

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

СЕРГЕЕВСКИЕ ЧТЕНИЯ

Развитие научных идей академика Е.М. Сергеева на современном этапе

Выпуск 16

*Юбилейная конференция, посвященная 100-летию
со дня рождения академика Е.М. Сергеева*

**Материалы годичной сессии
Научного совета РАН по проблемам геоэкологии,
инженерной геологии и гидрогеологии
(21 марта 2014 г.)**

**Москва
Российский университет дружбы народов
2014**

УДК 502.64:528.48:556.3(063)

ББК 26.3

С32

*Издание осуществлено при финансовой поддержке
Российского фонда фундаментальных исследований (грант № 13-05-06205)*

Редакционная коллегия:

В.И. Осипов (ответственный редактор),

О.Н. Еремина (ответственный секретарь),

А.С. Викторов, В.Г. Заиканов, С.В. Козловский,

В.Н. Кутергин, Н.Г. Мавлянова, Ю.А. Мамаев

С32 **Сергеевские чтения. Развитие научных идей академика Е.М. Сергеева на современном этапе.** Юбилейная конференция, посвященная 100-летию со дня рождения академика Е.М. Сергеева. Вып. 16. Материалы годичной сессии Научного совета РАН по проблемам геоэкологии, инженерной геологии и гидрогеологии (21 марта 2014 г.). – Москва : РУДН, 2014. – 674 с.: ил.

ISBN 978-5-209-05681-2

В сборнике опубликованы научные доклады, представленные на шестнадцатую ежегодную конференцию «Сергеевские чтения» памяти академика Е.М. Сергеева (г. Москва, 21 марта 2014 г.). Научная конференция «Развитие научных идей академика Е.М. Сергеева на современном этапе» проводилась в рамках юбилейных мероприятий, посвященных 100-летию со дня рождения академика Е.М. Сергеева. Темы докладов объединены в следующие секции: грунтоведение, механика и техническая мелиорация грунтов; инженерно-геологические классификации грунтов; региональные инженерно-геологические, гидрогеологические и геокриологические исследования; комплексные исследования геологической среды для решения геоэкологических задач; методология и методы исследований в инженерной геологии и геоэкологии.

УДК 502.64:528.48:556.3(063)

ББК 26.3

ISBN 978-5-209-05681-2

© Научный совет РАН по проблемам геоэкологии,
инженерной геологии и гидрогеологии, 2014

© Коллектив авторов, 2014

© Российский университет дружбы народов,
Издательство, 2014



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

ПРЕДИСЛОВИЕ

Настоящий сборник издается по материалам юбилейной научной конференции «Развитие научных идей академика Е.М. Сергеева на современном этапе» – «Шестнадцатых Сергеевских чтений», посвященной 100-летию со дня рождения академика Е.М.Сергеева.

Имя академика Е.М. Сергеева вошло в научную летопись России как выдающегося ученого, организатора науки и патриота. С его именем связано развитие во второй половине XX столетия отечественной инженерной геологии и учения о геологической среде, обогащение этих наук основополагающими идеями, позволившее нашей стране стать одним из мировых лидеров инженерной геологии. Е.М. Сергееву удалось углубить теоретические основы инженерной геологии и расширить ее практическое применение при решении различных задач, развить новые научные направления. Это позволило рассматривать инженерную геологию не как вспомогательную прикладную отрасль «геологии для инженеров», а как самостоятельную фундаментальную науку геологического цикла. Получившие при Е.М. Сергееве широкое развитие научные идеи, связанные с изучением условий формирования свойств пород; влиянием геологических, региональных и климатических особенностей на формирование инженерно-геологических условий отдельных территорий; изменения геологической среды под влиянием хозяйственной деятельности человека, являются основой развития инженерной геологии на современном этапе.

Начиная с 1999 г. Научным советом РАН по проблемам геоэкологии, инженерной геологии и гидрогеологии проведено пятнадцать научных конференций «Сергеевские чтения», посвященных различным актуальным проблемам развития современной инженерной геологии и геоэкологии. Настоящая, шестнадцатая сессия является юбилейной, посвященной 100-летию со дня рождения Е.М. Сергеева. Это дает возможность считать ее рубежом, позволяющим подвести промежуточные итоги развития инженерной геологии в «послесергеевский» период. Можно сказать, что несмотря на трудные годы, которые пережила отечественная наука с начала перестройки, базовые принципы, заложенные в работах академика Е.М. Сергеева, продолжают развиваться.

Настоящая конференция отражает еще один важный аспект – смены поколений в научной среде, развивающей инженерную геологию, и унаследованности идей наших учителей и предшественников. С этой точки зрения можно констатировать, что в стране сохраняются ранее образовавшиеся на-

учные школы инженерной геологии: в Москве, Санкт-Петербурге, Томске, Екатеринбурге, Иркутске, Воронеже, Ростове-на-Дону и других городах. Кроме того, появились новые центры развития инженерной геологии в ряде регионов и крупных промышленных компаниях.

Не меньшее значение настоящая сессия имеет для восстановления межрегиональных и межнациональных научных связей, в значительной степени прерванных по целому ряду политических событий. Огромную роль в этом вопросе играют ученики Е.М. Сергеева, работающие сейчас в различных регионах нашей страны и за рубежом. Дух интернационализма, заложенный в каждого из нас академиком Е.М.Сергеевым, должен восторжествовать и вновь объединить ученых в единую дружную семью, как это было раньше.

Сказанное выше, видимо, явилось одной из причин повышенного интереса к настоящей юбилейной научной сессии «Сергеевские чтения». В адрес Оргкомитета поступило 145 докладов из 35 городов России, Армении, Белоруссии, Украины, Грузии, Кыргызстана, Таджикистана, Узбекистана. Кроме того, на приглашение Оргкомитета принять участие в юбилейной конференции откликнулись ученики Е.М. Сергеева из Болгарии, Нидерландов. В настоящий сборник вошло 136 докладов; 9 было отклонено из-за несоответствия тематике конференции.

Все поступившие доклады были распределены по 5 секциям: 1) грунтоведение, механика и техническая мелиорация грунтов; 2) инженерно-геологические классификации грунтов; 3) региональные инженерно-геологические, гидрогеологические и геокриологические исследования; 4) комплексные исследования геологической среды для решения геоэкологических задач; 5) методология и методы исследований в инженерной геологии и геоэкологии.

К сожалению, из-за ограниченной продолжительности устной сессии далеко не все поступившие доклады включены в программу конференции для их оглашения. Однако, издание этого сборника позволяет получить полное представление о научном содержании проводимой сессии. Тексты всех докладов в сборнике приведены в авторской редакции.

Оргкомитет шестнадцатой конференции «Сергеевские чтения» желает всем участникам успешной и плодотворной работы, крепкого здоровья и дальнейших творческих успехов.

*Председатель оргкомитета
конференции «Сергеевские чтения»,
академик*

В.И. Осипов

1. ГРУНТОВЕДЕНИЕ, МЕХАНИКА И ТЕХНИЧЕСКАЯ МЕЛИОРАЦИЯ ГРУНТОВ

РАЗВИТИЕ ИДЕЙ Е.М. СЕРГЕЕВА В ОБЛАСТИ ГРУНТОВЕДЕНИЯ

В.И. Осипов

Институт геоэкологии им. Е.М. Сергеева РАН, т. (8-495) 623-31-11, ф. (8-495) 623-18-86.
E-mail:direct@geoenv.ru

Введение

Развитие инженерной геологии в Московском государственном университете началось с грунтоведения, зародившегося в недрах знаменитой российской школы почвоведов В.В. Докучаева, П.А. Костычева, К.К. Гедройца и продолженного в трудах грунтоведов-почвоведов М.М. Филатова, В.В. Охотина, П.А. Земятчинского, С.С. Морозова и др. Е.М. Сергеев аккумулировал все лучшие достижения своих учителей и сделал огромный прорыв в дальнейшем развитии грунтоведения. Исследованиями в этой области Е.М. Сергеев занимался всю свою творческую жизнь. Из более 500 его публикаций более одной третьей посвящено вопросам грунтоведения. Он создал школу грунтоведов МГУ, получившую мировую известность, привлек к этим проблемам многих своих коллег, аспирантов и студентов, ставших его последователями и учениками. Из 78 кандидатских диссертаций, защищенных под его руководством, грунтоведению посвящено 52, а из 12 докторских – 7.

Е.М. Сергееву удалось углубить и расширить грунтоведение, обогатить его оригинальными идеями, развить новые направления. Ему принадлежит приоритет в области *развития геологических основ грунтоведения*. Опираясь на достижения исторической геологии, литологии, петрографии и других геологических наук, он разработал генетический подход к изучению грунтов и процессов литогенеза в формировании их свойств. Е.М. Сергеев сформулировал принцип: свойства грунтов зависят от условий их образования и всей последующей геологической истории преобразования в ходе литогенеза и петрогенеза вплоть до метаморфизма.

Большое значение Е.М. Сергеев придавал *развитию фундаментальных основ грунтоведения*. Он считал главной задачей любых научных исследова-

ний получение новых знаний, которые бы отвечали на вопрос «почему». Поэтому в исследованиях его всегда интересовала физико-химическая сущность изучаемого явления. Опираясь на современные достижения наук физического, физико-химического и математического циклов, ему удалось укрепить фундаментальные основы грунтоведения, раскрыть природу многих явлений в грунтах. Этому способствовало применение новейших физических методов исследований. По его инициативе в исследованиях грунтов использовались рентгеновский, электронно-микроскопический, магнитный, термо-гравиметрический, спектроскопические (инфракрасной спектроскопии, ядерно-магнитного резонанса) методы, ультразвукового и лазерного просвечивания и др. Благодаря этому были получены выдающиеся результаты в работах, выполненных под его руководством в области связанной воды, микроструктурных исследований, магнитных свойств грунтов, искусственного литогенеза.

Базовые принципы грунтоведения, заложенные в работах Е.М.Сергеева, продолжают развиваться в настоящее время. Несмотря на трудные годы, которые пережила наша наука с начала перестройки, можно констатировать, что отечественное грунтоведение эволюционирует и удерживается на передовых мировых позициях. К наиболее значимым достижениям современного грунтоведения следует отнести следующие:

- изучение роли микроструктурных изменений в грунтах при оценке сжимаемости, прочности на сдвиг, тиксотропном разжижении, набухании, просадке и других процессах и явлениях;
- влияние биотического компонента и микробиологических процессов на поведение грунтов;
- поведение грунтов при динамических воздействиях;
- улучшение физико-механических свойств грунтов на основе использования теории композитов;
- развитие физико-химической теории истинных эффективных напряжений в грунтах;
- развитие представлений о природе структурного сцепления и его зависимости от внешнего напряжения.

Из-за ограниченного объёма настоящей статьи нет возможности даже кратко охарактеризовать все перечисленные выше достижения. Поэтому ниже будут рассмотрены некоторые исследования, развиваемые в Институте геоэкологии им. Е.М.Сергеева РАН.

Истинные эффективные напряжения в грунтах

Применительно к грунтам К.Терцаги ввел понятие *эффективного напряжения*. Для этого он предложил из общего напряжения (σ) вычитать часть напряжения, передаваемого на жидкую фазу в порах грунта (u), что давало возможность определять усредненное «эффективное» напряжение на скелете грунта σ' . Следует отметить, что понятие «эффективное» напряжение по К.Терцаги условно, поскольку он, как принято в классической механике, за напряжение в структурированном теле принял распределенную внешнюю

силу, отнесенную к единичной площадке без учета неоднородности структурированного тела и её влияния на распределение напряжений между отдельными структурными элементами. Главная неопределенность теории К.Терцаги заключается в том, что в ней не учитывается действие на контактах структурных элементов внутренних сил физико-химической природы, обуславливающих не только неоднородность распределения напряжений в структурированном теле, но и существенно влияющих на величину общего напряжения. Сказанное относится, прежде всего, к тонкодисперсным (глинистым) системам, эффективное напряжение в которых определяется суммарным действием как внешних (гравитационных), так и внутренних (физико-химических) сил.

$$\sigma'' = (\sigma_c^{\text{ext}} + \sigma_c^{\text{int}}) \chi, \quad (1)$$

где σ'' – истинное эффективное напряжение, σ_c^{ext} – среднее внешнее напряжение, передаваемое на контакты, σ_c^{int} – среднее внутреннее напряжение на контактах, χ – количество контактов в единице площади сечения тела.

Учет суммарного действия внешних и внутренних сил позволяет находить *истинные эффективные напряжения* в структурированном неоднородном теле. Таким образом, под *истинным эффективным напряжением структурированного тела* следует понимать усредненное значение напряжения, обусловленного внешними и внутренними силами, действующего на контактных площадках, умноженного на количество и площадь контактов в единице площади какого-либо ориентированного сечения тела.

В тонкодисперсных системах структурные элементы разделены тонкой гидратной пленкой связанной воды, внутри которой действуют внутренние силы. Суммарная величина этих сил получила название *расклинивающих сил гидратных пленок* [1].

Расклинивающее действие внутренних сил может быть положительным, т.е. препятствовать уменьшению толщины пленки, или отрицательным – способствовать её утоньшению. Величина расклинивающего давления $\Pi(h)$ и толщина граничных пленок h в первом приближении определяются действием на контактах следующих сил [3]:

$$\Pi(h) = \Pi_e(h) + \Pi_m(h) + \Pi_s(h), \quad (2)$$

где Π_e – электростатическая составляющая, обусловленная перекрытием диффузных ионных слоев заряженных поверхностей частиц и их отталкиванием, Π_m – молекулярная составляющая, обусловленная дисперсионным взаимодействием твердой подложки через тонкую пленку жидкости; Π_s – структурная составляющая расклинивающих сил, вызванная перекрытием адсорбционных слоев жидкости с измененной структурой.

Умножая расклинивающее давление на площадь контакта (a_c), можно оценить суммарную величину внутренних сил физико-химической природы, действующих на коагуляционном контакте:

$$\sigma_c^{\text{int}} = \Pi(h) \cdot a_c. \quad (3)$$

Помимо нарушения, вызванного внутренними силами на каждый контакт передаются эффективные внешние напряжения, равные σ'/χ , где χ - количество контактов на единице площади контактной поверхности.

Тогда величина реального эффективного напряжения на единичном коагуляционном контакте будет определяться разницей внешних и внутренних сил:

$$\sigma_c = \sigma' \chi - \Pi(h) a_c \quad (4)$$

Для водонасыщенных илов и слаболитифицированных глинистых образований с коагуляционными контактами и открытой поровой системой можно найти величину реального общего эффективного напряжения (σ''), зная количество контактов (χ), среднюю площадь единичного контакта (a_c), величину внешнего напряжения (σ) и порового давления [4]:

$$\sigma'' = \chi \left[\frac{\sigma - u}{\chi} - \Pi(h) a_c \right] = (\sigma - u) - \chi \Pi(h) a_c, \quad (5)$$

Для неводонасыщенных глинистых пород реальное общее эффективное напряжение находится с учетом действия на контактах капиллярных сил. При влажности ниже W_{mg} в породе действуют сжимающие силы капиллярных менисков. Учитывая, что при такой влажности преобладают переходные контакты, значение σ'' находится из следующего выражения;

$$\sigma'' = \sigma - \chi \Pi(h) \left(1 - \frac{a_{c(s)}}{a_c} \right) + \chi \pi_1 \sigma_w \left(1 - \frac{r_1}{r_2} \right), \quad (6)$$

где r_1 и r_2 – средние радиусы менисков в контактном зазоре, σ_w – поверхностное натяжение воды, $a_{c(s)}$ – средняя площадь непосредственного (сухого) соприкосновения частиц на контакте.

При увеличении влажности и капиллярного насыщения породы возрастает сжимающее действие капиллярно поднятой воды. Реальное общее эффективное напряжение для такой породы находится из выражения:

$$\sigma'' = \sigma - \chi \Pi(h) a_{c(c)} \left(1 - \frac{a_{c(s)}}{a_c} \right) + h_c m_w g, \quad (7)$$

где m_w – масса капиллярно поднятой воды, g – ускорение свободного падения, h_c – высота капиллярного подъема воды, $a_{c(c)}$ – средняя площадь коагуляционной части контакта.

