К.В., Глазунов О.М. Особенности мониторинга и нормирования техногенных нагрузок в зоне действия алюминиевых производств, с. 228

Гречёва М.К. Геохимические процессы развития природно-техногенной системы апатит-нефелинового месторождения Хибинских тундр, с. 20

Гребенец В.И., Найдено А.А., Толманов В.А., Хайрединова А.Г., Павлушин В.Б. Геотехнические и геоэкологические проблемы территории Ямбургского газоконденсатного месторождения, с. 448

Григорьева С.В. Оценка изменений геологической среды при разработке твердых полезных ископаемых (на примере медноколчеданных месторождений южного Урала), с. 24

Грязнов О.Н., Елохина С.Н. Концептуальные положения геоэкологической безопасности территорий интенсивной добычи твердых полезных ископаемых Урала, с. 27

Гуман О.М., Вегнер-Козлова Е.О. Региональная специфика инженерных изысканий как фактор обеспечения геоэкологической безопасности в контексте задач устойчивого развития УФО, с. 32

Гурин А.Н., см. Хархордин И.Л., с. 350

Гуринов А.Л., см. Гаранкина Е.В., с. 282

Дабеева В.В. см. Плюснин А.М., с. 405

Давиденко В.А., Подлипенская Л.Е., Хребтова Т.В. Оценка рисков в районах разработки месторождений полезных ископаемых, с. 96

Дадаходжаева Н.Р. Оценка устойчивости горных выработок по степени сложности инженерно-геологических условий (на примере Каульдинского месторождения), с. 155

Дамс Т., см. Садков С.А., с. 562

Дашко Р.Э., Алексеев И.В. Инженерно-геологические особенности изучения безопасности эксплуатации Яковлевского месторождения богатых железных руд на основе анализа подземного пространства как многокомпонентной системы, с. 37

Деревянкин В.В., см. Буй Куок Зунг, с. 139

Деревянкин В.В., см. Гальперин А.М., с. 150

Добрыднева Л.В., см. Гаранкина Е.В., с. 282

Дорожко А.Л., см. Макеев В.М., с. 101

Дорошкевич С.Г., Смирнова О.К. Распределение потенциально токсичных элементов в профиле почв рекультивированных территорий хранилищ отходов обогащения сульфидно-вольфрамовых руд, с. 287

Дорошкевич С.Г., см. Бардамова И.В., с. 219

Дьяконов П.Ю. Использование отходов горнопромышленного комплекса при освоении территорий со сложными инженерно-геологическими условиями, с. 234

Евдокимова М.Ю., Осипов Ю.Б. Комплексный мониторинг района урановых месторождений производственного объединения «Алмаз» (Ставропольский край), с. 292

Елохина С.Н., см. Грязнов О.Н., с. 27

Ефремкин И.М., см. Холмянский М.А., с. 488

Ефремкин И.М., Снопов Е.М., Холмянский М.А. Комплексный мониторинг районов освоения морских месторождений полезных ископаемых, с. 297

Жабриков С.Ю., см. Кнатько М.В., с. 302

Жигалин А.Д., см. Николаев А.В., с. 539

Жур В.Н., см. Прокопов А.Ю., с. 107

Заиканов В.Г., Заиканова И.Н., Матвеева Л.А., Минакова Т.Б. Геоэкологическая устойчивость природно-технических систем при освоении месторождений полезных ископаемых в Арктической зоне Российской Федерации, с. 454

Заиканова И.Н., см. Заиканов В.Г., с. 454

Захаров С.А., Мустафин С.К. Инженерно-геологические условия освоения россыпей алмазов Арктики (объекты бассейнов рек Анабар и Лена), с. 458

Зверев А.В. см. Садков С.А., с. 562

Зверев А.В., см. Орлов Т.В., с. 544

Здобин Д.Ю., см. Кнатько М.В., с. 302

Зейналов А.З., см. Габибов Ф.Г., с. 146

Ибрагимова Н.И. Определение гидрогеологических и инженерно-геологических факторов по космоснимкам на территорию Ангрэнского угольного разреза Республики Узбекистан, с. 497

Иванов А.В., см. Яшков И.А., с. 86

Иванов Г.И. см. Мищенко А.В., с. 317

- Иванов М.М., см. Гаранкина Е.В., с. 282*
- Исмаилов В.А., Адылов А.А., Агзамова И.А., Норматова Н.Р., Бозоров Д.Ш. К методике оценки геоэкологического состояния горнопромышленных районов, с. 41*
- Казанкова Э.Р., Корнилова Н.В. Геоэкологическая обстановка территории Калужской кольцевой структуры, с. 47*
- Казеев А.И., см. Постоев Г.П., с. 193*
- Казеев А.И., см. Постоев Г.П., с. 198*
- Калинин Э.В., Панасьян Л.Л., Спиридонов Э.М. Прогнозная оценка возможных процессов при разработке жильных месторождений, с. 160*
- Карпенко Ю.А., см. Филимоненко Е.А., с. 483*
- Карташёв А.О., см. Холмянский М.А., с. 488*
- Карфидова Е.А., Батрак Г.И. Геоморфометрический анализ нарушенных земель Балаклавского района Крыма в целях оценки инфильтрационного питания, с. 503*
- Касиев А.К., см. Кожобаев К.А., с. 242*
- Кауркин М.Д., Несынов В.В., Андреев Д.О. Расчет сейсмических воздействий для места постановки самоподъемной плавучей буровой установки «Нептун» с целью обеспечения геоэкологической безопасности, с. 509*
- Кнатъко М.В., Здобин Д.Ю., Жабриков С.Ю. Обеспечение геоэкологической безопасности территорий месторождений углеводородного сырья, с. 302*
- Кожобаев К.А., Аманов К.А., Рыскулов У.Д., Молдогазиева Г.Т., Касиев А.К. Состояние и пути решения проблем радиоактивных отходов севера Кыргызской республики, с. 242*
- Козловский С.В., см. Макеев В.М., с. 518*
- Корнилова Н.В., см. Казанкова Э.Р., с. 47*
- Коробова И.В., см. Макеев В.М., с. 101*
- Королёв В.А., Нестеров Д.С., Чернов М.С. Регулирование заряда глинистых частиц в связи с технологиями создания защитных экранов, с. 307*
- Королева И.А., см. Абатурова И.В., с. 444*
- Криночкина О.К., Лаврусевич А.А. Анализ воздействия месторождений различных промышленных типов на подземную гидросферу, с. 384*
- Кузьменкова Н.В., см. Гаранкина Е.В., с. 282*