Структурная прочность и структурное сцепление в грунтах

Под структурной прочностью (P_p) следует понимать прочность грунта на растяжение (разрыв), выраженную в Па. Структурная прочность проявляется, когда силы молекулярного притяжения частиц (F_m) начинают превышать гравитационное притяжение (F_g – вес частиц): $K_c = F_m / F_g > 1$. Как видно на рис.1, значение K_c равно единице для частиц размером < 0.01 мм. Это означает, что с появлением таких частиц система начинает обладать связностью и пластичностью.

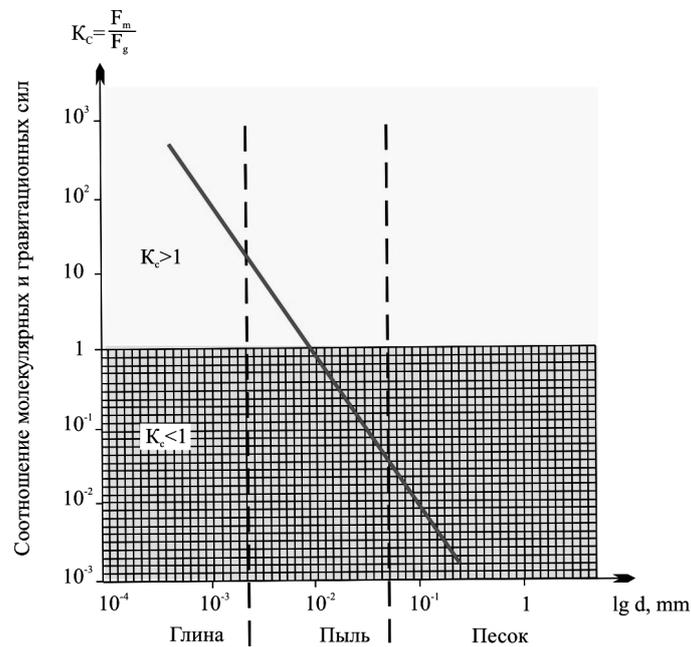


Рис. 1. Соотношение молекулярных сил притяжения частиц F_m и гравитационных сил F_g для частиц различного размера: $K_c > 1$ – область связных тел, $K_c < 1$ – область сыпучих тел [5]

Структурным сцеплением (c) считается прочность грунта на сдвиг при нулевой нормальной нагрузке, выраженная в Па.

При графическом построении зависимости сдвига от нормальной нагрузки структурная прочность (P_p) выражается отрезком на отрицательной части оси абсцисс, соответствующем прочности грунта на разрыв, а структурное сцепление (c) – отрезком, отсекаемым кривой сдвига на оси ординат. Между (P_p) и (c) существует взаимосвязь: $c = \mu P_p$ или $c = \operatorname{tg} \varphi P_p$, где μ – коэффициент внутреннего трения. Таким образом, величина структурного сцепления является функцией P_p . Оба показателя (P_p и c) являются структурными характеристиками, зависящими от средней прочности контактов (p_l), количества контактов на единице площади разрушения (χ) и средней площади единичного контакта (a_c).

Структурное сцепление является важнейшей характеристикой грунта, определяющей его прочность на сдвиг. Однако в формулу Кулона оно представлено как константа, не зависящая от внешнего напряжения, типа контактов, их площади и количества в единице площади трения. Из формулы Кулона не вытекает также зависимость сцепления от внутренних сил – расклинивающего давления на контактах. Сказанное лежит в основе несоответствия закона Кулона реальному поведению грунта.

Зависимость структурного сцепления от указанных факторов можно рассмотреть на примере слаболитифицированных осадков и пластичных глинистых грунтов, имеющих коагуляционные контакты. Образование структурной прочности таких грунтов можно оценить, используя суммарную изотерму расклинивающего действия, представляющую интегральную величину сил притяжения и отталкивания на контакте [2] (рис.2).

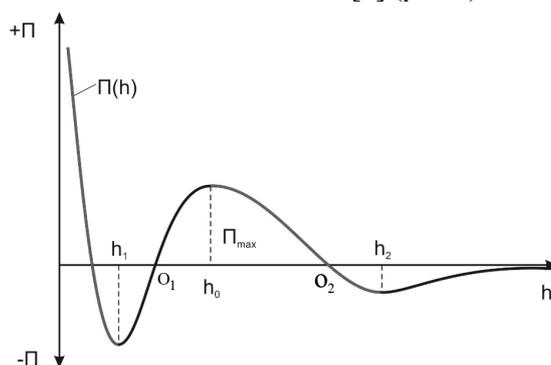


Рис. 2. Зависимость расклинивающих сил от расстояния (толщины гидратной пленки) между частицами:

h_1 и h_2 – ближний и дальний потенциальный минимумам (притяжение частиц),
 h_0 – максимальное значение электростатического отталкивания,
 o_1 и o_2 – равенство сил отталкивания и притяжения

При отсутствии внешних напряжений образование термодинамически устойчивых коагуляционных контактов между частицами возможно для двух расстояний – h_1 и h_2 (рис. 2). Наличие внешнего напряжения приводит к изменению величины расклинивающего давления, что связано с уменьшением расстояния между частицами (толщины гидратной пленки) и соотношения сил притяжения и отталкивания. При этом с увеличением давления происходит не увеличение структурного сцепления, а наоборот, его снижение. При достижении давления, при котором изотерма пересекает ось абсцисс (точки o_2 , рис. 2) наступает равновесие сил притяжения и отталкивания на контакте, что приводит к исчезновению структурной прочности. При дальнейшем увеличении внешнего напряжения изотерма внутренних сил переходит в зону положительных значений. Это означает преобладание внутренних сил отталкивания на контактах, которое противостоят внешнему эффективному напряжению, и снижает его.

Таким образом, структурная прочность пород с коагуляционной структурой оказывается зависимой от внешнего напряжения. Она постепенно снижается с его ростом за счет изменения баланса сил притяжения-отталкивания в сторону снижения притяжения ($-II$). При уравнивании сил притяжения и отталкивания ($II = 0$) структурная прочность исчезает. Аналогичным образом изменяется и структурное сцепление.

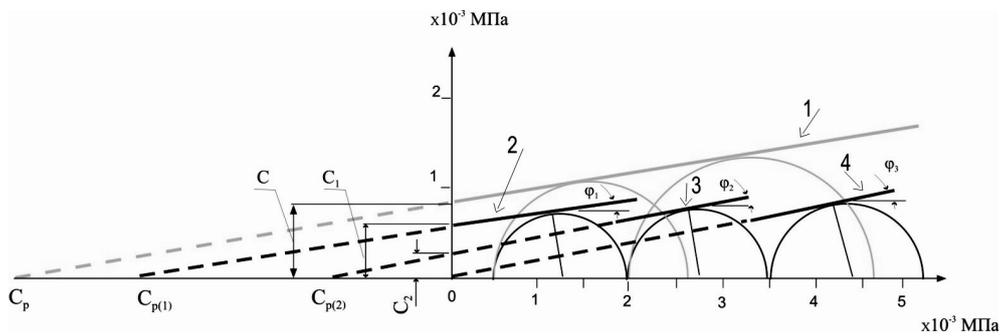


Рис. 3. Предельная прочность и диаграммы сдвига нелитифицированных глинистых образований:
1 – по Кулону, 2-4 – по физико-химической теории

В соответствии с теорией Кулона, величина предельной прочности грунта на сдвиг растет пропорционально внешнему эффективному напряжению (рис. 3, график 1). При этом структурное сцепление (c) не зависит от нагрузки и остается постоянным. В действительности же, из-за появления на контактах расклинивающего давления и его зависимости от внешней нагрузки, происходит снижение структурного сцепления вплоть до его полного исчезновения. Можно предположить, что с ростом напряжения исходное структурное сцепление (c) снижается до величин c_1 и c_2 , соответственно идет снижение и предельной прочности на сдвиг (Рис. 3, графики 2-4). При этом возможно весьма незначительное изменение и коэффициента трения в сторону увеличения, поскольку с уменьшением толщины гидратной пленки при сжатии возрастает её вязкость. В конечном итоге структурное сцепление исчезает, а огибающая кривая сдвига приобретает нелинейный характер.

Выводы

Одним из направлений дальнейшего развития идей академика Е.М. Сергеева является разработка физико-химической теории эффективных напряжений и структурного сцепления в глинистых грунтах. Сущность этих разработок заключается в следующем:

1. Эффективные напряжения, развивающиеся в глинистых грунтах и получившие название истинных, обусловлены действием не только внешних, но и внутренних сил, приводящих к снижению эффективного напряжения, рассчитанного по теории Терцаги.

2. В отличие от закона Кулона, структурное сцепление является переменной величиной, зависящей от внешнего напряжения и трения, а также физико-химических факторов (площади и количества контактов, расклинивающего давления граничных пленок воды). Это явление обуславливает нелинейность зависимости трения от внешней нагрузки и отличие экспериментальных данных от теоретических расчетов.

Литература

1. Дерягин Б.В. К вопросу об определении понятия расклинивающего давления // Коллоид. журн. – 1955. – Т. 17. – № 3. – С. 207-214.
2. Дерягин Б.В., Чураев Н.В. Изотерма расклинивающего давления пленок воды на поверхности кварца // Докл. АН СССР. – 1972. – Т. 207. – № 3. – С. 572-575.
3. Дерягин Б.В., Чураев Н.В. Смачивающие пленки. – М.: Наука. 1984. – 137 с.
4. Осипов В.И. Физико-химическая теория эффективных напряжений / ИГЭ РАН. – М.: ИФЗ РАН, 2012. – 74 с.
5. Осипов В.И., Соколов В.Н. Глины и их свойства. Состав, строение и формирование свойств – М.: ГЕОС, 2013. – 576 с.

МЕТОДЫ СНИЖЕНИЯ ДИНАМИЧЕСКОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ГРУНТЫ

Т.Т. Абрамова

Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, 119991, г. Москва,
ГСП-1, Ленинские горы, МГУ, геологический факультет, лаб. «Исследование влияния
геологических факторов на физ.-хим. закрепление грунтов», т. 8(916)464-33-59,
e-mail: attoma@mail.ru

Геоэкологическая проблема современных мегаполисов включает в себя и вибрационную загрязненность. Этому способствуют интенсивное движение, высокая скорость автомобилей и поездов, широкая сеть линий метрополитена и другого транспорта на территориях с высокой плотностью населения. В связи с этим резко возросло и продолжает нарастать вибрационное воздействие на грунтовый массив, потеря несущей способности которого может привести к просадкам, необратимым деформациям и повреждению различных сооружений. Причем устойчивость грунтового массива к динамическому воздействию зависит как от состояния этих грунтов, так и от интенсивности вибрационного воздействия. В связи с этим первоочередной задачей является оценка наиболее перспективных мероприятий по устранению или снижению колебаний, распространяющихся в грунте.

Колебания, возникающие вследствие динамического воздействия, распространяются в грунте в виде продольных волн сжатия (Р) и поперечных волн сдвига (S). В грунте Р-волны распространяются со скоростями в несколько раз большими, чем S-волны, и первыми достигают поверхности земли. Кроме этого, при наличии свободной границы возникают поверхностные волны, которые, например, в случае линии метрополитена мелкого заложения (10-20 м) вносят существенный, часто определяющий вклад в общую вибрацию на поверхности грунта. Амплитуды этих волн убывают с удалением от поверхности. Наиболее важными являются волны Рэлея, которые характеризуются малым поверхностным затуханием.

Преграда на пути распространения этих волн может значительно уменьшить амплитуды колебаний, передающиеся на основания различных сооружений, подвергающихся вибрационному воздействию. В этом случае максимальное снижение уровня вибрации может достигать 5-10 дБ. Конструктивно такая преграда представляет: открытую траншею; траншею, заполненную энергопоглощающими материалами. Волногасящие свойства таких экранов зависят от его формы и размеров, а также от природы и характеристики падающих на него волн и пр. Наиболее полно это рассмотрено автором в работе, опубликованной ранее [1].

Увеличить показатели затухания волн напряжений в грунтах также возможно используя различные методы технической мелиорации с помощью получения нового искусственно созданного грунтового массива с заданными структурно-механическими свойствами. Для закрепления структурно-неустойчивых грунтов широко используется инъекционная технология (методами пропитки и разрывами). Несмотря на то, что имеются многочисленные примеры успешного усиления грунтовых массивов традиционными методами (цементация, смолизация, силикатизация, защелачивание), они не всегда обеспечивают необходимую устойчивость различных объектов в связи с невозможностью четкого отслеживания проникновения растворов в грунт и образования прорывов и трещин, что может еще больше ослабить грунт. Лучших результатов можно достичь, если размещать множество точек инъекцирования под чувствительными сооружениями, устраивая инъекционную плиту между этими точками.

Выбор способа закрепления грунтов для каждого конкретного объекта должен осуществляться с учетом инженерно-геологических условий. Например, территория Средней Азии относится к сейсмически активным районам, поэтому необходимо учитывать сейсмические свойства наиболее распространенных там грунтов – лессовых, которые существенно зависят от влажности. Повышение уровня подземных вод и влажности грунтов основания, происходящие при застройке территории, приводят к увеличению сейсмического балла. От прохождения сейсмических волн в лессовых грунтах, кроме обычных просадок, могут возникнуть дополнительные – сейсмические. В связи с этим, сейсморазведочные исследования, в процессе которых регистрируются продольные и поперечные волны, необходимо выполнять для сравнения на упрочненном и незакрепленном грунте. Результаты исследований по упрочнению лессовых суглинков в основании здания Литературно-издательского центра Союза писателей Узбекистана показали, что прочность и модуль Юнга E после силикатизации повысились в 2-3 раза. Оценка влияния силикатизации на изменение степени сейсмической опасности по данным продольных и поперечных волн доказала снижение сейсмической интенсивности на 0,3-0,4 балла [4].

Эффективность методов технической мелиорации с целью снижения отрицательного влияния вибраций на несущую способность закрепленных грунтов можно оценить в лабораторных условиях по изменению в образцах коэффициента динамического разупрочнения (K_p – отношение прочности на

срез образца, подвергнутого воздействию вибрации, к ее первоначальному значению) [9]. Экспериментальное определение K_p проводилось Самариным Е.Н., Балыковой С.Д. и Коваленко В.Г. при следующих параметрах гармонической вибрации: частота – 20 Гц, амплитуда – 1 мм, продолжительность 5 мин. Их исследования показали, что после электрохимической обработки туго- и мягкопластичных суглинков K_p составил 0,83-0,95, а после термического способа – 0,67-0,98 по сравнению с исходным K_p , равным 0,61. Максимальные значения K_p получены для грунтов, обработанных щелочью с более высокими концентрациями (8 н). Они достигают через 7 суток значений, равных 0,94 (исходный $K_p = 0,77$).

Инъекционное зашпачивание массива озерно-аллювиальных суглинков на Самотлорском месторождении нефти, проведенное Коваленко В.Г., также показало высокую эффективность данного метода и перспективность его использования для управления динамической неустойчивостью массивов глинистых грунтов [5]. По результатам статического зондирования было установлено, что грунты через 2 месяца с момента инъекции 5н раствора щелочи характеризуются увеличением лобового сопротивления внедрению конуса в 4 раза и бокового сопротивления в 2-2,5 раза.