- Курбонов Э.Ш.* Особенности гидрогеологических и инженерно-геологических условий при освоении Тюбегатанской площади калийных солей (на примере участка Курганташ), с. 165
- Кутепов Ю.И., см. Гальперин А.М., с. 150*
- Кутергин В.Н. см. Постоев Г.П., с. 193*
- Кутергин В.Н., Постоев Г.П., с. 198*
- Кутинов Ю.Г., Полякова Е.В., Чистова З.Б., Минеев А.Л.* Отражение структур кристаллического фундамента Архангельской алмазоносной провинции в современном рельефе, с. 514
- Лаврусевич А.А., см. Подлесных А.И., с. 72*
- Лаврусевич И.А., см. Подлесных А.И., с. 72*
- Лаврусевич А.А., см. Криночкина О.К., с. 384*
- Ларионова Н.А.* Влияние твердых отходов угольной промышленности на загрязнение окружающей среды, с. 247
- Ларьков А.С. см. Рогожин Е.А., с. 554*
- Линник В.Г., Хорошавин В.Ю., Минкина Т.М., Бауэр Т.В., Невидомская Д.Г.* Геоэкологическая обстановка в районе техногенного влияния Карабашского горнорудного предприятия, с. 312
- Лихачёва Э.А., Чеснокова И.В.* Оценка трансформации природной среды (на примере центральной России), с. 51
- Лукашов А.А.* Геоэкологические проблемы открытой и подземной добычи апатит-нефелиновых руд в южных Хибинах, с. 169
- Мавлянова Н.Г., см. Мирасланов М.М., с. 62*
- Макарова Н.В., см. Макеев В.М., с. 518*
- Макарова Н.В., см. Макеев В.М., с. 101*
- Макеев В.М., Дорожко А.Л., Мамаев Ю.А., Макарова Н.В., Суханова Т.В., Коробова И.В., Бондарь И.В.* Неотектоника южной части Верхнекамского месторождения калийных солей связи с обеспечением геодинамической безопасности рудников, с. 101
- Макеев В.М., Макарова Н.В., Галицкая И.В., Козловский С.В., Бенедик А.Л.* Неотектоника равнинного Крыма в связи с проблемами водоснабжения и экологической безопасностью, с. 518
- Максимович Н.Г., см. Хайрулина Е.А., с. 429*
- Малков А.В., см. Помеляйко И.С., с. 333*

- Малов А.И., см. Шкиль И.Э., 439*
- Мальнева И.В.* Оценка опасности хвостохранилищ горно-обогатительных фабрик вольфрамо-молибденовых руд на территории России, с. 252
- Мамаев Ю.А., см. Макеев В.М., с. 101*
- Мамаев Ю.А., Ястребов А.А.* Инженерно-геологическое районирование территории Соликамских рудников в Пермском крае РФ для оценки условий строительства и эксплуатации наземных капитальных объектов, с. 523
- Мамаев Ю.А., Ястребов А.А.* Формирование и особенности структурно-тектонического плана территории Верхнекамского месторождения калийных солей в Пермском крае РФ, с. 529
- Маслова Д.А.* Скважинная гидродобыча, как одна из адаптационных природосберегающих технологий при разработке месторождений полезных ископаемых, с. 174
- Матвеева Л.А., см. Заиканов В.Г., с. 454*
- Мележ, Т.А. см. Алименко Т.Г., с. 16*
- Меховников С.А. см. Филимоненко Е.А., с. 483*
- Минакова Т.Б., Булдакова Е.В.* Рекультивация нарушенных земель – один из путей решения геоэкологических проблем в районах разработки месторождений, с. 56
- Минакова Т.Б., см. Заиканов В.Г., с. 454*
- Минеев А.Л., см. Кутинов Ю.Г., с. 514*
- Минкина Т.М., см. Линник В.Г., с. 312*
- Мирасланов М.М., Мавлянова Н.Г.* Изменение геологической среды в Центрально-Кызылкумском горнопромышленном районе, с. 62
- Мирасланов М.М., см. Абдуллаев Б.Д., с. 204*
- Мищенко А.В., Иванов Г.И.* Оценка качества донных осадков центральной глубоководной части Баренцева моря (Штокмановское газоконденсатное месторождение), с. 317
- Молдогазиева Г.Т., см. Кожобаев К.А., с. 242*
- Мосейкин В.В., см. Гальперин А.М., с. 150*
- Мусин Р.Х.* Загрязнение подземной гидросферы в нефтедобывающих регионах и оптимальные пути решения этой проблемы (на примере Татарстана), с. 389
- Мустафин С.К., см. Захаров С.А., с. 458*