В настоящее время для снижения уровня техногенной вибрации в основном применяется метод цементации с различными его модификациями и технологиями. Современная технология высоконапорной инъекции (ВНИ), разработанная в ОАО «Институт «УралНИИАС», включает несколько стадий: частичный гидроразрыв (давление 0,6-1,5 МПа) закрепляемого слоя неустойчивых глинистых грунтов с образованием искусственных полостей; заполнение этих полостей цементно-песчаным раствором и уплотнение зоны инъекции опрессовкой [3]. Контроль за состоянием закрепленных грунтов осуществлялся Герасимовым О.В. с помощью сейсмических и электрофизических методов. Определено, что радиус распространения раствора от инжектора изменяется в диапазоне 0,2-0,6 м. Прочность грунтов в процессе закачки раствора временно снижается, а на стадии твердения цементной смеси возрастает в 4-6 раз. В это время происходит увеличение скорости поперечной волны в диапазоне от $V_s=70-600$ м/с до $V_s=700-1100$ м/с, скорости продольной волны – от $V_p=500-700$ м/с до $V_p=1400-2000$ м/с, модуль упругости возрастает от начального уровня $E_n=0,5-3,5$ МПа до $E_n=13-23$ МПа.

С использованием гидроразрыва можно создавать направленные локальные включения в виде линз (прослоек) в массиве грунта путем поинтервального нагнетания растворов строго заданных объемов по расчетной объемно-планировочной (композиционной) схеме. Этот метод известен под названием «Геокомпозит». Его развитием и разработкой занимались В.И. Осипов, Б.Н. Мельников, С.Д. Филимонов и другие. Проведенные на ряде строительных объектов в Москве и Подмосковье исследования показали, что усиление грунтового массива с помощью геокомпозитных включений изменяет сейсмические свойства грунта, в частности повышает его сейсмическую жесткость. Жесткие включения обуславливают различные эффекты, снижающие уровень вибраций. Большой сейсмической жесткости такого массива со-

ответствует меньший уровень колебаний [7]. Наибольший эффект, связанный со снижением уровня вибрации, по предположению авторов связан с рассеиванием на неоднородностях неправильной формы, которые образуются при нагнетании в грунтовый массив цементной смеси.

Эффективность данного способа оценивалась Осиповым В.И., Алешиным А.С., Марченковым А.Ю., Филимоновым С.Д. с помощью вертикального противовибрационного экрана, который проектируется так, чтобы отсекались (гасились) сейсмоакустические волны, приходящие со стороны действующего вибрационного источника (линии метрополитена, железнодорожного транспорта и т.п.) и горизонтального экрана, полученного инъектированием цементного раствора в основание фундамента. Технология проведения работ подробно описана в работе [7]. Устройство таких экранов снижает уровень вибрации наземного железнодорожного транспорта и метрополитена неглубокого заложения на 5 дБ с помощью горизонтального экрана и на 15 дБ с помощью вертикального.

Улучшение несущей способности, снижение осадок, бокового смещения грунта при динамических и циклических нагрузках, а также уменьшение воздействия вибрации от оборудования возможно с помощью метода глубинного смешивания. Он также используется для улучшения динамических и циклических свойств грунта в сейсмически активных районах. В некоторых регионах он применяется при укреплении оснований для морского и шельфового строительства. Преобразование грунтов с помощью этого способа становится возможным за счет ионного обмена на поверхности глинистых частиц и создания новых водопрочных связей по всей межфазной поверхности структурных элементов. Виды глубинного смешивания выделяют по типу применяемого связующего и по методу смешивания (сухое, влажное и др.). Существует несколько базовых технологий смешивания: скандинавская, японская, массовая стабилизация и др. К сожалению, в специальной геотехнической литературе можно найти лишь отдельные сведения о динамических и статических деформационных свойствах грунтов, укрепленных этим методом.

Оценку деформационных свойств известково-цементных колонн при статическом и динамическом нагружении представил К.Р. Массарш [6]. Им были проведены исследования по искусственному преобразованию массива грунта органической глины с использованием различного содержания известки в качестве укрепляющего вещества по технологии сухого перемешивания. В ходе полевых исследований определялась скорость волны сдвига с использованием вертикальных скважин до закрепления грунта и после устройства известково-грунтовых колонн в различные промежутки времени. Скорость волны сдвига в слабой органической глине до ее укрепления составляла 40 м/с. За 41 день она увеличилась до 310 м/с и в дальнейшем до 360 м/с. Максимальная величина модуля сдвига для закрепленного грунта при деформации 0,001% составила 255 МПа. Выявлено, что на модуль сдвига упрочненного грунта значительное влияние оказывает обжимающее напряжение.

На основании полученных данных была определена зависимость между прочностью на одноосное сжатие и модулем упругости.

Одной из наиболее перспективных геотехнологий закрепления грунтов является струйная. В ее основе лежит использование энергии струи жидкости для разрушения и перемешивания исходного природного грунта под давлением от 1 до 70 МПа. Она высокопроизводительно позволяет создавать грунтоцементные конструкции различных размеров и форм для всех типов грунтов, на любой глубине проводить работы с дневной поверхности или из подвалов, что особенно важно в стесненных городских условиях. На данном этапе развития метод струйной цементации подразделяется на 3 основных разновидности: одно-, двух- и трехкомпонентную технологию.

Яркими примерами использования струйной цементации, вошедшими в программу освоения подземного пространства Москвы, стали: укрепление грунтов при проходке Серебряноборского тоннеля, Алабяно-Балтийских тоннелей; строительство 3-его транспортного кольца, многофункционального комплекса «Царев сад», нового здания Московского музея изобразительных искусств им. А.С.Пушкина; реконструкция государственного заповедника Царицыно, гостиницы Метрополь и др. С применением этой технологии реализован ряд крупных и значимых для Санкт-Петербурга, Перми, Казани и других городов проектов.

По данным геотехнической литературы при закреплении глинистых грунтов с помощью этого метода прочность на сжатие грунтоцемента варьирует в пределах 0,8-7,1 МПа, для суглинков – 2,4-10,5 МПа в зависимости от свойств грунтов и параметров технологии.

Геофизиками ОАО «ПНИИИС» под руководством Петриченко В.В. по методике поверхностных волн был осуществлен мониторинг физико-механических свойств искусственно улучшенных грунтов с помощью этой технологии (штольня строящегося Алабяно-Балтийского тоннеля). Через 1 месяц после проведения работ на абсолютной отметке 140 м модуль Юнга стал соответствовать значениям $E_g=500-1800$ МПа по сравнению с первоначальным $E_g=16,8-59,9$ МПа [8].

Специалисты ОАО «Геодиагностика» для геоконтроля струйной цементации грунтов используют метод межскважинного акустического просвечивания (МАП). Исследования Архипова А.Г. показали, что прочность грунтоцемента на одноосное сжатие колеблется в пределах 4,9-7,6 МПа, а модуль деформации достигает значений 400 МПа [2]. Скорость упругой волны по разрезу грунтоцементного ограждения до 20 м соответствует 1000-2550 м/с, а после дополнительной цементации этим же способом – 1050-3000 м/с.

Достаточно эффективную и производительную оценку качества грунтоцементных свай, полученных с помощью струйной цементации, удалось получить совместно ученым из ООО «НПО КОСМОС» (Черняков А.В., Богомолова О.В., Капустин В.В.) и геологического факультета МГУ (Владов М.Л., Калинин В.В.) [10]. Применение скважинных сейсмоакустических наблюдений позволяет следить за качеством искусственного закрепления

грунтов на основании кинематики и динамики распространения объемных волн и гидроволн вдоль оси скважины.

В последнее время, как в нашей стране, так и за рубежом для защиты различных сооружений от сверхнормативных деформаций используют совмещение различных методов и технологий (например, отсеченных экранов, «стен в грунте», свай с анкерным креплением, многократных инъекций грунта по различным технологиям и др.). Однако современные технологии являются сложными и поэтому требуют тщательного геотехнического обоснования и сопровождающего мониторинга, как за качеством работ, так и за сохранностью окружающей среды.

В заключение можно отметить, что при проектировании, строительстве и эксплуатации сооружений на структурно-неустойчивых и водонасыщенных грунтах, чувствительных к вибрационным воздействиям, необходимо использовать эффективные методы по их искусственному преобразованию, так как собственная частота колебаний закрепленного массива будет достаточно высокой и окажется за пределами резонансной области.

Литература

1. *Абрамова Т.Т.* Экраны для защиты зданий, сооружений от воздействия колебаний грунта // Сергеевские чтения. Роль инженерной геологии и изысканий на предпроектных этапах строительного освоения территорий. Материалы годичной сессии научного совета РАН по проблемам геоэкологии, инженерной геологии и гидрогеологии. Вып. 14. – М.: РУДН, 2012. – С. 235-240.
2. *Архипов А.Г.* Струйная цементация грунтов и контроль качества грунтоцементных массивов. // www.geodiagnosics.ru/
3. *Герасимов О.В.* Геолого-геофизический мониторинг грунтов оснований горно-технических сооружений, укрепляемых методом высоконапорной инъекции. Автореф. к. т. н. – Кемерово, 2007. – 22 с.
4. *Ибрагимов М.Н.* Опыт закрепления лессовых грунтов силикатизацией // Сборник трудов III-го Центрального Азиатского Международного Геотехнического Симпозиума. «Геотехнические проблемы строительства на просадочных грунтах в сейсмических районах. – Душанбе, 2005. – С. 336-340.
5. *Коваленко В.Г.* Снижение геориска путем управления динамической устойчивостью массивов дисперсных грунтов. ГеоРиск. – Декабрь, 2007. – С. 12-17.
6. *Массарри К. Райнер* Деформационные свойства стабилизированных грунтовых колонн. // Сб. «Развитие городов и геотехническое строительство. № 10, 2006. С. 158-175.
7. *Осипов В.И., Алешин А.С., Марченков А.Ю., Филимонов С.Д.* Геокомпозиционный экран – эффективное средство снижения уровня техногенной вибрации // Сергеевские чтения. Инженерно-геологические изыскания в строительстве: теоретические основы, методика, методы и практика. Вып. 8. – М.: ГЕОС, 2006. – С. 236-239.
8. *Петриченко В.В.* Сейсморазведочные работы методом поверхностных волн в железобетонной штольне строящегося Алабяно-Балтийского тоннеля // Инженерные изыскания. – Август, 2011. – С. 68-70.
9. *Самарин Е.Н., Балыкова С.Д., Коваленко В.Г.* Инженерно-геологические методы управления динамической устойчивостью массивов дисперсных грунтов (на примере Нижневартовского нефтегазоносного района) // Инженерная геология. – Сентябрь, 2007. – С.36-42.
10. *Черняков А.В., Богомолова О.В., Капустин В.В., Владов М.Л., Калинин В.В.* Контроль качества геотехнических конструкций, созданных методом струйной цементации // Технология сейсморазведки. – 2008. – № 3. – С. 97-103.

СИНТЕЗ ГРУНТОВОГО КОМПОЗИТА ИЗ ТЕХНОГЕННОГО ГРУНТА

О.Е. Болтенкова

ГОУ ВПО «Белгородский государственный национальный исследовательский университет». 308015 г. Белгород, ул. Победы д. 85

Вопросы направленного формирования свойств грунтов в соответствии с конкретными потребностями хозяйственной деятельности являются предметом детального обсуждения в теоретическом и практическом аспектах инженерной геологии.

Академик Е.М. Сергеев на протяжении своей многолетней и исключительно продуктивной научной деятельности уделял постоянное внимание общетеоретическим вопросам соотношения общего грунтоведения и технической мелиорации грунтов. Е.М. Сергеев впервые сформулировал методологически определяющий тезис о необходимости практического управления состоянием природно-технических литосистем с целью обеспечения инженерно-хозяйственной деятельности.

Неотъемлемой частью инженерной геологии и общего грунтоведения является, в соответствии с указанными фундаментальными принципами, разработка методов формирования грунтов с заданными свойствами в соответствии с потребностями различных видов инженерно-хозяйственной деятельности [1]. Также достаточно важным в методологическом аспекте является необходимость изучения техногенных грунтов различного генезиса с целью решения широкого круга задач в сфере охраны окружающей среды, разработки экологически безопасных способов локализации отходов и других. К числу наиболее распространенных техногенных грунтов относятся отходы обогащения железных руд, в частности, железистых кварцитов. На территории Курской магнитной аномалии (КМА), в Белгородской и Курской областях в настоящее время накоплено около 1,5 млрд. тонн отходов обогащения в хвостохранилищах Лебединского, Стойленского и Михайловского горно-обогатительных комбинатов. Ежегодно складывается в хвостохранилища около 47 млн. тонн отходов, что почти равно суммарному твердому стоку р. Волга и рек Черноморско–Азовского речного бассейна. С общегеологической точки зрения места складирования отходов обогащения являются зонами наиболее интенсивного литогенеза как в техногенном, так и в природном аспектах, что подтверждает тезис В.И.Вернадского о хозяйственной деятельности человека как геологической силе.

Согласно общепринятой классификации, отходы обогащения железных руд по гранулометрическому составу относятся к пылеватым пескам, с содержанием фракции пыли 0,05-0,001 мм от 30% до 70%. В целом гранулометрический состав характеризуется существенной изменчивостью, что связано с неоднородностью руды, поступающей на обогащение. Также суще-

ственное влияние оказывает процесс фракционирования материала в водном потоке, поскольку при сбросе гидросмеси на поверхность происходит раскладка материала по крупности. В рассматриваемом аспекте основной особенностью техногенных грунтов является остаточное содержание оксидов железа, в основном, гематита и мартита, также присутствует в небольших количествах магнетит. В целом содержание оксидов железа в отходах составляет от 10% до 15%, в химическом составе отходов преобладает кварц – до 80%. Содержание карбонатов для данного вида отходов нехарактерно, поскольку железная руда, используемая для обогащения, практически бескарбонатная.

Проведены эксперименты по активации железосодержащих минералов раствором соляной кислоты с последующим осаждением катионов железа в виде гидратных соединений. Процесс осуществлялся в две стадии.

На первой стадии синтезированы водорастворимые соединения железа в виде хлоридов железа, образующихся при взаимодействии железосодержащих минералов с соляной кислотой. Количество кислоты рассчитано исходя из полного взаимодействия железосодержащего комплекса техногенного грунта, т.е. в стехиометрическом соотношении.

На второй стадии синтезирована гидроокись железа при взаимодействии хлорида железа с раствором гидроокиси натрия, обработка проводилась до нейтрального значения $pH = 7$.

Вышеописанный двухстадийный процесс является аналогом перехода металлов в растворенное состояние в кислой среде с осаждением гидратов при изменении pH среды от кислой до нейтральной в природных геохимических условиях. В грунтовом композите силикатная часть является каркасом для осаждения гидратов окиси железа. В рамках рассматриваемой двухкомпонентной модели (железосодержащие и силикатные минералы) влияние других минеральных компонентов не рассматривается.

Оптимально реакция по первой стадии протекает при температуре 80-90⁰С в течение 1,5-2 часов. Соляная кислота является единственно возможным реагентом на первой стадии синтеза, поскольку растворимость хлорида железа в воде крайне высокая – до 100 граммов хлорида на 100 граммов воды, другие соли железа такой растворимости не имеют. Обработка

полученной смеси производилась 20% раствором гидроокиси натрия (техн.) Контроль pH среды выполнялся простейшим способом по универсальной индикаторной бумаге и цветовой шкале.

Синтезированные гидраты оксида железа радикально меняют свойства грунта: существенно увеличивается удельная поверхность, грунт становится связным, также увеличивается гигроскопичность. Для исключения влияния растворимых солей (хлорида натрия), грунт однократно промывался водопроводной водой, высушивался до постоянного веса при температуре 105⁰С. После охлаждения на воздухе до 20⁰С из композита формовали образцы требуемых размеров. Результаты сравнительных испытаний представлены в таблице.

Сравнительные характеристики техногенного грунта

Образец	Показатель			
	Удельная поверхность м ² /г	Средний диаметр пор, ангстрем	Кэфф-т фильтрации, м/сут	Прочность МПа
1	2	3	4	5
Контрольный	0,9	103,0	1,0	отсутств.
Обработанный	45,8	36,2	0,008	0,05

Таким образом, по данным определений характеристик обработанных образцов техногенного грунта необходимо констатировать, что удельная поверхность увеличилась более чем в 52 раза, средний диаметр пор уменьшился в 2.8 раза, коэффициент фильтрации (проницаемость) уменьшился более чем в 120 раз. Определение удельной поверхности контрольных и обработанных образцов производились на высокоточном приборе – газоадсорбционном анализаторе TriStar II 3020, испытания на проницаемость и прочность по стандартным методикам. Выявлены существенно нелинейные эффекты образования большого количества нано размерных пор, диаметр которых меньше 50 ангстрем, что соизмеримо с размерами ионных радиусов единичных атомов металлов.

По данным исследования поверхности на СЭМ QUANTA с микроанализатором выявлено, что гидрат оксида железа равномерно покрывает поверхность силикатных зерен техногенного грунта, размер частиц гидрата от 200 до 600 нм. Согласно данных микроанализа, принятая двухкомпонентная модель в общем подтверждается, что следует из рисунка. Исследования микростроения и удельной поверхности композита проведены в ЦКП ГОУ БелГУ на уникальной аппаратуре, за что автор выражает благодарность сотрудникам ЦКП.

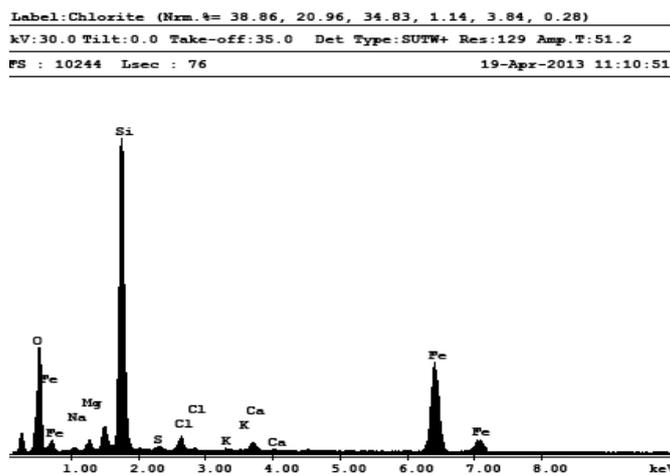


Рис. Данные микроанализа

Таким образом, на основании использования методологических принципов общего грунтоведения обоснована возможность направленного изменения свойств техногенного грунта, исходя из двухкомпонентной модели – железосодержащих и силикатных минералов. В результате проведения двухстадийного синтеза достигается существенное увеличение удельной поверхности, уменьшение коэффициента фильтрации и улучшение свойств техногенного грунта. Согласно данным микроанализа, принятая двухкомпонентная модель техногенного грунта обеспечивает необходимую информативность.

Полученный грунтовый композит может найти применение для строительства различных противofильтрационных элементов.

Литература

1. *Сергеев Е.М.* Положение инженерной геологии в разделе геологических наук, ее современное состояние и пути дальнейшего развития // Инженерная геология. – 1989. – № 2.

ГЕНЕТИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ И ИЗМЕНЕНИЯ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ НИЖНЕКЕМБРИЙСКИХ ГЛИН В РАЗРЕЗЕ САНКТ-ПЕТЕРБУРСКОГО РЕГИОНА

Р.Э. Дашко, А.А. Коробко

**Национальный минерально-сырьевой университет «Горный»,
199106 Санкт-Петербург, ВО, 21 линия, д.2. E-mail: regda2002@mail.ru**

В южной части Большого Санкт-Петербурга непосредственно под маломощным чехлом четвертичных отложений залегает толща нижнекембрийских глин лонтовасской свиты.

Отложения нижнекембрийских глин широко распространены в разрезе южной части территории Санкт-Петербурга и Ленинградской области, кроме узкой полосы вдоль южного берега Финского залива, где они были размыты и эродированы в предчетвертичное время. Мощность рассматриваемых глин постепенно увеличивается от 2-10 м в зоне размыва до 100-200 м в юго-западной части рассматриваемой территории. В пределах Предглинтовой низменности, расположенной в южной части Санкт-Петербургского региона между южным берегом Финского залива и Балтийско-Ладожским глинтом, описываемые глины выходят на дневную поверхность, либо перекрыты маломощным покровом четвертичных отложений.

Как известно, нижнекембрийские глины в исследуемом регионе относятся к морским образованиям и, согласно Н.М. Страхову, выделяются в осо-

бый класс отложений – гемипелагических глин, формирование которых происходило в выраженной восстановительной обстановке из голубых илов [2].

Образование этих глин приходилось на максимум трансгрессии нижнекембрийского моря. По палеогеографическим исследованиям в раннем кембрии на Русской платформе господствовал влажный теплый климат.

В теплом море получила активное развитие органическая жизнь, которая сыграла большую роль в специфике формирования состава нижнекембрийских глин. Значительное содержание органического вещества служило причиной возникновения восстановительной обстановки и образования сульфидов в этих отложениях.

Присутствие пирита, в том числе тонкодисперсного – мельниковита служит ярким подтверждением существования анаэробных условий в придонной части нижнекембрийского моря, биохимического образования сероводорода (процесса сульфатредукции) путем восстановления сульфатов, которые обычно присутствуют в морской воде и, соответственно, в поровых водах донных отложений.

Примерная схема сульфатредукции и образования гидротроилита и пирита [5]:



Нижнекембрийские глины имеют синевато-серый цвет, из-за чего и получили название «синие» глины. Они характеризуются как алевритовые неяснослоистые разности, содержат сульфиды и органические соединения до 4%, из них 1% приходится на битуминозную органику. В минеральном составе глинистой фракции преобладают высокощелочные гидрослюды, хлорит и глауконит, редко встречается монтмориллонит в глубоких частях нижнекембрийской толщи [3].

Выдержанность мощности толщи глин по площади, отсутствие складок подводного оползания, а также ярко выраженной слоистости свидетельствует о том, что накопление синих глин происходило в спокойной тектонической обстановке.

История формирования синих глин в доледниковое, ледниковое и послеледниковое время определило их современное состояние, состав и физико-механические свойства, которые различаются по разрезу толщи.

Традиционный подход к инженерно-геологической оценке нижнекембрийских глин базируется на предположении, что эти образования являются квазиоднородной средой с малой изменчивостью состава и физико-механических свойств, как по глубине, так и по площади [4]. Однако необходимо принимать историю геологического развития Санкт-Петербургского региона в палеозойско-четвертичное время, вплоть до современного периода.

В настоящее время установлено, что толщу коренных глинистых отложений нижнего кембрия следует оценивать как трещиновато-блочную среду. Трещины в этих глинах формировались за счет тектонических и нетектони-

ческих факторов. Активность тектонического фактора и соответственно трещинообразование в глинах определяется положением данного региона, который находится на сочленении Русской платформы с Балтийским щитом.

Интенсивность тектонической трещиноватости в толще синих глин зависит от её положения по отношению к тектоническим разломам и узлам тектонических разломов (рис. 1).

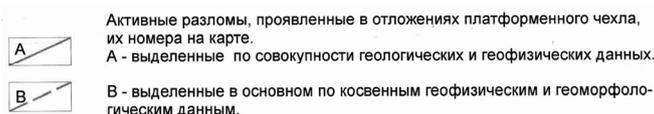


Рис. 1. Фрагмент геолого-структурной карты Предглинтовой низменности. Масштаб 1:100000 (по [1])

Согласно результатам исследований, тектонические трещины образуют в синих глинах две системы северо-западного и северо-восточного простирания, угол между которыми составляет практически 90^0 (вне зон тектонических разломов), более сложные системы трещин обнаруживаются в узлах тектонических разломов.

В синих глинах отчетливо прослеживается также литогенетическая трещиноватость. Система тектонических и субгоризонтальных литогенетических трещин формирует блочное строение толщи (рис. 2).



Рис. 2. Синие глины как трещиновато-блочная среда (карьер «Красный Бор»)

Нетектоническая трещиноватость, в основном, характерна для верхней зоны разреза синих глин, и ее формирование происходило в результате процессов длительного палеовыветривания, когда около 300 млн. лет назад глины верхней толщи в рассматриваемом регионе были выведены на дневную поверхность. В ледниковый период описываемые породы испытывали несколько циклов нагрузки-разгрузки. В этот период шло формирование трещин упругого отпора (при снятии нагрузки), морозобойного расстрескивания и морозного выветривания, а также клиновидных трещин, образующихся за счет явлений гляциотектоники.

Исследования, выполненные проф. Р.Э. Дашко еще в 80-х годах прошлого века показали, что нижнекембрийские трещиноватые глины в пределах Санкт-Петербургского региона имеют зональное строение по глубине, которое связано с историей его геологического развития в палеозойское – кайнозойское время [2]. Каждая зона глин может быть охарактеризована изменением размеров блоков по глубине и варьированием параметров физических свойств.

Наибольшая степень дезинтегрированности устанавливается в верхней зоне, где на тектоническую трещиноватость накладывается нетектоническая, что отражается в уменьшении размеров блоков. Верхняя часть разреза толщи коренных глин рассматривается как зона гидратации и разуплотнения. По варьированию плотности и влажности синих глин в разрезе можно оценить ту глубину, в пределах которой наблюдалось разуплотнение глин. В синих глинах максимальная мощность такой зоны составляет 17-20 м, что увязывается с величиной давления набухания, в среднем 0,35 МПа.

Наличие трещиноватости в глинах существенно сказывается на их прочности, деформационной способности, а также водопроницаемости. Если в верхней зоне основное влияние на механические свойства глин оказывают их трещиноватость и влажность, то в нижней зоне, где породы характеризуются относительным постоянством физического состояния, решающее значение в оценке прочности приобретает микро- и макротрещиноватости. При анализе и оценке прочности литифицированных глинистых пород большое значение имеет макротрещиноватость, которая не фиксируется визуально, но влияет на результаты трехосных испытаний синих глин верхней зоны [2].

В синих глинах отчетливо прослеживается влияние масштабного эффекта, о чем свидетельствуют результаты испытаний образцов различного размера (объема) при одинаковом отношении их высоты к диаметру (таблица).

Наиболее интенсивно проявляется масштабный эффект в образцах глин, отобранных из зон тектонических нарушений.

Таблица

Влияние масштабного эффекта на прочность и деформационную способность синих глин (глубина отбора образцов 3-10 м) [1]

Площадь образца, см ²	20-26,5	40-48	98
Прочность на одноосное сжатие, МПа	0,70-0,92*	0,24-0,50	0,105-0,140
	0,81/6**	0,34/7	0,12/5
Модуль общей деформации, МПа	14-20	8-10	3-6
	16/6	8,5/7	4/5

Примечание: * – минимальное – максимальное значение показателя, ** – среднее значение показателя / число определений.

Прочность на одноосное сжатие зависит от объема образца. При увеличении площади образца в 4 раза его прочность уменьшается в 7 раз. Следует отметить, что наибольшее влияние трещиноватость оказывает на величину модуля общей деформации, в зонах разломов величина данного показателя изменяется по глубине незакономерно и характеризуется следующим разбросом значений – от 1,5 до 10,5 МПа и более, что свидетельствует о высокой степени дезинтеграции толщи.

Наличие трещиноватости синих глин также предопределяет величину и характер их проницаемости. В лабораторных условиях максимальная величина поровой проницаемости этих пород достигает 10^{-5} м/сут, с учетом трещиноватости этот показатель возрастает на 2-3 порядка и более.

В настоящее время в пределах южной части Санкт-Петербургского региона ведется, либо проектируется строительство сооружений различного назначения, таких как кольцевая автомобильная дорога, новый терминал международного аэропорта, планируется проектирование тоннелей метрополитена, ведется строительство гражданских зданий. На территории Предглинтовой низменности эксплуатируется опытно-промышленный полигон «Красный Бор» для складирования отходов различного производства, за исключением биотехнологических и радиоактивных. Анализ опыта строительства и эксплуатации различных сооружений показывает, что в ряде случаев из-за неучета трещиноватости этих глин, их высокой степени уязвимости по отношению к контаминации наблюдается развитие аварийных ситуаций.

Переход 9-этажного жилого дома в Пушкине в аварийное состояние в период его строительства наблюдался по причине некорректной оценки несущей способности глин при использовании завышенных значений сопротивления сдвигу и показателей деформационных свойств. Расчетное сопротивление (R) при проектировании составило 0,30 МПа. Использование в расчетах параметров σ и φ , полученных при стабилметрических испытаниях и внесение понижающих коэффициентов в величину сцепления за счет мелкой блочности породы привело к снижению R почти в 2 раза (R = 0,17 МПа). По-

сле возведения 6-го этажа здания началось выдавливание глин в пределах всего контура здания, которое дало крен 27° . Здание было взорвано.

Несколько позднее наблюдался переход в аварийное состояние 9-этажного дома в г. Никольское, за счет инфильтрации канализационных стоков в трещиноватую толщу синих глин на глубину более 8 м. Глины перешли в категорию малолитифицированных разностей, что при давлении от сооружения 0,3 МПа привело к развитию деформаций перекоса и сползанию межэтажных перекрытий. Дом был снесен.

В 2007 г. при устройстве выемки на участке кольцевой автомобильной дороги в диапировой структуре синих глин произошли оползневые смещения. Проектирование устойчивости дорожной выемки проводилось без учета влияния трещиноватости синих глин на устойчивость откосов выемки.

В 2010 г. при строительстве одной из трасс автомобильной дороги вблизи г. Ломоносова произошло разрушение песчаной насыпи высотой 9,5 м и углами заложения 30° , возведенной на синих глинах, за счет отдавливания глин в основании насыпи. В расчетах устойчивости использовались завышенные значения показателей сопротивления сдвигу синих глин без учета их дислоцированности и квазипластичного состояния. Исследования, выполненные на кафедре Гидрогеологии и Инженерной геологии, дали возможность установить, что на участке автодороги протяженностью более 300 м в силу высокой разуплотненности и трещиноватости глин не может быть возведена насыпь. Были обоснованы рекомендации по использованию эстакадного перехода.

В 2011 г. в рамках проведения реконструкции автодороги второй технической категории М-20 «Санкт-Петербург – Киев» был произведен анализ причин перехода тоннельной конструкции неглубокого заложения в предаварийное состояние. На стадии изысканий не был исследован важный фактор – подрезка пологого склона, сложенного дезинтегрированными нижнекембрийскими синими глинами, что привело к развитию оползневых смещений и деформации стенок тоннеля.

Накопленный материал по исследованию взаимодействия сооружений с нижнекембрийскими глинами дает возможность утверждать, что возникла острая необходимость в разработке новых научно-практических подходов к их инженерно-геологической оценке и необходимости зонирования южной части территории Санкт-Петербургского региона по степени сложности и инженерно-геологических условий проектирования, строительства и эксплуатации сооружений на нижнекембрийских глинах.

Литература

1. Геолого-структурная карта / сост. и подгот. к изд. Гос. Науч.-Иссл. институт горной геомеханики и маркшейдерского дела межотраслевой науч. центр ВНИМИ в 2004 г.; составители: Е.К. Мельников, А.Н. Шабаров. – 1 : 100000, 1 км в 1 см. – 1 к.
2. Дашко Р.Э. Особенности инженерно-геологического анализа нижнекембрийских синих глин как основания сооружений // Механика грунтов, основания и фундаменты. Межвузовский тематический сборник научных трудов. – Л.: ЛИСИ, 1984.

3. Дашко Р.Э., Еремеева А.А. Инженерно-геологические особенности коренных глин Санкт-Петербурга как среды для размещения подземных сооружений // Материалы Международного симпозиума «Инженерно-геологические проблемы урбанизированных территорий». Т. II. – Екатеринбург: изд-во «Аква-Пресс», 2001. – С. 675-681.

4. Ломтадзе В.Д. Физико-механические свойства нижнекембрийских глин северо-западной окраины Русской платформы. – Зап. Ленинградского горного ин-та. Т. XXXIV. Вып. 2. – 1958. – С. 154-189.

5. Перельман А. И. Геохимия: Учеб. для геол. спец. вузов.—2-е изд., перераб и доп. — М.: Высш. шк., 1989. – 528 с.