- Мязина Н.Г.* Геоэкологические особенности территории озера Эльтон, с. 394
- Назима В.В., см. Хархордин И.Л., с. 350*
- Найденко А.А., см. Гребенец В.И., с. 448*
- Невидомская Д.Г., см. Линник В.Г., с. 312*
- Недядько В.В., см. Попова О.Г., с. 549*
- Некрасов Д.Ю.* Идея оптимизации мониторинга трубопроводных систем с помощью «живой» 3D-модели, с. 463
- Несмеянов С.А.* Применение оротектонического метода при поисках россыпных месторождений в долинах горных рек, с. 533
- Нестеренко М.Ю. см. Нестеренко Ю.М., с. 400*
- Нестеренко Ю.М., Нестеренко М.Ю.* Техногенные изменения в подземных водах районов добычи углеводородов (на примере Южного Предуралья), с. 400
- Нестеров Д.С., см. Королёв В.А., с. 307*
- Несынов В.В., см. Кауркин М.Д., с. 509*
- Никитская К.Е.* Особенности выделения фоновых территорий, с. 322
- Николаев А.В., Жигалин А.Д., Архипова Е.В.* Техногенные эколого-геофизические аномалии в местах разработки месторождений полезных ископаемых, с. 539
- Николаева С.К., Огородникова Е.Н.* Геоэкологические проблемы размещения отходов топливно-энергетического комплекса, с. 257
- Никонова И.В., см. Петров Н.Ф., с. 187*
- Норель Б.К., Боровков Ю.А., Азаренко В.А.* Инварианты физических параметров разрушения неоднородных горных пород и массива при действии объемного напряженного состояния, с. 178
- Норматова Н.Р., см. Исмаилов В.А., с. 41*
- Овсюченко А.Н., см. Рогожин Е.А., с. 554*
- Огородникова Е.Н., см. Николаева С.К., с. 257*
- Огуречников А.А.* Экзогенно-криогенные опасности при разработке нефтегазовых месторождений криолитозоны, с. 468
- Ольховатенко В.Е.* Геоэкологические проблемы разработки открытым способом угольных месторождений Кузнецкого бассейна, с. 67

Ольховатенко В.Е., Прянишников Е.Г. Оценка геоэкологических условий и устойчивости бортов карьера Ключевского золоторудного месторождения, с. 183

Опекунов А.Ю., см. Опекунова М.Г., с. 327

Опекунова М.Г., Опекунов А.Ю., Папаян Э.Э., Сомов В.В. Оценка экологического риска воздействия горнорудной промышленности на окружающую среду Башкирского Зауралья с помощью био- и геоиндикаторов, с. 327

Орлов Т.В., Садков С.А., Зверев А.В., Панченко Е.Г., Воловинский И.В. Анализ растекания сбросных карьерных вод в пределах верхового болота, с. 544

Орлов Т.В., см. Садков С.А., с. 562

Осипов Ю.Б., см. Евдокимова М.Ю., с. 292

Ошкадер А.В., см. Хребтова Т.В., с. 121

Павлунин В.Б., см. Гребенец В.И., с. 448

Панасьян Л.Л., см. Калинин Э.В., с. 160

Панченко Е.Г., см. Орлов Т.В., с. 544

Папаян Э.Э., см. Опекунова М.Г., с. 327

Патракова М.С., см. Абатурова И.В., с. 444

Петров Н.Ф., Никонорова И.В., Прокопьева Н.А. Прочностные характеристики грунтов зоны смещения оползней, с. 187

Петрова И.Г., см. Абатурова И.В., с. 444

Плюснин А.М. Основы геоэкологической безопасности при разработке рудных месторождений, с. 261

Плюснин А.М., Ташлыков В.С., Дабаева В.В. Метаморфизация химического состава воды в отстойниках при длительном хранении на месторождении Бом-Горхон, с. 405

Подгорная Т.И. Особенности оценки природной опасности и рисков для размещения горнопромышленных комплексов в условиях востока России, с. 473

Подлесных А.И., Лаврусевич И.А., Лаврусевич А.А. Геоэкологические проблемы карьеров добычи материалов для цементной промышленности в Московской области, с. 72

Подлипенская Л.Е., см. Давиденко В.А., с. 96

Полякова Е.В., см. Кутинов Ю.Г., с. 514

Помеляйко И.С., Малков А.В. Результаты комплексного экологического мониторинга региона Кавказских минеральных вод, с. 333

- Попов В.Г., см. Абдрахманов Р.Ф., с. 363*
- Попов М.Г., см. Попова О.Г., с. 549*
- Попова О.Г., Попов М.Г., Аракелян Ф.О., Недядько В.В. Изучение геодинамики геологической среды в Мурманской области Кольского полуострова с помощью сейсмо-экологического мониторинга, с. 549*
- Поршнев А.И., см. Шкиль И.Э., с. 439*
- Постоев Г.П., Казеев А.И., Кутергин В.Н. Новая технология укрепления массива отвала и предотвращения разрушительного оползня, с. 193*
- Постоев Г.П., Казеев А.И., Кутергин В.Н. Новый способ определения основных характеристик прочности грунтов по одному испытанию на компрессионное сжатие, с. 198*
- Прокопов А.Ю., Жур В.Н., Ткачева К.Э. О критериях оценки влияния опасных геологических процессов на застроенные территории восточного Донбасса, с. 107*
- Прокопьева Н.А., см. Петров Н.Ф., с. 187*
- Прянишников Е.Г., см. Ольховатенко В.Е., с. 183*
- Пуневский С.А., см. Буй Куок Зунг, с. 139*
- Редина М.М., см. Хаустов А.П., с. 353*
- Рогожин Е.А., Овсяченко А.Н., Ларьков А.С. О природе сейсмических активизаций в Кузбассе, с. 554*
- Романенко Ф.А., см. Гаранкина Е.В., с. 282*
- Рубцова М.Н., см. Акулова В.В., с. 209*
- Рыбников П.А., Рыбникова Л.С. Изменение разгрузки подземных вод при отработке месторождений цементного сырья (Свердловская область, г. Сухой лог), с. 410*
- Рыбников П.А., см. Рыбникова Л.С., с. 410*
- Рыбникова Л.С., Рыбников П.А. Гидродинамическая модель затопления рудников горноскладчатого Урала, с. 416*
- Рыбникова Л.С., см. Рыбников П.А., с. 416*
- Рыскулов У.Д., см. Кожобаев К.А., с. 242*
- Рябова Л.Н. Эколого-геохимическое состояние компонентов ландшафта в зоне влияния карьера строительных материалов «Хотиславский» (Республика Беларусь), с. 339*

Рященко Т.Г. Принципы типизации геологической среды для целей сейсмического микрорайонирования районов разработки полезных ископаемых (на примере Эрдэнэца и Улан-Батора, Монголия), с. 557

Савинцев И.А., см. Абатурова И.В., с. 7

Садков С.А., Орлов Т.В., Воловинский И.В., Дамс Т., Зверев А.В. Опыт комплексной оценки объемной структуры торфяных грунтов с использованием данных съемки с беспилотных летательных аппаратов и георадиолокации в зоне разработки месторождения твердых полезных ископаемых, с. 562

Садков С.А., см. Орлов Т.В., с. 544

Самарин Е.Н., см. Аюпова Э.Я., с. 272

Скалин А.А., Скалин А.В. Разведка техногенных месторождений нефтепродуктов в интрузивных массивах, с. 421

Скалин А.В. см. Скалин А.А., с. 421

Смирнова О.К., см. Дорошкевич С.Г., с. 287

Снопова Е.М., см. Ефремкин И.М., с. 297

Сомов В.В. см. Опекунова М.Г., с. 327

Сотникова Д.Ю. Загрязнение подземной гидросферы в горнопромышленных районах России, с. 424

Спиридонов Э.М., см. Калинин Э.В., с. 160

Старицына И.А., Старицына Н.А. Затопленные рудники Среднего Урала: проблемы и перспективы, с. 111

Старицына Н.А. см. Старицына И.А., с. 111

Стегнар П. см. Торгоев И.А., с. 266

Стенина Н.Г. Redox контроль как основа рекультивации территорий горнодобывающих объектов, с. 344

Стороженко Л.А., см. Абатурова И.В., с. 7

Сунгатуллин Р.Х., Хасанов Р.Р. Геоэкологическая безопасность при разработке метанового энергетического сырья, с. 77

Суханова Т.В., см. Макеев В.М., с. 101

Ташлыков В.С., см. Плюснин А.М., с. 405

Тихонов В.В., см. Гимаев Б.Д., с. 223

Ткачева К.Э., см. Прокопов А.Ю., с. 107

Толманов В.А., см. Гребенец В.И., с. 448

- Торгоев И.А.* Техногенный прессинг на ледники в районе высокогорного рудника Кумтор, с. 478
- Торгоев И.А., Алёшин Ю.Г., Стегнар П.* Воздействие на окружающую среду хвостохранилищ бывшего полиметаллического рудника Сумсар, с. 266
- Травкин А.И., Болгаров А.Г.* Влияние зон разработки месторождений на инженерно-геологические условия территорий для строительства (на примере г. Уфы), с. 115
- Туляганов Б.И., см. Абдуллаев Б.Д., с. 204*
- Туляков Е.Д., см. Гаранкина Е.В., с. 282*
- Филимоненко Е.А., Язиков Е.Г., Карпенко Ю.А., Меховников С.А.* Ртуть в компонентах окружающей среды Мало-Тарныского рудного поля (Оймяконский район, республика Саха), с. 483
- Филимонова Л.М., см. Головных Н.В., с. 228*
- Хайрединова А.Г., см. Гребенец В.И., с. 448*
- Хайрулина Е.А., Максимович Н.Г.* Влияние шламохранилища с солесодержащими отходами на приповерхностную гидросферу, с. 429
- Хархордин И.Л., Назима В.В., Атрощенко Ф.Г., Шкиль И.Э., Гурин А.Н.* Научно-методическое и модельное обеспечение комплексного гидрогеологического и гидрогеомеханического мониторинга на месторождении алмазов им. М.В. Ломоносова, с. 350
- Харькина М.А., см. Аюпова Э.Я., с. 272*
- Хасанов Р.Р. см. Сунгатуллин Р.Х., с. 77*
- Хаустов А.П., Редина М.М.* Проблемы нормирования загрязнения геологической среды горнопромышленных районов полициклическими ароматическими углеводородами, с. 353
- Холмянский М.А., Ефремкин И.М., Карташёв А.О.* Геоэкологическое сопровождение освоения месторождений Арктического шельфа, с. 488
- Холмянский М.А., см. Ефремкин И.М., с. 297*
- Хорошавин В.Ю., см. Линник В.Г., с. 312*
- Храмченков М.Г., см. Гараева А.Н., с. 380*
- Хребтова Т.В., см. Давиденко В.А., с. 96*
- Хребтова Т.В., Ошкадер А.В.* Опасные и специфические объекты постэксплуатационной деятельности на территории Керченского железорудного бассейна, с. 121
- Худоногова Е.В., см. Акулова В.В., с. 209*

Цымбалов А.А. Метод наилучших доступных технологий в регенерации закольматированных водозаборных скважин, с. 434

Чернов М.С., см. Королёв В.А., с. 307

Ческидов В.В. Современные задачи комплексного мониторинга состояния горнотехнических объектов, с. 358

Чеснокова И.В. см. Лихачёва Э.А., с. 51

Чистова З.Б., см. Кутинов Ю.Г., с. 514

Чудненко К.В., см. Головных Н.В., с. 228

Шведовский П.В., см. Волчек А.А., с. 92

Шкиль И.Э., Поршнев А.И., Малов А.И. Мониторинг гидрогеологических условий при разработке месторождения алмазов им. М.В.Ломоносова и его результаты, с. 439