КОЭФФИЦИЕНТ ДИНАМИЧНОСТИ В РАСЧЕТАХ ПЕСЧАНЫХ И КАМНЕНАБРОСНЫХ ПЛОТИН НА СЕЙСМИЧЕСКИЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ

П.Ю. Дьяконов

ОАО «МОСИНЖПРОЕТ», 111250, Москва, проезд Завода Сера и Молот, д. 10.
E-mail: pyudyakonov@yandex.ru

При расчетах грунтовых плотин на сейсмические воздействия по нормативной методике [8] используется формула: $S_{ikj} = K_1 K_2 Q_k A K_\psi \beta_i \eta_{ikj}$, входящих в нее параметров общеизвестно. Коэффициенты A , K_1 , K_2 и η_{ikj} – характеризуют сейсмическое воздействие и геометрию сооружения, а β_i и K_ψ – затухание колебаний, которое зависит от свойств грунта. С развитием нормативной расчетной методики коэффициенты, претерпели значительные изменения, не всегда, на наш взгляд, обоснованные. Например коэффициент A , утратил физический смысл, а численные значения других слабо аргументированы. Изменялись как параметры, так и результаты расчета.

Если вычислить экстремумы расчетной сейсмической нагрузки для грунтовых плотин I категории по методике предлагаемой СНиП-А.12-69* и СНиП-II-7-81*, то они различаются и лежат соответственно в пределах:

$$S_{ik} = 2,73 * Q \eta_{ik} \text{ и } S_{ikj} = (1,56 - 1,95) * Q_i \eta_{ikj}.$$

Несмотря на то, что в СНиП-II-7-81* по сравнению со СНиП-А.12-69* увеличены: расчетная интенсивность сейсмического воздействия для районов строительства и ускорения сейсмического воздействия расчетная сейсмическая нагрузка уменьшилась в 1,40 – 1,75 раза, а с учетом изменений коэффициента динамичности в 1,17 – 1,46 раза. При этом объяснений таким коррективам не дается. Просто эмпирически установлено, расчетная сейсмическая нагрузка может быть уменьшена, и на этом основании вводятся новые коэффициенты или изменяется их значение. Резонно предположить, что необходимо уделить большее внимание обоснованию численных значений коэффициентов и в частности величины коэффициента динамичности β_i , которая, по нашему мнению, принята и корректируется достаточно произвольно.

Основные положения вывода формулы для определения расчетной сейсмической нагрузки для гравитационной плотины изложены, например, в [1], где получено уравнение вынужденных колебаний при сейсмических воздействиях: $U(x, t) = \sum_{i=1}^{\infty} T_i(t) \varphi_i(t)$, которое может быть записано в виде двух множителей. Первый, из них зависит от форм колебаний сооружения по i -му тону, второй – функция времени, зависящая от частоты (периода) собственных колебаний сооружения и затухания колебаний. Вторым множителем, в формуле для определения расчетной сейсмической нагрузки представляет абсолютные ускорения линейных осцилляторов. По фактически наблюдаемым акселерограммам землетрясений вычислены функции для всего диапазона встречающихся в практике периодов собственных колебаний. Средние значения этих функций, полученные путем статистической обработки, названы коэффициентом динамичности β_i [1].

Величина коэффициента динамичности была первоначально принята как средняя между нулем и максимально возможной, и в дальнейшем уменьшалась по мере накопления натуральных данных [4,6]. Для системы с вязким сопротивлением коэффициент динамичности представляет собой множитель: $1 / \sqrt{(1-\omega^2/p^2)^2 + 4n^2\omega^2/p^4}$. Введя понятие коэффициент поглощения ψ , который является характеристикой величины рассеивания энергии внутреннего трения, или логарифмического декремента колебаний δ , коэффициент динамичности принимает вид [9]:

$$1 / \sqrt{(1-\omega^2/p^2)^2 + \psi/\omega^2/p^4} \approx 1 / \sqrt{(1-\omega^2/p^2)^2 + (\delta/\pi)^2(\omega/p)^2}.$$

Исследования песка, с записью петель упругого гистерезиса и определением коэффициента поглощения показали, что петли гистерезиса имели несимметричную, каплевидную форму. Тщательными проверками установлено, такая форма петель характерна для сыпучих материалов [3,5], которые обладают сухим трением между частицами.

Влияние сухого трения на коэффициент поглощения различных конструкционных материалов, при возбуждении в них вынужденных колебаний приложением изгибных, крутильных, ударных воздействий рассмотрен в [7]. При исследовании затухания колебаний свободной системы и системы с внешним сухим трением получены зависимости изменения коэффициента поглощения, отвечающие этим двум законам затухания, которые имели прямо противоположный характер. Т.е. при совместном действии указанных факторов, величина коэффициента поглощения будет меньше, чем при только упруго-вязком сопротивлении. Иными словами при наличии сухого трения коэффициент ψ , характеризующий площадь петли гистерезиса меньше, чем при только упруго-вязком сопротивлении.

Подобное уменьшение площади петли упругого гистерезиса получено опытным путем при исследовании песка. Следовательно, при сейсмических воздействиях грунтовую плотину, сложенную большей частью сыпучими материалами, можно рассматривать как упруго-вязкую систему с сухим трением, подвергнутую вынужденным колебаниям.

Такая задача рассмотрена в [2,9]. Здесь в предположение, что при действии постоянной силы трения F имеет место простое гармоническое движение, как в случае вязкого сопротивления, амплитуда колебаний равна:

$$A = \pm P/k [\sqrt{1 - (4F/\pi P)^2} / (1 - \omega^2/p^2)],$$

где P – возмущающая сила; k – коэффициент жесткости; ω – угловая частота возмущающей силы; p – угловая частота свободных колебаний; P/k – статическое отклонение; $[\sqrt{1 - (4F/\pi P)^2} / (1 - \omega^2/p^2)]$ – коэффициент динамичности, который имеет действительное значение при $F/P < \pi/4$. Это условие выполняется, когда силы трения невелики и динамический коэффициент зависит от отношения ω/p .

Ниже приводится рисунок зависимости динамического коэффициента от отношения ω/p при различных значениях $F/P < \pi/4$, заимствованный из [9]. (Решение этой задачи выполнено Ден-Гартогом, см. [2]).

Выше пунктирной линии лежат значения коэффициента динамичности, при которых колебания должны происходить без остановки. Т.е. при коэффициенте динамичности β_i более полутора упруго-вязкая механическая система с незначительной силой сухого внутреннего трения при колебаниях будет стремиться к неограниченному росту амплитуды колебаний.

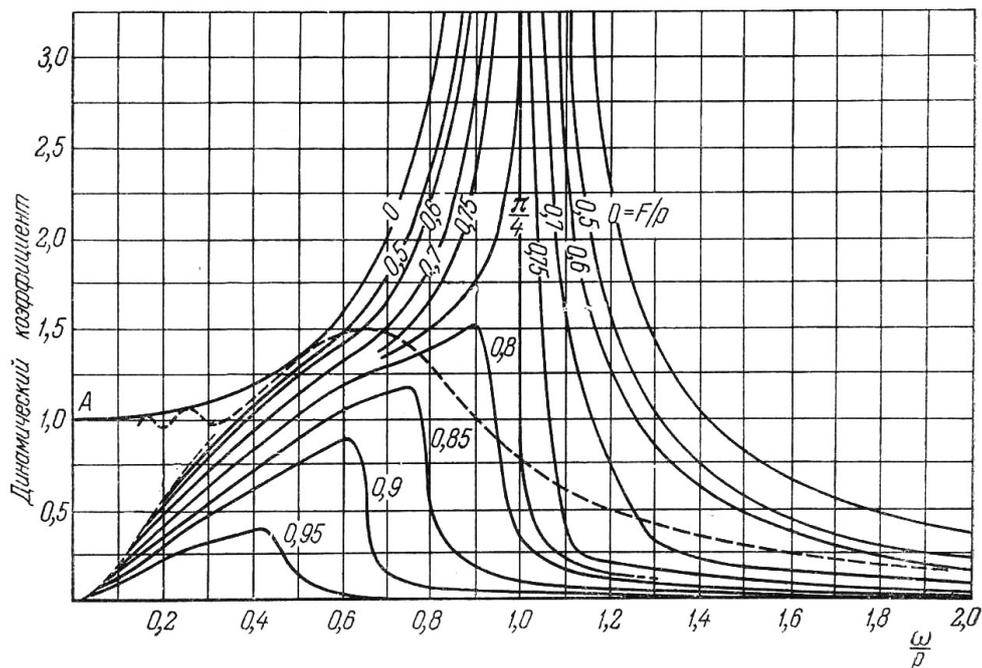


Рис. 1. Изменение коэффициента динамичности с ростом отношения угловых частот: возмущающей силы ω и свободных колебаний p , при различных соотношениях силы трения F и возмущающей силы P колеблющейся системы

В реальных грунтовых плотинах при землетрясениях наблюдается затухание колебаний. Следовательно, максимально достаточная теоретическая величина коэффициента динамичности для грунтовых плотин из несвязных материалов не должна превышать 1,5. Это не означает, что в нормативных документах следует принять указанное значение. В реальных сооружениях грунт находится в увлажненном состоянии (что влияет на внутреннее трение), необходимо учитывать также коэффициент запаса и ряд других факторов. Численное значение коэффициента динамичности следует назначать с учетом указанных обстоятельств, т.к. исходное максимальное значение β_i равно трем принятое в СНиП, завышено, а его численное значение не имеет должного обоснования.

Таким образом, каплевидная форма петель упругого гистерезиса, являющаяся неотъемлемым свойством несвязных грунтов, показывает, что сложенную из этих грунтов плотину следует рассматривать как систему с вязким сопротивлением и дополнительным небольшим сухим трением. Величина коэффициента динамичности такой системы не может превышать $\beta_i = 1,5$. Это обстоятельство должно стать основополагающим при назначении численных значений β_i в нормативных документах по расчету грунтовых плотин на сейсмическое воздействие.

Литература

1. Гидротехнические сооружения. Ч. 1 / Под ред. М.М. Гришина. – М.: Высшая школа, 1979. – С. 147-153.
2. Дж. П. Ден-Гартог. Механические колебания. – М.: Государственное издательство физико-математической литературы, 1960. – С. 500-504.
3. Дьяконов П.Ю. Определение упруго-вязких характеристик песка при вибродинамическом воздействии. – М.: ВИНТИ, Депонированные научные работы, № 7, 1987. – С. 156.
4. Дьяконов П.Ю. «О СНиП II-7-81* Строительство в сейсмических районах. Нормы проектирования». «IV Денисовские чтения». «Проблемы обеспечения экологической безопасности строительства». 23.10.2008 г. – М., 2008. – С. 36-39.
5. Дьяконов П.Ю. Определение поглощающих свойств песка для расчетов сооружений на сейсмические воздействия // Вестник МГСУ. – 2009. – № 1. – С. 94-96.
6. Корчинский И.Л., Поляков С.В., Быховский В.А., Дузинкевич С.Ю., Павлык В.С. Основы проектирования зданий в сейсмических районах. – М.: ГСИ, 1961.
7. Сорокин Е.С. Динамический расчет несущих конструкций зданий. – М.: Госстройиздат, 1956. – С. 126-128.
8. Свод правил. Строительство в сейсмических районах. Актуализированная редакция СНиП II-7-81*. СП 14.13330.2011. М. 2011.
9. Тимошенко С.П. Колебания в инженерном деле. – М.: Наука, Главная редакция физико-математической литературы, 1967. – 444 с.

СОВРЕМЕННОЕ ПОЛОЖЕНИЕ ГРУНТОВЕДЕНИЯ

Д.Ю. Здобин

Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург
199034, Университетская набережная 7/9. E-mail: zdobin_soil@mail.ru

Поступательное развитие каждой науки, а грунтоведение не исключение, ставит перед ней на каждом этапе новые проблемы и вызовы [1].

В инженерной геологии, составной частью которой является грунтоведение, существуют свои обособленные дисциплины со всеми критериями, присущими каждой науке: предмет, объект исследования, терминологическая база, методология, решаемые задачи – инженерная геодинамика и региональная инженерная геология [3, 4].

Сведения о составе и свойствах земной поверхности, на которой будет построено сооружение, всегда являлись составной частью строительного дела. Постепенное накопление и систематизация знаний в этой области привели к формированию в 20-х гг. XX века одновременно двух новых наук: «механика грунтов» и «грунтоведение».

В дорожном почвоведении, возникшем в СССР, как результат запросов общества на решение практических задач – безопасное строительство и эксплуатация дорог, сразу же обособились два подхода к изучению грунтов: географо-генетический – исследование состава, строения и свойств грунтов во всем своем многообразии, и технический – определение некоего набора параметров грунта необходимых для проектирования конкретного инженерного сооружения. И если за рубежом развивался в основном технический подход, как составная часть геотехники, то в нашей стране, оба этих направления: и грунтоведение, и механика грунтов.

Любая наука со временем претерпевает дифференциацию, что в свою очередь влечет появление новых направлений, которые со временем формируются и обособливаются в новые дисциплины.

История грунтоведения в этом аспекте не является исключением. Современная ситуация в грунтоведении – прямая параллель с историей развития комплекса дисциплин, связанных с изучением почвенного покрова. В самом начале (XVIII век) была исключительно агрономия, которая постепенно эволюционировала в агропочвоведение, а позднее в агрохимию (изучение почв в целях улучшения их плодородия для целей сельского хозяйства). Теоретическое почвоведение (географо-генетический подход к изучению почвенного покрова) – родилось позднее агрономии, условно в 1883 г., когда вышла в свет монография В. В. Докучаева «Русский чернозем». Теоретическое почвоведение не имело в своей основе агрономии или агрохимии. Это было самостоятельное научное направление. С этого момента почвоведение и агрохимия развивались параллельно, каждая исходя из своих основополагающих принципов и постулатов.

Нечто подобное, по нашему мнению, в настоящее время происходит и в грунтоведении. Генетическое (теоретическое) грунтоведение занимается с одной стороны, фундаментальными вопросами познания состава, строения и структуры грунтов, выяснением физико-химической природы взаимодействия всех составляющих его фаз, а с другой – закономерностями распространения типов и видов грунтов на земной поверхности. Область лабораторного (практического) грунтоведения – правильное определение показателей физико-механических свойств грунтов необходимых для расчета оснований и фундаментов различных сооружений, с привлечением полевых методов определения свойств грунтов (статическое и динамическое зондирование, прессиометрия, штамповые испытания и др.). По всей видимости, именно лабораторные испытания грунтов в инженерных изысканиях для строительства станут составной частью инженерно-геологических изысканий, а все полевые методы изучения строения и свойств грунтового массива конкретной строительной площадки отойдут к инженерно-геотехническим изысканиям.

Грунтоведение – фундаментальная наука геологического цикла. На определенном этапе социально-экономического развития нашего государства грунтоведение было включено в состав инженерной геологии. Но грунтоведение решает не только практические и прикладные задачи. Это совершенно отдельная самодостаточная наука, призванная понять, прежде всего, стержневые проблемы эволюции вещества в пространстве и времени, используя весь комплекс данных о составе, строении и физико-механических свойствах грунтов. На наш взгляд, многие фундаментальные проблемы геологии вообще не могут быть познаны без понятийно-методологической базы грунтоведения как такового. Более того, основные прорывные работы в грунтоведении были сделаны безотносительно к вопросам практического применения в утилитарных строительных целях. Из основных отметим: классификация грунтовых элементов, физико-химическая механика дисперсных систем, проблема лессовых пород, стадийность литогенеза глинистых отложений, микростроение грунтов, термодинамика дисперсных немерзлых грунтов и др.