Шкиль И.Э., см. Хархордин И.Л., с. 350

Экзарьян В.Н. Оценка экологических последствий в районах разработки месторождений полезных ископаемых, с. 81

Язиков Е.Г., см. Филимоненко Е.А., с. 483

Ястребов А.А., см. Мамаев Ю.А., с. 523

Ястребов А.А., см. Мамаев Ю.А., с. 529

Яшков И.А., Иванов А.В., Виноградова Т.Н., Акчурин М.И. Геоэкологические проблемы трансформации территории индустриального города на рубеже XX–XXI вв. (на примере г. Жанатас, Казахстан), с. 86

СОДЕРЖАНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ	5
1. ТРАНСФОРМАЦИЯ ПРИРОДНО-ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ РАЙОНОВ ОСВОЕНИЯ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ	7
<i>Абатурова И.В., Савинцев И.А., Стороженко Л.А., Борисихина О.А.</i> Разведка и разработка рудных месторождений и их влияние на геоэкологические условия	7
<i>Алентьев Ю.Ю., Ведерникова М.И.</i> Влияние фактора общественного мнения на создание горно-обогатительных комбинатов на примере Новохоперского ГОКа	12
<i>Алименко Т.Г., Мележ, Т.А.</i> Геоэкологические проблемы Солигорского промышленного узла	16
<i>Грачёва М.К.</i> Геохимические процессы развития природно-техногенной системы апатит-нефелинового месторождения Хибинских тундр	20
<i>Григорьева С.В.</i> Оценка изменений геологической среды при разработке твердых полезных ископаемых (на примере медноколчеданных месторождений южного Урала)	24
<i>Грязнов О.Н., Елохина С.Н.</i> Концептуальные положения геоэкологической безопасности территорий интенсивной добычи твердых полезных ископаемых Урала	27
<i>Гуман О.М., Вегнер-Козлова Е.О.</i> Региональная специфика инженерных изысканий как фактор обеспечения геоэкологической безопасности в контексте задач устойчивого развития УФО	32
<i>Дашко Р.Э., Алексеев И.В.</i> Инженерно-геологические особенности изучения безопасности эксплуатации Яковлевского месторождения богатых железных руд на основе анализа подземного пространства как многокомпонентной системы	37
<i>Исмаилов В.А., Адылов А.А., Агзамова И.А., Норматова Н.Р., Бозоров Д.Ш.</i> К методике оценки геоэкологического состояния горнопромышленных районов	41
<i>Казанкова Э.Р., Корнилова Н.В.</i> Геоэкологическая обстановка территории Калужской кольцевой структуры	47
<i>Лихачёва Э.А., Чеснокова И.В.</i> Оценка трансформации природной среды (на примере центральной России)	51

<i>Минакова Т.Б., Булдакова Е.В.</i> Рекультивация нарушенных земель – один из путей решения геоэкологических проблем в районах разработки месторождений	56
<i>Мирасланов М.М., Мавлянова Н.Г.</i> Изменение геологической среды в Центрально-Кызылкумском горнопромышленном районе	62
<i>Ольховатенко В.Е.</i> Геоэкологические проблемы разработки открытым способом угольных месторождений Кузнецкого бассейна	67
<i>Подлесных А.И., Лаврусевич И.А., Лаврусевич А.А.</i> Геоэкологические проблемы карьеров добычи материалов для цементной промышленности в Московской области	72
<i>Сунгатуллин Р.Х., Хасанов Р.Р.</i> Геоэкологическая безопасность при разработке метанового энергетического сырья	77
<i>Экзарьян В.Н.</i> Оценка экологических последствий в районах разработки месторождений полезных ископаемых	81
<i>Яшков И.А., Иванов А.В., Виноградова Т.Н., Акчурин М.И.</i> Геоэкологические проблемы трансформации территории индустриального города на рубеже XX – XXI вв. (на примере г. Жанатас, Казахстан)	86
2. ОЦЕНКА ПРИРОДНО-ТЕХНОГЕННЫХ ОПАСНОСТЕЙ И РИСКОВ В РАЙОНАХ РАЗРАБОТКИ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ	92
<i>Волчек А.А., Шведовский П.В.</i> Концептуальные основы прогноза геоэкологической безопасности районов освоения месторождений полезных ископаемых	92
<i>Давиденко В.А., Подлипенская Л.Е., Хребтова Т.В.</i> Оценка рисков в районах разработки месторождений полезных ископаемых	96
<i>Макеев В.М., Дорожко А.Л., Мамаев Ю.А., Макарова Н.В., Суханова Т.В., Коробова И.В., Бондарь И.В.</i> Неотектоника южной части Верхнекамского месторождения калийных солей в связи с обеспечением геодинамической безопасности рудников	101
<i>Прокопов А.Ю., Жур В.Н., Ткачева К.Э.</i> О критериях оценки влияния опасных геологических процессов на застроенные территории восточного Донбасса	107
<i>Старицына И.А., Старицына Н.А.</i> Затопленные рудники Среднего Урала: проблемы и перспективы	111