В этом отношении конец 00-х и начало 10-х гг. XXI века весьма показательны с точки зрения эволюции нашей науки. Это время взрывного характера работ, освещающих совершенно новые подходы применительно к пониманию природы свойства той или иной фазы грунта: от нанопленок воды на поверхности глинистых минералов до поведения грунтов под действием динамических нагрузок. И как результат – разработка основных положений физико-химической теории эффективных напряжений в грунтах [2]. В теории обосновывается, что реальные эффективные напряжения в грунтах определяются действием как внешних (гравитационных), так и внутренних сил физико-химической природы: важнейшими факторами, определяющими поведение такой четырехфазной структурированной системы, как дисперсный грунт, в напряженном состоянии, являются тип контакта, площадь контакта, количество контактов между отдельными элементами грунтовой системы.

На наш взгляд, теория «Герцаги - Осипова» – качественный этап в развитии генетического грунтоведения. Разработка отдельных положений которой повлечет за собой пересмотр и существенную корректировку основных показателей физико-химических свойств грунтов: консистенции, пределов текучести и раскатывания, липкости и др. Важнейшее практическое применение – новые подходы для понимания природы прочностных и деформационных (фильтрационная консолидация) свойств водонасыщенных глинистых грунтов.

Можно совершенно определенно констатировать: грунтоведение вышло на новый виток своего развития, резко расширив свою теоретическую базу. И уже сейчас, можно (с известной долей осторожности) прогнозировать появление в ближайшем десятилетии некой обобщающей работы, которая с одной стороны подытожит важнейшие исследования того или иного свойства грунта, а с другой предложит некую обобщенную модель грунта с современных позиций теоретического грунтоведения.

Итак, на наш взгляд, дальнейшее эволюционное развитие грунтоведения будет способствовать все большей специализации и концентрации внимания именно на тех задачах и проблемах, которые означены выше. Понятно, что рано или поздно, отдельные теоретические разработки найдут свое применение в практических целях (в виде отдельных нормативных документов) – в области инженерных изысканий для строительства, рационального использования территорий и обеспечения безопасности населения.

Грунтоведение - молодая наука, ей всего 90 лет, и, без всякого сомнения, у нас достойное прошлое, великолепное настоящее и блестящее будущее.

Литература

1. *Королёв В.А.* Актуальные научные проблемы современного грунтоведения // Грунтоведение. – 2013. – № 1. – С. 4-10.
2. *Осипов В.И.* Физико-химическая теория эффективных напряжений в грунтах // Геоэкология. – 2013. – № 1. – С 3-24.
3. *Сергеев Е.М.* Инженерная геология – наука геологического цикла // Инженерная геология. – 1979. – № 1. – С. 3-19.
4. *Трофимов В.Т.* Базовые понятия инженерной геологии и экологической геологии. – М.: Геомаркетинг, 2012. – 319 с.

ДИНАМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ВЯЗКОПЛАСТИЧЕСКИХ ГРУНТОВ

Ф.Х. Каримов

Институт геологии, сейсмостойкого строительства и сейсмологии АН Респ. Таджикистан
734069, Таджикистан, г. Душанбе, ул. Айни, 267. E-mail: farshed_karimov@rambler.ru

Большое разнообразие типов грунтов обусловлено различиями их физических свойств по отношению к механическим воздействиям. Яркие реологические свойства представляют вязкопластические грунты [1]. В настоящем докладе рассматриваются динамические свойства вязкопластических грунтов с целью определения их количественных характеристик в условиях модельных динамических воздействий.

Рассмотрим следующую модель динамических воздействий на плоскопараллельный слой однородного вязкопластического грунта толщиной h , расположенный на плоской горизонтальной поверхности (рис.). Верхняя поверхность слоя – свободная. В качестве вида воздействий выберем неизменяющийся во времени импульс силы в горизонтальном направлении, например, со стороны инерционных сил, возникающих при движении горизонтальной плоскости. Будем описывать движение в правой прямоугольной системе координат $Oxyz$, квадрант Oxz которой совмещён с подстилающей тело плоскостью, а ось z направлена перпендикулярно к ней. Пусть импульс силы действует в направлении оси x .

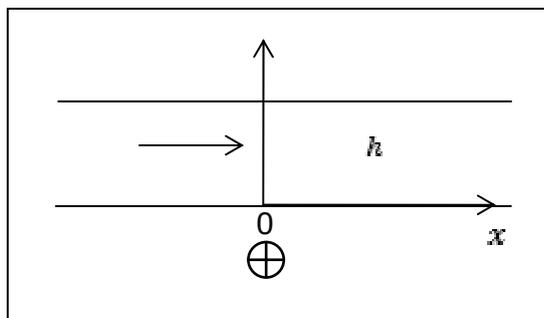


Рис. Схема движения слоёв грунта.

Уравнение движения во времени t для некоторого плоскопараллельного слоя, отстоящего от дна на высоту z будет, очевидно, представлять собой частный случай уравнения Навье-Стокса [2]:

$$\frac{du}{dt} = f + a^2 \frac{d^2u}{dz^2}, \quad (1)$$

где u – скорость движения слоя толщиной dz , f – сила инерции на единицу массы этого слоя, a^2 – отношение коэффициента вязкости η к плотности тела ρ , динамическая вязкость тела.

Пусть сцепление тела с подстилающей плоскостью будет настолько большим, что проскальзывания между ними не возникает. Тогда граничные условия будут иметь вид

$$u(0, t) = 0, \frac{du(h, t)}{dz} = 0. \quad (2)$$

$$\text{Для начальных условий} - u(z, 0) = 0. \quad (3)$$

Решение уравнения (1) с граничными (2) и начальными (3) условиями есть

$$u = \frac{16fh^2}{\pi^3 a^2} \sum_0^{\infty} \frac{1}{(2n+1)^3} \left[1 - \exp\left(-\frac{(2n+1)^2 \pi^2 a^2}{4h^2} t\right) \right] \sin \frac{(2n+1)\pi z}{2h}. \quad (4)$$

Это решение состоит из двух частей. Первая описывает экспоненциально уменьшающуюся во времени скорость рассматриваемой прослойки dz , а вторая – установившееся значение её скорости. Характерное время снижения скорости прослойки представляет собой время релаксации после воздействия импульса f и, как видно из (4) его можно представить в виде

$$\tau = \frac{4h^2 \rho}{\pi^2 \eta}. \quad (5)$$

Если длительность воздействия импульса меньше τ (5), то тело ведёт себя как твёрдое, в обратном случае – как вязкопластическое. Выполним оценки для времени релаксации при следующих физических и геометрических величинах: плотность тела 2000 кг/м^3 , вязкость $10^3 \text{ Па}\cdot\text{с}$. Тогда для слоя толщиной 5 м время релаксации составит 20 с, для слоя толщиной 50 м – 2000 с. При той же плотности тела, но вязкости $10^6 \text{ Па}\cdot\text{с}$, время релаксации составит для слоя толщиной 5 м 0,02 с, а для слоя толщиной 50 м – 2 с.

Таким образом, будет ли тело вести себя как вязкопластическое или как твёрдое – зависит от динамических свойств грунтов, из которых оно сложено: от плотности, динамической вязкости, величины которых, в свою очередь, определяются влажностью, кристаллическими структурными связями и молекулярными сцеплениями, а также параметрами внешних воздействий – амплитудами, частотами, поляризациями импульсов или сейсмических колебаний. Приведённые вычисления дают основания для более детальной классификации грунтов по отношению к динамическим воздействиям.

Литература

1. Каримов Ф.Х. Сейсмогенные оползни на территории Таджикистана: от оценки опасности до снижения риска. – Душанбе: Контраст, 2011. – 68 с.
2. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Гидродинамика. – М.: Наука, 1988. – 736 с.

О НЕКОТОРЫХ АСПЕКТАХ ТЕОРИИ СЖИМАЕМОСТИ И ПРОЧНОСТИ ГРУНТОВ ПРИ ДИНАМИЧЕСКИХ ВОЗДЕЙСТВИЯХ

Д.Н. Клебанюк, П.В. Шведовский

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

За последние десятилетия строительная индустрия постоянно сталкивается с проблемой освоения застраиваемых территорий со сложными инженерно-геологическими, гидрогеологическими и геокриологическими условиями. Особенно сложной является инженерная задача прогноза изменений сжимаемости и прочности грунтов при динамических воздействиях различного характера – природных, техногенных и инженерно-технических.

Общий характер развития объемных деформаций грунтов [1, 2, 3] при различных скоростях приложения и снятия динамической нагрузки показан на рис. 1.

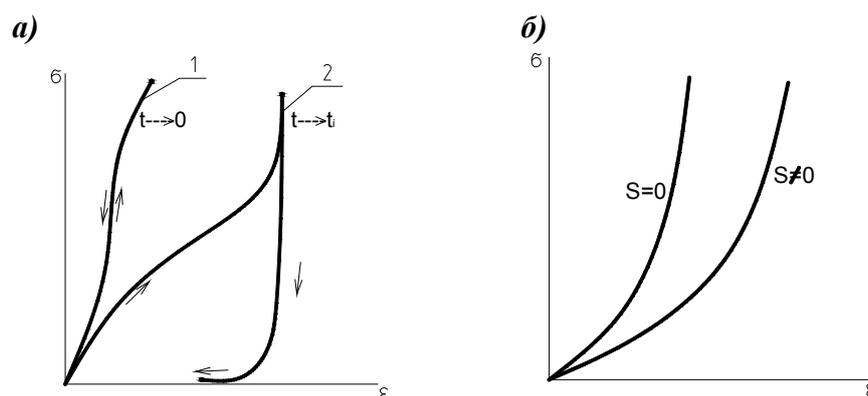


Рис. 1. Графики связи объемных деформаций (ϵ) с напряжениями (σ):
а) – грунты естественной влажности; б) – водонасыщенные

Из графиков видно, что при очень больших скоростях ($t \rightarrow 0$), для грунтов естественной влажности, характерен упругий характер деформирования (кривая 1), а при уменьшении скорости ($t \rightarrow t_i$) характер деформирования (кривая 2) более сложный, т.е. наблюдается «упругое» последствие, за счет восстановления во времени части деформаций. Что касается водонасыщенных грунтов ($S=0$), то их сжимаемость незначительная (кривая 1), но при наличии даже небольшого количества, защемленного газа ($S \neq 0$) их сжимаемость существенно повышается (кривая 2).

Исходя из вышеотмеченного, процесс деформирования любых видов грунтов можно описать используя теорию фракталов, т.к. их структура может быть определена одним параметром – фрактальной размерностью, определяющей три компонента деформации: упругую, пластическую и структурную межчастичную [4].

За основу нами приняты следующие виды структур: для песков (зернистая с кубической упаковкой сферических частиц по системе 20x80); для супесей (сложная по системе 40x80); суглинков (сотообразная по системе 80x80); глины (хлопьевидная по системе 100x100).

Выделим на расстоянии x от границы зоны динамического воздействия слой содержащий n частиц, каждая из которых имеет Z_i контактов с соседними частицами. Характеризуя площадки контактов вектором площади S_{ij} , модуль которого равен площади контактной площадки, а направление совпадает с направлением положительной нормали к ее плоскости, величина общей площади проекции всех контактных площадок для удерживающих контактов на плоскость, перпендикулярную к направлению сил давления, может быть определена по зависимости:

$$S(x) = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^{Z_i} S_{ij} \cdot \cos \varphi_{ij}. \quad (1)$$

Учитывая, что φ изменяется от 0 до $\pi/2$, то, осредняя по ориентациям площадок, имеем:

$$S(x) = 2\pi \cdot Z \cdot S / n, \quad (2)$$

где S – средний размер площадки контакта; Z – среднее число опорных контактов одной частицы в расчетном слое.

Число частиц определим используя интегральный закон распределения относительной плотности во фрактальных кластерах:

$$\rho(x) = x^{D-d}, \quad (3)$$

где D – фрактальная размерность кластера; d – топологическая размерность пространства его расположения.

Переходя к конечным разностям и обозначив расчетный слой индексом k имеем

$$n = S_n (\rho_k \cdot x_k - \rho_{k-1} \cdot x_{k-1}); \quad (4)$$

где S_n – номинальная площадь сечения грунтового массива.

В соответствии с теорией численных методов для получения функции ρ_x по x второго порядка точности имеем [4]

$$n = S_n (\rho_k \cdot x_k - \rho_{k-1} \cdot x_{k-1}) / 2. \quad (5)$$

Переходя от конечных разностей к непрерывной функции и про дифференцировав выражение в скобках получаем

$$n = S_n (D - d + 1) \cdot \rho, \quad (6)$$

и соответственно для локальной относительной плотности

$$\theta(x) = (D - d) \cdot \rho. \quad (7)$$

Осуществляя соответствующую подстановку находим:

$$S(x) = 2Z_{\Sigma} \cdot F(x, D) / \pi, \quad (8)$$

где $F(x, D) = S \cdot [(D - d + 1) \cdot \rho]$, что и определяет расчетную среднюю величину площадки контакта

$$S = \pi \cdot \alpha(x) / 2Z_{\Sigma} \cdot F(x, D); \quad (9)$$

$\alpha(x) = S(x) / S_n$ – критическое контактное сечение зоны уплотнения.

Элементарное приращение среднего размера площадки контакта dS при изменении давления на dp равно

$$dS = (\pi / 2Z_{\Sigma}) d[\alpha(x) / F(x, D)]. \quad (10)$$

При этом величина деформаций грунта, обусловленная относительным сдвигом контактов и их деформацией, определится зависимостью:

$$dx = - \sum_{k=1}^{n_{\Sigma}} \left\{ \sum_{i=1}^n \left[\sum_{j=1}^{Z_i} (dw_i + dw_{i+1}) \cdot \cos \varphi_i + (du_i + du_{i-1}) \cdot \cos \tau_i / Z_i \right] / n \right\}, \quad (11)$$

где n_{Σ} – число слоёв частиц при радиусе зоны уплотнения x ; dw – величина элементарных нормальных деформаций контактов частиц; du – величина элементарных относительных сдвигов контактов; τ – угол между направлением сдвига и направлением радиальных усилий.

С учетом осреднения по углам и другим параметрам суммирования имеем:

$$dx = -2n_{\Sigma}(2\delta + 2du) / \pi. \quad (12)$$

Обозначив $\lambda = 2du / d\delta$ с учётом, что $n_{\Sigma} = x / a$, где a – размер частиц, зависимость может быть представлена в виде

$$dx = -2(1 + \lambda) \cdot x \cdot 2\delta / a\pi. \quad (13)$$

Так как $d\delta = \beta \cdot dS$, т.е. приращение площадки контакта пропорционально величине сближения частиц, при этом коэффициент пропорциональности β равен сумме радиусов кривизны поверхностей частиц в начальной точке контакта, можем записать:

$$dS = -a\pi \cdot dx / 2\beta(1 + \lambda) \cdot x. \quad (14)$$

Решая совместно эти уравнения (13) и (14), с использованием замены переменных, получаем следующее дифференциальное уравнение

$$d[\alpha(x) / F(x, D)] = W(d - D) \cdot d\theta / \theta, \quad (15)$$

описывающее локальный деформационный механизм уплотнение грунта в зоне действия усилий, где $W = aZ_{\Sigma} / \beta(1 + \lambda)$.

Интегрируя уравнение (15) имеем:

$$\alpha / F = W(d - D) \cdot \ln \theta + C \quad (16)$$

и с учетом граничных и начальных условий – $\theta = \theta_0$, $D = D_0$, $\alpha = \alpha_0 > 0$ уравнение для постоянной интегрирования C будет иметь вид –

$$C = \alpha_0 / F_0 - W(d - D) \cdot \ln \theta_0. \quad (17)$$

Из предельного состояния уплотняемого грунта следует, что при $\theta = \alpha = 1$, $D = d$ и $F = 1$ $C=1$. Тогда соответственно при $\alpha_0 = 0$

$$\alpha(x) = \theta^2(x) [1 - (d - \theta) \ln \theta(x) / (d - D_0) \cdot \ln \theta_0(x)] \quad (18)$$

и среднее значение критического контактного сечения

$$\alpha = \theta^2 [1 - \ln \theta / \ln \theta_0]. \quad (19)$$

Используя закон сохранения массы грунта имеем:

$$\theta \cdot h = \theta_0 \cdot h_0, \quad (20)$$

откуда $h = h_0 \cdot \theta_0 / \theta$, а с учётом соотношения $h_0 = \theta_0^{1/(D_0 - d)}$, для любого момента уплотнения фрактальная размерность может быть определена по зависимости:

$$D = d + 1 / [1 + \ln(\theta_0 / h_0) / \ln \theta]. \quad (21)$$

Учет флуктуаций плотности, обуславливающих неравномерность в распределении упругих свойств при неоднородности структуры, можно осуществить используя закон Гука, в виде $d\sigma = F(x)dx / x_0$, являющийся по структуре также фракталом.

Так как критическое контактное давление уплотнения в дифференциальной форме может быть записано в виде

$$dp_c = (1 - \mu)d\sigma, \quad (22)$$

где μ – коэффициент межчастичного трения, то проведя соответствующие подстановки и преобразования получаем –

$$dp_c / p_c = \beta(1 - \mu) \cdot \alpha(x) \cdot E(x) \cdot dx / E_m \cdot x_0, \quad (23)$$

где β – коэффициент пропорциональности; E_m – модуль упругости минеральных частиц.

Интегрируя уравнение с учётом условия $p_c = p / \alpha$ получим:

$$p(x) = C \alpha(x) \exp \left[\beta(1 - \mu) \int \alpha(x) \cdot E(x) \cdot dx / E_m \cdot x_0 \right]. \quad (24)$$

Соответственно для критических краевых условий при $p = p_k$, $\theta = \alpha_k = 1$, $E = E_m$ имеем:

$$p(x) = p_k \alpha(x) \exp \left\{ \beta(1 - \mu) / p_k \cdot h_k \left[\int \alpha(x) \cdot E(x) \cdot dx - E_m \cdot x \right] \right\}. \quad (25)$$

Однако так как интеграл под экспонентой аналитически не вычислим, то распределение модулей упругости может быть определено по уравнению:

$$E_x = E_m \cdot \alpha(x), \quad (26)$$

где $\alpha(x)$ – контактное сечение и

$$\alpha(x) = \theta^2(x) \cdot [1 - (d - D) \ln \theta(x) / (d - D_0) \ln \theta_0(x)]. \quad (27)$$

По полученному алгоритму можно рассчитать зависимость плотности грунта от величины давления $\theta = f(p / p_{kp})$ и модуля упругости от плотности $E / E_m = f(\theta)$.

Так как формирование прочности грунта, связано с перераспределением напряжений по скелету системы, то условие равновесного состояния слоя частиц с координатой x под действием предельной разрушающей силы можно записать в виде

$$P(x) = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^{Z_i} \sigma_{ij} \cdot S_{ij} (\cos \varphi_{ij} + \mu \cdot \cos \tau_{ij}), \quad (28)$$

где σ_{ij} – контактное давление; μ – коэффициент межчастичного трения.

Осредняя по ориентациям контактных площадок, числу контактов и частиц получим –

$$P_n(x) = [2(1 - \mu) \cdot S_n n_n(x) \cdot Z_n(x) / \pi] \cdot \sigma_n(x), \quad (29)$$

где S – площадь контакта, n – число частиц в расчётном слое, Z – число контактов, σ – контактное напряжение.

Учитывая соотношение площадей контактного сечения в предельном и исходном состоянии, т.е.

$$S_n(x) / S(x) = (1 - \varphi_c) \cdot \theta(x) \quad (30)$$

и введя предел прочности уплотнения, при соответствующем виде создания дополнительного давления, имеем:

$$\sigma(x) = \sigma_k \cdot \alpha(x) \cdot \theta(x), \quad (31)$$

где $\sigma_k = (1 - \mu) \cdot (1 - \varphi_c) \cdot \sigma_n(x)$.

Литература

1. *Сергеев Е.М.* Грунтоведение. – М.: МГУ, 1959.
2. *Сергеев Е.М.* Инженерная геология. – М.: МГУ, 1982.
3. *Вовк А.А.* Поведение грунтов под действием импульсных нагрузок. – К.: Наукова думка, 1984.
4. *Кулак М.И.* Фрактальная механика грунтов. – Мн.: Вышэйшая школа, 2002.

ПЕТРОГЕНЕТИЧЕСКИЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ И ИЗМЕНЕНИЯ СВОЙСТВ ЧЕТВЕРТИЧНЫХ ЭФФУЗИВОВ ОСНОВНОГО-СРЕДНЕГО СОСТАВА

В.М. Ладыгин

Геологический факультет Московского Государственного университета им. М.В.Ломоносова,
кафедра инженерной и экологической геологии. Ленинские горы, 1.
E-mail: skalka_1@geol.msu.ru

Среди многочисленных типов скальных грунтов особое место занимают эффузивные породы, которые покрывают на Земле огромные пространства: слагают все океаны, на суше образуют крупные вулканические области. В России это – Сибирская платформа, Чукотка, Камчатка, Кавказ, Карелия, где эти породы имеют доминирующее распространение. Они встречаются во всех тектонических структурах Земли и участвуют во всех возрастных отложениях, начиная от архея до настоящего времени. С ними связаны многочисленные месторождения полезных ископаемых, на них ведется интенсивное разнообразное строительство. И, в отличие от других пород, процесс формирования эффузивов доступен непосредственному наблюдению.

По изменению физико-механических свойств им нет равных среди других скальных грунтов: плотность (ρ) – 1,0-3,4 г/см³; плотность твердой фазы (ρ_s) – 2,75-3,5 г/см³; пористость (П) 1-70%; гигроскопическая влажность (W_g) 0-5%, скорость продольных волн (V_p) – 2-7 км/с; прочность на одноосное сжатие ($R_{сж}$) – 5-560 МПа; магнитная восприимчивость ($\hat{\alpha}$)-0-300 10⁻³ед. СИ.

Такая резкая разница в свойствах связана с условиями их образования и последующей жизни.

Эффузивы первоначально состоят всего из 4 основных минералов: оливина, пироксена, плагиоклазов, вулканического стекла и ряда второстепенных – роговой обманки, рудных минералов. Их соотношения в разных процентных количествах позволяет им создавать различные структуры. Условия застывания вызвали образование двух текстур: массивной и пористой. Последняя в метаморфизованных разностях переходит в миндалекаменную.

В инженерно-геологической классификации эффузивы попадают в группу магматических пород, в подгруппу эффузивные, и включают типы – базальты, андезиты, липариты, туфы. Как показали наши исследования, эффузивы образуют две группы пород: четвертичные (реже неогеновые) и все остальные, более древние (вплоть до архея). Необходимость выделения четвертичных эффузивов в отдельный инженерно-геологический комплекс диктуется генетическим, существенным отличием их свойств от свойств более древних эффузивов. Это обусловлено, в первую очередь, условиями образования различных текстур и вторичных изменений и, соответственно, разли-

нием их свойств и их зависимостями. Граница между этими группами зависит от тектонической обстановки региона.

С помощью друзей и коллег автором собрана представительная коллекция образцов эффузивов основного-среднего состава, отобранных из различных тектонических структур Земли (океанических, островодужных, орогенных и платформенных). Всего исследовано около 6 тысяч проб (10 тысяч образцов).

Были получены данные о плотности, плотности твердой фазы, пористости, открытой пористости, гигроскопической влажности, водопоглощении, скорости продольных и поперечных волн в сухом и водонасыщенном состоянии, прочности в сухом и водонасыщенном состоянии, магнитной восприимчивости.

Формирование эффузивов можно разбить на 4 этапа, каждый из которых привносит свой вклад в будущие свойства образовавшихся пород.

1. Место расположения очага и первоначальный состав расплава, откуда он будет транспортироваться на поверхность Земли. Известно три главных начальных расплава – толеитовый, щелочной, пикритовый. Каждый из этих расплавов большей частью приурочен к определенным тектоническим структурам Земли, хотя случаются и отклонения. Из каждого расплава образуются базальты, отличающиеся по химическому составу, набору минералов и, что самое важное, по разнице в количестве флюидов, которые в них растворены. Последнее – очень важная деталь в образовании эффузивов, т.к. с ними связано как раскристаллизация породы, так и его общая пористость.

2. Этап подъема расплава от очага к поверхности Земли. Он един для всех тектонических структур. В эти два периода формируются порфиновые или афировые структуры породы, что вызывает их неоднородность и приводит к изменению прочности.

3. Самый важнейший этап, т.к. именно здесь формируются потоки эффузивных пород, сами породы, которые и служат в дальнейшем объектами изучения геологов. Излияние расплава на поверхность Земли происходит в воздушную или водную среду. Здесь формируется минеральный состав, структура и текстура породы – т.е. именно те факторы, от которых зависят интересные нас физико-механические свойства.

4. И самый последний этап – это процесс метаморфизма, которому подвергаются эффузивы, имеющий возраст – от неогена и старше, где под влиянием температуры, давления и термальных растворов происходит их преобразование.

Рассмотрим четвертичные эффузивы – неизменные породы с разнообразными структурами и пористыми текстурами.

На территории Земли выделяется четыре крупные тектонические структуры, где в четвертичный период бурно развивалась вулканическая деятельность: **океаны и острова**: Атлантический океан – (районы о-ва Буве, Калифорнийский залив, Исландия, Канарские о-ва); Тихий океан – (Гавайи, впадина Хесса), Индийский океан (Красное море); **островные дуги** (активные

континентальные окраины) (Курило-Камчаткая, Соломонова, Мариинская, Средиземноморская); **орогенные** (складчатые) пояса (Кавказ, Бурятия, Чукотка,) и **платформы** (Шпицберген). В скобках указаны районы, откуда были исследованы образцы эффузивов.

Для анализа изменения свойств необходимо выделить группы пород с близкими геолого-минералогическими особенностями.

Первое разделение, классическое, проводится по содержанию SiO_2 : базальты более 53%, андезиты от 57-64%, андезитобазальты 53-57%. Известно, что между содержанием SiO_2 и плотностью твердой фазы должна существовать прямая зависимость [1]. Наши исследования показали, что эффузивы с плотностью более $2,86 \text{ г/см}^3$ относятся к базальтам, с плотностью менее $2,76\text{-}2,78 \text{ г/см}^3$ – к андезитам, промежуточные разности – к андезитобазальтам, что в дальнейшем мы и использовали при сравнении результатов свойств. Определения плотности твердой массы проводились на новом приборе ЭЛА-2, обеспечившем точные показания и быстроту определения.

Далее были выделены в отдельные группы породы с различными структурами – офитовые, пойкилоофитовые, интерсертальные, гиалопилитовые и метельчатые, причем четыре первые отличаются в основном присутствием вулканического стекла, главного компонента в изменении свойств. И, конечно, пористостью – количеством, размерами пор, и т.д.

Анализ свойств проводился как по отдельным группам, так и по крупным таксиметрическим единицам в целом.

Выделены основные факторы, влияющие на свойства пород.

Главным фактором, определяющим скорости упругих волн и прочностные свойства эффузивов, является пористость, увеличение которой должно уменьшать эти показатели. Но не все так однозначно. Так как между пористостью и плотностью существует прямая зависимость, а плотность твердой фазы определена не для всех образцов, то здесь мы будем рассматривать только плотность. Характерной особенностью четвертичных эффузивов является слабая зависимость величин упругих волн от пористости (плотности) (рис. 1).

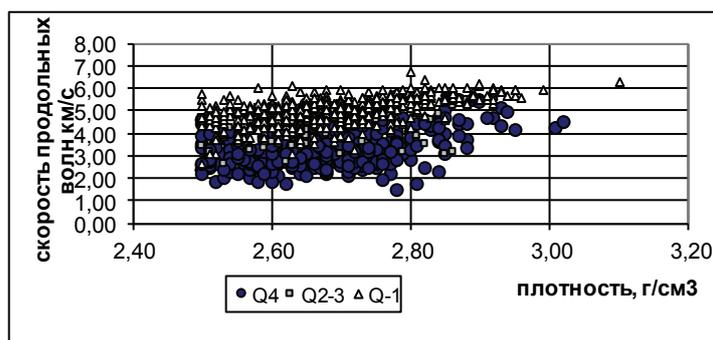


Рис. 1. Взаимосвязь между плотностью и скоростью продольных волн

На этом фоне, величины V_p голоценовых эффузивов характеризуются полной независимостью от величины пористости, а их значения не поднимаются выше 4,5 км/с даже у самых плотных ($>2,5 \text{ г/см}^3$) разностей. Исследования показали, что у этих эффузивов при кристаллизации (при переходе из жидкого состояния в твердое) в породе образуются тончайшие, (размером менее микрона) микротрещины, которые вызывают резкое снижение величины упругих волн, хотя доля микротрещиноватости в общей пористости невелика. Этот эффект с увеличением возраста эффузивов постепенно исчезает, и базальты возраста более 150 000-200 000 лет, обладают «нормальной» скоростью (табл. 1).

Таблица 1

Свойства четвертичных эффузивов

Возраст	$P > 2,5 \text{ г/см}^3$		
	$\rho, \text{ г/см}^3$	$V_p, \text{ км/с}$	R, МПа
Q ₄	2..67	3..4	161
Q ₂₋₃	2..66	4..5	127
Q ₁	2..69	5..0	164

Общая величина пористости постоянно растет от нижнечетвертичных к современным эффузивам, что может свидетельствовать об усилении газонасыщенности расплавов в голоцене, что, приводит, по-видимому, к повышенной активности самих вулканов и увеличении выбросов газов в атмосферу Земли в голоцене.

Естественно, что на прочностные показатели наибольшее влияние оказывает пористость эффузивов (рис. 2).

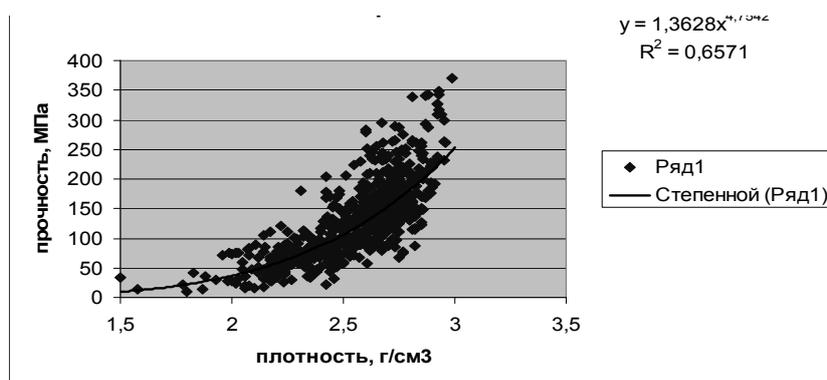


Рис. 2. Зависимость прочности нижнечетвертичных базальтов от плотности

На графике зависимости прочности от плотности выделяется три участка. В интервале плотности 1,5-2,0 г/см³ прочность меняется мало. С увеличением плотности на 0,1 г/см³ прочность увеличивается на 3 МПа. Второй

участок – плотности от 2 до 2,5 г/см³, при увеличении на 0,1 г/см³ приходится приращение 14 МПа; а на участке 2,5-3 г/см³, на 40 МПа.

Важнейшими факторами, определяющими прочность, являются структурно-минералогические особенности пород. Действительно (табл. 2), у эффузивов с различными структурами прочность заметно различается.

Таблица 2

Свойства эффузивов различных структур

Структура	ρ г\см ³	ρ_s г\см ³	П %	Рсж
Витрофировая	1,58		45	41
Гиалопилитовая	2,29	2,85	20,3	92
Интерсертальная	2,44	2,87	14,7	122
Офитовая	2,65	2,91	9,5	163

Помимо общей пористости большое влияние оказывает и характер пор – их размеры, распределение по объему, форма пор. Так, у базальтов Ключевского вулкана по мере увеличения размера пор от <1 мм до >5 мм происходит устойчивое снижение прочности (от 140 до 110 МПа). В целом, для четвертичных базальтов идет постепенное уменьшение прочности при переходе от мелкопористых – среднепористых к крупнопористым 106-83-65 МПа (при общей пористости пород от 10 до 20%).