<i>Травкин А.И., Болгаров А.Г.</i> Влияние зон разработки месторождений на инженерно-геологические условия территорий для строительства (на примере г.Уфы).....	115
<i>Хребтова Т.В., Ошкадер А.В.</i> Опасные и специфические объекты постэксплуатационной деятельности на территории Керченского железорудного бассейна	121
3. ВОПРОСЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ ОБЪЕКТОВ ВЕДЕНИЯ ГОРНЫХ РАБОТ	126
<i>Абрамова Т.Т.</i> Технологические решения обеспечения безопасности добычи твердых полезных ископаемых	126
<i>Аникеев А.В.</i> Некоторые особенности разрушения слабопроницаемых грунтов при снижении напора подземных вод	131
<i>Буй Куок Зунг, Пуневский С.А., Дервянкин В.В.</i> Оценка устойчивости отвальных насыпей несцементированных пород с помощью комплексного зондирования.....	139
<i>Габибов Ф.Г.</i> Вопросы оценки и обеспечения устойчивости бортов карьеров, сложенных набухающими глинистыми породами.....	142
<i>Габибов Ф.Г., Богомолов А.Н., Зейналов А.З.</i> Исследование влияния основных прочностных свойств глинистых грунтов на устойчивость откосов и склонов.....	146
<i>Гальперин А.М., Мосейкин В.В., Кутепов Ю.И., Дервянкин В.В.</i> Прогноз и мониторинг состояния отвальных сооружений горных предприятий.....	150
<i>Дадаходжаева Н.Р.</i> Оценка устойчивости горных выработок по степени сложности инженерно-геологических условий (на примере Каульдинского месторождения).....	155
<i>Калинин Э.В., Панасьян Л.Л., Спиридонов Э.М.</i> Прогнозная оценка возможных процессов при разработке жильных месторождений	160
<i>Курбонов Э.Ш.</i> Особенности гидрогеологических и инженерно-геологических условий при освоении Тюбегатанской площади калийных солей (на примере участка Курганташ).....	165
<i>Лукашов А.А.</i> Геоэкологические проблемы открытой и подземной добычи апатит-нефелиновых руд в южных Хибинах.....	169
<i>Маслова Д.А.</i> Скважинная гидродобыча, как одна из адаптационных природосберегающих технологий при разработке месторождений полезных ископаемых.....	174

<i>Норель Б.К., Боровков Ю.А., Азаренко В.А.</i> Инварианты физических параметров разрушения неоднородных горных пород и массива при действии объемного напряженного состояния	178
<i>Ольховатенко В.Е., Прянишников Е.Г.</i> Оценка геоэкологических условий и устойчивости бортов карьера Ключевского золоторудного месторождения	183
<i>Петров Н.Ф., Никонорова И.В., Прокопьева Н.А.</i> Прочностные характеристики грунтов зоны смещения оползней	187
<i>Постоев Г.П., Казеев А.И., Кутергин В.Н.</i> Новая технология укрепления массива отвала и предотвращения разрушительного оползня	193
<i>Постоев Г.П., Казеев А.И., Кутергин В.Н.</i> Новый способ определения основных характеристик прочности грунтов по одному испытанию на компрессионное сжатие	198
4. ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ РАЗМЕЩЕНИЯ И УТИЛИЗАЦИИ ОТХОДОВ ГОРНОПРОМЫШЛЕННОГО КОМПЛЕКСА	204
<i>Абдуллаев Б.Д., Мирасланов М.М., Туляганов Б.И.</i> Оценка геолого-экологической безопасности хвостохранилищ и критериальные признаки прорывоопасности их плотин	204
<i>Акулова В.В., Акулов Н.И., Худоногова Е.В., Рубцова М.Н.</i> Современные геоэкологические проблемы угледобывающих регионов	209
<i>Ахметов Р.М.</i> Техногенные минеральные ресурсы Южного Урала	214
<i>Бардамова И.В., Дорошкевич С.Г.</i> Использование природных сорбентов в схеме очистки рудничных вод сульфидно-вольфрамового месторождения Холтосон	219
<i>Гимаев Б.Д., Тихонов В.В.</i> Мокрая магнитная сепарация золошлаковых отходов тепловой электростанции г. Северск	223
<i>Головных Н.В., Бычинский В.А., Филимонова Л.М., Чудненко К.В., Глазунов О.М.</i> Особенности мониторинга и нормирования техногенных нагрузок в зоне действия алюминиевых производств	228
<i>Дьяконов П.Ю.</i> Использование отходов горнопромышленного комплекса при освоении территорий со сложными инженерно-геологическими условиями	234
<i>Кожобаев К.А., Аманов К.А., Рыскулов У.Д., Молдогазиева Г.Т., Касиев А.К.</i> Состояние и пути решения проблем радиоактивных отходов севера Кыргызской республики	242

<i>Ларионова Н.А.</i> Влияние твердых отходов угольной промышленности на загрязнение окружающей среды.....	247
<i>Мальнева И.В.</i> Оценка опасности хвостохранилищ горно-обогатительных фабрик вольфрамо-молибденовых руд на территории России.....	252
<i>Николаева С.К., Огородникова Е.Н.</i> Геоэкологические проблемы размещения отходов топливно-энергетического комплекса.....	257
<i>Плюснин А.М.</i> Основы геоэкологической безопасности при разработке рудных месторождений.....	261
<i>Торгоев И.А., Алёшин Ю.Г., Стегнар П.</i> Воздействие на окружающую среду хвостохранилищ бывшего полиметаллического рудника Сумсар.....	266
5. ПРОБЛЕМЫ ЗАГРЯЗНЕНИЯ И КОМПЛЕКСНЫЙ ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ ПРИРОДНОЙ СРЕДЫ В РАЙОНАХ РАЗРАБОТКИ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ.....	272
<i>Аюпова Э.Я., Харькина М.А., Самарин Е.Н.</i> Геоэкологические условия территории Россошинской площади Волгоградского подземного хранилища газа и необходимость мониторинга экологических систем.....	272
<i>Белоусова А.П.</i> Концепция экологического мониторинга объектов нефтегазовой промышленности.....	277
<i>Гаранкина Е.В., Беляев В.Р., Гуринов А.Л., Добрыднева Л.В., Иванов М.М., Кузьменкова Н.В., Романенко Ф.А., Туляков Е.Д.</i> Определение вклада катастрофических геоморфологических процессов в распространение радиоактивного загрязнения после разработки ловчорритовых руд в долине Гакмана, Хибины, Кольский п-ов.....	282
<i>Дорошкевич С.Г., Смирнова О.К.</i> Распределение потенциально токсичных элементов в профиле почв рекультивированных территорий хранилищ отходов обогащения сульфидно-вольфрамовых руд.....	287
<i>Евдокимова М.Ю., Осипов Ю.Б.</i> Комплексный мониторинг района урановых месторождений производственного объединения «Алмаз» (Ставропольский край).....	292
<i>Ефремкин И.М., Снопова Е.М., Холмянский М.А.</i> Комплексный мониторинг районов освоения морских месторождений полезных ископаемых.....	297
<i>Кнатько М.В., Здобин Д.Ю., Жабриков С.Ю.</i> Обеспечение геоэкологической безопасности территорий месторождений углеводородного сырья.....	302

<i>Королёв В.А., Нестеров Д.С., Чернов М.С.</i> Регулирование заряда глинистых частиц в связи с технологиями создания защитных экранов	307
<i>Линник В.Г., Хорошавин В.Ю., Минкина Т.М., Бауэр Т.В., Невидомская Д.Г.</i> Геоэкологическая обстановка в районе техногенного влияния Карабашского горнорудного предприятия	312
<i>Мищенко А.В., Иванов Г.И.</i> Оценка качества донных осадков центральной глубоководной части Баренцева моря (Штокмановское газоконденсатное месторождение)	317
<i>Никитская К.Е.</i> Особенности выделения фоновых территорий	322
<i>Опекунова М.Г., Опекунов А.Ю., Папян Э.Э., Сомов В.В.</i> Оценка экологического риска воздействия горнорудной промышленности на окружающую среду Башкирского Зауралья с помощью био- и геоиндикаторов	327
<i>Помеляйко И.С., Малков А.В.</i> Результаты комплексного экологического мониторинга региона Кавказских минеральных вод	333
<i>Рябова Л.Н.</i> Эколого-геохимическое состояние компонентов ландшафта в зоне влияния карьера строительных материалов «Хотиславский» (Республика Беларусь)	339
<i>Стенина Н.Г.</i> Redox контроль как основа рекультивации территорий горнодобывающих объектов	344
<i>Хархордин И.Л., Назима В.В., Атрощенко Ф.Г., Шкиль И.Э., Гурин А.Н.</i> Научно-методическое и модельное обеспечение комплексного гидрогеологического и гидрогеомеханического мониторинга на месторождении алмазов им. М.В. Ломоносова	350
<i>Хаустов А.П., Редина М.М.</i> Проблемы нормирования загрязнения геологической среды горнопромышленных районов полициклическими ароматическими углеводородами	353
<i>Ческидов В.В.</i> Современные задачи комплексного мониторинга состояния горнотехнических объектов	358
6. ГИДРОГЕОЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ В РАЙОНАХ РАЗРАБОТКИ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ	363
<i>Абдрахманов Р.Ф., Попов В.Г., Ахметов Р.М.</i> Гидрогеоэкологические проблемы горнорудного комплекса Южного Урала	363
<i>Атрощенко Ф.Г.</i> Влияние суффозионных процессов на состояние водопонижающих скважин при отработке месторождения им. М.В. Ломоносова	368

<i>Батрак Г.И.</i> Закономерности формирования гидродинамического и гидрохимического режимов подземных вод в г. Сланцы в связи с затоплением шахт	373
<i>Гараева А.Н., Храмченков М.Г.</i> Миграция загрязнений в форме взвесей и коагуляция порового пространства	380
<i>Криночкина О.К., Лаврусевич А.А.</i> Анализ воздействия месторождений различных промышленных типов на подземную гидросферу	384
<i>Мусин Р.Х.</i> Загрязнение подземной гидросферы в нефтедобывающих регионах и оптимальные пути решения этой проблемы (на примере Татарстана)	389
<i>Мязина Н.Г.</i> Геоэкологические особенности территории озера Эльтон	394
<i>Нестеренко Ю.М., Нестеренко М.Ю.</i> Техногенные изменения в подземных водах районов добычи углеводородов (на примере Южного Предуралья)	400
<i>Плюснин А.М., Ташлыков В.С., Дабаева В.В.</i> Метаморфизация химического состава воды в отстойниках при длительном хранении на месторождении Бом-Горхон	405
<i>Рыбников П.А., Рыбникова Л.С.</i> Изменение разгрузки подземных вод при отработке месторождений цементного сырья (Свердловская область, г. Сухой Лог)	410
<i>Рыбникова Л.С., Рыбников П.А.</i> Гидродинамическая модель затопления рудников горноскладчатого Урала	416
<i>Скалин А.А., Скалин А.В.</i> Разведка техногенных месторождений нефтепродуктов в интрузивных массивах	421
<i>Сотникова Д.Ю.</i> Загрязнение подземной гидросферы в горнопромышленных районах России	424
<i>Хайрулина Е.А., Максимович Н.Г.</i> Влияние шламохранилища с солесодержащими отходами на приповерхностную гидросферу	429
<i>Цымбалов А.А.</i> Метод наилучших доступных технологий в регенерации закольматированных водозаборных скважин	434
<i>Шкиль И.Э., Поринев А.И., Малов А.И.</i> Мониторинг гидрогеологических условий при разработке месторождения алмазов им. М.В. Ломоносова и его результаты	439

7. ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ РАЗРАБОТКИ МЕСТОРОЖДЕНИЙ КРИОЛИТОЗОНЫ И АРКТИКИ	444
<i>Абатурова И.В., Петрова И.Г., Королева И.А., Патракова М.С.</i> Оценка влияния освоения месторождений полезных ископаемых на природно-территориальные комплексы (на примере месторождений Якутии).....	444
<i>Гребенец В.И., Найденко А.А., Толманов В.А., Хайрединова А.Г., Павлунин В.Б.</i> Геотехнические и геоэкологические проблемы территории Ямбургского газоконденсатного месторождения.....	448
<i>Заиканов В.Г., Заиканова И.Н., Матвеева Л.А., Минакова Т.Б.</i> Геоэкологическая устойчивость природно-технических систем при освоении месторождений полезных ископаемых в Арктической зоне Российской Федерации.....	454
<i>Захаров С.А., Мустафин С.К.</i> Инженерно-геологические условия освоения россыпей алмазов Арктики (объекты бассейнов рек Анабар и Лена).....	458
<i>Некрасов Д.Ю.</i> Идея оптимизации мониторинга трубопроводных систем с помощью «живой» 3D-модели.....	463
<i>Огуречников А.А.</i> Экзогенно-криогенные опасности при разработке нефтегазовых месторождений криолитозоны.....	468
<i>Подгорная Т.И.</i> Особенности оценки природной опасности и рисков для размещения горнопромышленных комплексов в условиях востока России.....	473
<i>Торгоев И.А.</i> Техногенный прессинг на ледники в районе высокогорного рудника Кумтор	478
<i>Филимоненко Е.А., Язиков Е.Г., Карпенко Ю.А., Меховников С.А.</i> Ртуть в компонентах окружающей среды Мало-Тарныского рудного поля (Оймяконский район, республика Саха)	483
<i>Холмянский М.А., Ефремкин И.М., Карташёв А.О.</i> Геоэкологическое сопровождение освоения месторождений Арктического шельфа.....	488
8. РАЗВИТИЕ МЕТОДОВ И МЕТОДОЛОГИИ ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОЙ РАЗРАБОТКИ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ	494
<i>Абрамович О.К., Абрамович А.А.</i> Проблемы инженерной и экологической геодинамики при разработке Речицкого нефтяного месторождения (Припятский прогиб)	494

<i>Ибрагимова Н.И.</i> Определение гидрогеологических и инженерно-геологических факторов по космоснимкам на территорию Ангренского угольного разреза Республики Узбекистан	497
<i>Карфидова Е.А., Батрак Г.И.</i> Геоморфометрический анализ нарушенных земель Балаклавского района Крыма в целях оценки инфильтрационного питания	503
<i>Кауркин М.Д., Несынов В.В., Андреев Д.О.</i> Расчет сейсмических воздействий для места постановки самоподъемной плавучей буровой установки «Нептун» с целью обеспечения геоэкологической безопасности	509
<i>Кутинов Ю.Г., Полякова Е.В., Чистова З.Б., Минеев А.Л.</i> Отражение структур кристаллического фундамента Архангельской алмазоносной провинции в современном рельефе	514
<i>Макеев В.М., Макарова Н.В., Галицкая И.В., Козловский С.В., Бенедик А.Л.</i> Неотектоника равнинного Крыма в связи с проблемами водоснабжения и экологической безопасностью	518
<i>Мамаев Ю.А., Ястребов А.А.</i> Инженерно-геологическое районирование территории Соликамских рудников в Пермском крае РФ для оценки условий строительства и эксплуатации наземных капитальных объектов	523
<i>Мамаев Ю.А., Ястребов А.А.</i> Формирование и особенности структурно-тектонического плана территории Верхнекамского месторождения калийных солей в Пермском крае РФ	529
<i>Несмеянов С.А.</i> Применение оротектонического метода при поисках россыпных месторождений в долинах горных рек	533
<i>Николаев А.В., Жигалин А.Д., Архипова Е.В.</i> Техногенные эколого-геофизические аномалии в местах разработки месторождений полезных ископаемых	539
<i>Орлов Т.В., Садков С.А., Зверев А.В., Панченко Е.Г., Воловинский И.В.</i> Анализ растекания сбросных карьерных вод в пределах верхового болота	544
<i>Попова О.Г., Попов М.Г., Аракелян Ф.О., Недядько В.В.</i> Изучение геодинамики геологической среды в Мурманской области Кольского полуострова с помощью сейсмо-экологического мониторинга	549
<i>Рогожин Е.А., Овсяченко А.Н., Ларьков А.С.</i> О природе сейсмических активизаций в Кузбассе	554

<i>Рященко Т.Г.</i> Принципы типизации геологической среды для целей сейсмического микрорайонирования районов разработки полезных ископаемых (на примере Эрдэнэта и Улан-Батора, Монголия).....	557
<i>Садков С.А., Орлов Т.В., Воловинский И.В., Дамс Т., Зверев А.В.</i> Опыт комплексной оценки объемной структуры торфяных грунтов с использованием данных съемки с беспилотных летательных аппаратов и георадиолокации в зоне разработки месторождения твердых полезных ископаемых.....	562
УКАЗАТЕЛЬ АВТОРОВ	567

Научное издание

СЕРГЕЕВСКИЕ ЧТЕНИЯ

Геоэкологическая безопасность разработки месторождений полезных ископаемых

*Научная конференция
в рамках Года экологии в России*

Выпуск 19

**Материалы годичной сессии
Научного совета РАН по проблемам геоэкологии,
инженерной геологии и гидрогеологии
(4-5 апреля 2017 г.)**

Издание подготовлено в авторской редакции

Технический редактор *Н.А. Ясько*
Компьютерная верстка *М.Н. Заикина*
Дизайн обложки *Ю.Н. Ефремова*

Подписано в печать 03.03.2017 г. Формат 70×100/16. Печать офсетная.
Усл. печ. л. 37,0. Тираж 270 экз. Заказ 82

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