Исследование влияния кристалличности основной массы эффузивов на прочность выявило закономерное снижение прочности от 140 до 80 МПа с увеличением размера микролитов от менее 0,25 мм до более 0,5 мм.

Для базальтов и андезито-базальтов наблюдается закономерное снижение прочности с увеличением содержания стекла (в ряду микролитовые-офитовые – интерсертальные – гиалопилитовые структуры), в то время как гиалопилитовые андезиты с высоким содержанием стекла являются наиболее прочными. Сказывается разница в прочности базальтовых и андезитовых стекол.

Сравнение величин пористости эффузивов различных тектонических структур показал, что наиболее пористыми (15.6 и 14.5%) являются породы платформ и океанов (при наибольших значениях плотности твердой фазы (3.02 и 2.99 г\см³), затем островных дуг (12.2% и 2.83 г.см³) и орогенные области (10.6% -2.85 г.см³).

Основные выводы

1. Формирование свойств эффузивов происходит в 4 этапа, причем самые главными являются 2 последних: кристаллизация на поверхности Земли и последующие метаморфические преобразования.

2. Все эффузивные породы Земли, четвертичного возраста, всегда имеют пористые текстуры. Исключение – отдельные небольшие области, где образуются современные гидротермальные системы.

3. В классификации скальных грунтов необходимо разделить подгруппу эффузивных пород на две подгруппы: неоген-четвертичные, неизмененные, с пористой текстурой и более древние, метаморфизованные, с миндалекаменной текстурой, т.к. их разделяют не только сами величины показателей свойств, но и генетические причины их вызывающие.

4. В пределах четвертичных эффузивов выделяются голоценовые и вехнетчетвертичные эффузивы обладающие микротрещиноватостью и, в связи с этим, низкими величинами скоростей упругих волн, до 4.5 км/с. В течении 100-200 000 лет, происходит смыкание трещин, в результате чего резко возрастают скорости упругих волн.

5. Увеличение пористости от нижнетчетвертичных к голоценовым (на примере Камчатки) может косвенно указывать на повышенные содержания газовой составляющей в поднимающихся расплавах и, в связи с этим усиление процессов вулканизма в этот период и увеличение выделения в атмосферу газовой составляющей.

6. Главным и определяющим фактором изменения свойств четвертичных эффузивов является пористость, количество пор, их размеры и распределение. Структура и размеры слагающих их минералов имеет починенное значение.

Литература

1. *Продайвода Г.Т.* Физические свойства вулканогенных пород и основные факторы их определяющие (на примере Армянского нагорья). Дисс. – Киев, 1971.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ФОСФОГИПСА В СТРОИТЕЛЬСТВЕ

Н.А. Ларионова

Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, 119991, г. Москва, Ленинские горы, 1. E-mail: nin.larionowa@yandex.ru

В Московском университете на протяжении многих лет проводятся исследования по изучению искусственных грунтов, в том числе улучшенных методами технической мелиорации и техногенных, образованных в результате хозяйственной деятельности человека. Изучение состава и свойств техногенных грунтов, процессов, протекающих в накопителях, их воздействие на компоненты окружающей среды проводятся также для решения проблем охраны геологической среды и рационального недропользования.

К категории антропогенно образованных, дисперсных насыпных грунтов относится фосфогипс. Он является отходом химической промышленности и образуется при производстве экстракционной фосфорной кислоты и сложных фосфорсодержащих удобрений из апатита и фосфорита.

В состав фосфогипса на основе Кольских апатитовых концентратов входят (в %): CaO – 30-42; SO₃ – 44-57; P₂O₅ (общ.) – 1,0-2,0; P₂O₅ (водораствор.) – 0,5-0,6; F – 0,1-1,0; Al₂O₃ – 0,3-5,0; Fe₂O₃ – 0,2-2,0; SiO₂ – 0,3-10; H₂O – 25-40. В зависимости от температуры и концентрации получаемой экстракционной кислоты сульфат кальция образуется в форме дигидрата CaSO₄·2H₂O (гипс), полугидрата CaSO₄·0,5H₂O или безводной соли CaSO₄ (ангидрит). Присутствие примесей затрудняет его использование, а в некоторых случаях, например, при высокой радиоактивности оно становится невозможным. Радиоактивность фосфогипса на основе широко применяемого в странах СНГ Кольского апатита сравнительно невысокая.

В производстве экстракционной фосфорной кислоты на 1 т продукции (в пересчете на P₂O₅) образуется 3,6-6,2 т фосфогипса. Ежегодные его накопления в мире составляют 120-150 млн. т., а в России – 14,0 млн. т. На отдельных предприятиях выход фосфогипса достигает 4,0 млн. т. В отвалах России складировано до 300 млн. т шлама. Так, в отвалах наиболее крупных химических заводов накоплено до 9400-16300 тыс. т фосфогипса. Накопители шлама занимают достаточно большие площади. В настоящее время занимаемая ими площадь достигает 1000 га. Только один отвал фосфогипса ОАО “Воскресенские минеральные удобрения” занимает 4,3 км². Отвалы являются техногенными источниками загрязнения окружающей среды. Они пылят на ветру. В почву и водоносные горизонты поступают загрязняющие растворимые соединения фтора, фосфора и других примесей.

Проблема утилизации данного отхода остается достаточно острой, и ее решению уделяется большое внимание специалистами у нас в стране и за рубежом. Важной задачей является также обеспечение устойчивости отвальных сооружений и обоснование их оптимальных параметров. Поэтому проводились исследования по определению состава и физико-механических свойств фосфогипса с целью оценки устойчивости таких сооружений и возможности его использования в области дорожного строительства.

Шлам сухого складирования имеет влажность от 40 до 50%, при которой при перемешивании, встряхивании и вибрации может разжижаться с выделением свободной воды и уменьшением объема. Его полная влагоемкость составляет 65-70%. Фосфогипс – полидисперсный материал серо-белого цвета, представленный агрегатами частиц, комками с межагрегатными пустотами. Он содержит примеси неорганических и органических соединений, воднорастворимых и водонерастворимых, адсорбированных на поверхности кристаллов. По гранулометрическому составу шлам может быть отнесен к пылеватому песку, содержание частиц крупнее 0,1 мм составляет менее 75%, а частиц < 10 мкм около 40-55%, имеет удельную поверхность 3400-4300 см²/г. Пластическими свойствами он не обладает, в жгут не раскатывается [2]. Значения плотности для свободно насыпанного шлама $\rho_{св}$ и уплотненного встряхиванием $\rho_{уп}$, а также значения плотности скелета и пористости изменяются в зависимости от влажности (табл. 1).

Таблица 1

Изменение показателей физических свойств фосфогипса от влажности [2]

Влажность, %		Насыпная плотность, г/см ³		Пористость, %		Насыпная плотность скелета, г/см ³	
W _{общ}	W _{св}	ρ _{св}	ρ _{уп}	п _{св}	п _{уп}	ρ _{дсвв}	ρ _{дуп}
43,5	29,2	0,72	0,93	78,5	76,3	0,50	0,56
32,1	14,9	0,66	0,84	76,1	69,6	0,56	0,71
22,8	3,0	0,55	0,70	77,5	71,1	0,50	0,68
20,3	0,3	0,50	0,68	78,8	71,6	0,50	0,67
20,1	0	0,49	0,67	79,9	71,5	0,49	0,67

Примечание: W_{общ} – влажность общая; W_{св} – свободная вода.

Насыпная плотность шлама в свободно насыпанном слое в зависимости от влажности изменяется в пределах 0,48-0,66 г/см³, а плотность уплотненного слоя фосфогипса может составлять 1,0-1,63 г/см³. Его угол естественного откоса при влажности, равной 40% и 44% составляет 50° и 55° соответственно [2]. При статическом уплотнении величина плотности фосфогипса возрастает с увеличением нагрузки уплотнения (табл. 2).

Таблица 2

Изменение плотности фосфогипса (г/см³) от влажности и нагрузки уплотнения [2]

Влажность фосфогипса W _{общ} , %	Нагрузка при уплотнении, МПа				
	0,05	0,1	0,2	0,3	0,4
20	0,73	0,75	0,79	0,82	0,82
41	1,06	1,14	1,27	1,33	1,40

Примечание: время выдержки под нагрузкой 30 мин.

Разрушающее напряжение при растяжении – разрывная прочность образцов этого шлама, уплотненных при статической нагрузке, составляет 0,0019 МПа. Он отличается достаточно высокими прочностными показателями: угол внутреннего трения равен 31-36°, а сцепление – 0,05 МПа. Внутреннее трение проявляется при деформациях сдвига вследствие заклинивания и сцепления отдельных частиц.

Фосфогипс проявляет тиксотропные свойства, он способен разжижаться при механических воздействиях – вибрации, встряхивании, перемешивании. Шлам относится к сильно сжимаемым материалам. При уплотнении происходит уменьшение пористости, отжатие или перемещение воды по массе. Значения коэффициента сжимаемости (K_{сж}), модуля общей деформации (E₀) и коэффициента пористости зависят от величины нагрузки уплотнения (табл. 3).

Таблица 3

Изменение физико-механических свойств фосфогипса от нагрузки уплотнения [2]

Показатели физико-механических свойств	Нагрузка уплотнения, МПа			
	0,025	0,05	0,10	0,20
Коэффициент пористости	1,69	1,63	1,54	0,20
Коэффициент сжимаемости	0,024	0,018	0,015	0,011
Модуль деформации	0,80	0,11	0,13	0,18

По фильтрационной способности фосфогипс близок к супесчаным грунтам. Его коэффициент фильтрации (K_f) зависит от плотности шлама [2]: с увеличением плотности от $1,25 \text{ г/см}^3$ до $1,40 \text{ г/см}^3$ K_f уменьшается от 1,04 до 0,8 м/сут, а при плотности $1,50 \text{ г/см}^3$ его значение достигает 0,47 м/сут. Физико-механические свойства фосфогипса зависят от влажности и плотности сложения (табл. 4).

Таблица 4

Физико-механические свойства фосфогипса [2]

Характеристика плотности сложения фосфогипса	Показатели свойств	Фосфогипс (Воскресенск)
Рыхлое сложение	ρ_d , г/см^3	0,80 – 0,90
	φ , град.	17,0 – 26,0
	C , МПа	0,008
Плотное сложение, укладка с просушкой на воздухе	ρ_d , г/см^3	1,00 – 1,10
	φ , град.	26,0 – 28,0
	C , МПа	0,010 – 0,025

Примечание: ρ_d – плотность скелета, г/см^3 ; φ – угол внутреннего трения, град; C – сцепление, Мпа.

С увеличением плотности шлама существенно повышаются его прочностные показатели. В рыхлом состоянии, при $\rho_d=0,8-0,9 \text{ г/см}^3$, он характеризуется наименьшими показателями сцепления.

На основе многочисленных исследований, проведенных по оценке возможности утилизации фосфогипсовых отходов, можно выделить четыре направления его применения: 1) Использование фосфогипса в качестве сырья для производства гипсовых вяжущих различных модификаций; 2) Производство строительных изделий из фосфогипса, минуя стадию переработки его в гипсовые вяжущие – декоративные и облицовочные плитки, стеновые блоки с использованием, как различных приемов прессования, так и различных способов физико-химической активации; 3) Применение в качестве добавки или наполнителя в составе комплексных вяжущих веществ; 4) Использование в дорожном строительстве.

Потребности промышленности строительных материалов в гипсовом сырье практически в полной мере можно обеспечить за счет фосфогипса. Так, в некоторых странах фосфогипс используется на 70-90%. К настоящему вре-

мени разработаны технологии получения строительного и высокопрочного гипса из отхода.

Ранее проведенными исследованиями доказана возможность и экономическая целесообразность использования фосфогипса для изготовления гипсовых вяжущих и изделий на их основе. Для получения вяжущих материалов на основе фосфогипса необходима его дегидратация до полугидрата сульфата кальция или ангидрита, протекающая преимущественно при 110-200°C.

В зависимости от условий получения и свойств гипсовые вяжущие подразделяются на обжиговые и автоклавные. Обжиговые (низкотемпературные) гипсовые вяжущие получают тепловой обработкой сырья преимущественно при 110-170°C и атмосферном давлении с отщеплением кристаллизационной воды в парообразном состоянии. Автоклавные гипсовые вяжущие изготавливают тепловой обработкой сырья при 120-150°C под избыточным давлением 0,13-0,4 МПа. Одним из путей расширения объемов применения гипсовых вяжущих и, соответственно объемов утилизации фосфогипса, является получение вяжущих, пригодных для изготовления материалов и изделий, продолжительное время устойчивых во влажных условиях эксплуатации, в т. ч. и при переменном замораживании и оттаивании. К таким изделиям относятся стеновые изделия, смеси для устройства монолитных оснований полов, материалы для тампонирования нефтяных и газовых скважин и др.

Применение фосфогипса эффективно в производстве портландцемента, где он позволяет регулировать сроки схватывания цемента и способствует снижению температуры обжига клинкера. На основе фосфогипса созданы новые гипсокерамические материалы, получаемые при высоких температурах. Предложен новый стеновой материал – фогизол, состоящий из 65% фосфогипса, 30% золы и извести. Его прочность изменяется в широких пределах от 5,0 до 2,5 МПа при средней плотности от 0,8 до 1,6 г/см³.

Наряду с этим фосфогипс (дигидрат и полугидрат) может использоваться в дорожном строительстве при устройстве оснований дорожных одежд. Применение фосфогипса дигидрата возможно в качестве гранулометрической добавки к щебеночным и гравийным материалам в целях повышения их плотности. Добавка шлама к щебеночным и гравийным материалам составляет 20-30% массы сухой смеси, а к пескам – не менее 15%.

Для устройства оснований дорожных одежд в IV-V дорожно-климатических зонах фосфогипс дигидрат может применяться в сочетании с традиционными вяжущими веществами: цементом, известью, карбамидными смолами, битумом. При этом полученный материал характеризуется высокими прочностными показателями. При строительстве оснований дорожных одежд свежий фосфогипс полугидрат может быть использован в качестве минерального материала, обладающего способностью цементироваться, самостоятельного или композиционного вяжущего для обработки песка, гравия, щебня и золошлаковых смесей [1].

Известны примеры использования фосфогипса для устройства оснований дорожного полотна в производственных условиях. Построены две авто-

дороги в Балаковском районе Саратовской области (пос. Быков Отрог). Обследования состояния участков автодорог, проведенные через год после строительства и через 5 лет после эксплуатации, показали, что они находятся в удовлетворительном состоянии, осадок, выбоин и трещин не наблюдалось.

В последнее время на ряде предприятий Московской и Саратовской областей имеются разработки по применению фосфогипса, как компонента комплексного вяжущего для стабилизации грунтов и устройства оснований дорожных одежд методом холодной регенерации [3]. Намечается его использование для устройства основания дорожной одежды при капитальном ремонте автоподъезда к селу Большой Кушум и к селам Новая Елюзань-Комсомольское [3].

Предлагается инновационный метод строительства внутренних дорог в коттежных поселках и садовых товариществах с применением фосфогипса полугидрата. С использованием новой технологии построено более 80 км поселковых дорог. За годы эксплуатации и испытаний тяжелой техникой дороги не потеряли своих потребительских качеств. Полученные конструкции дорожных оснований из фосфогипса превосходят по всем параметрам щебеночные и цементогрунтовые основания дорог. Покрытие увеличивает прочность во времени [4].

Таким образом, проблема накопления фосфогипса в больших объемах, отчуждение значительных площадей для накопителей шлама, негативное воздействие на окружающую среду вызывает необходимость поиска путей его утилизации. Разработаны и разрабатываются технологии использования фосфогипса в различных отраслях промышленности. Однако доля его использования у нас в стране в настоящее время не превышает 10-15%.

Литература

1. Методические рекомендации по устройству оснований дорожных одежд с использованием свежего фосфополугидрата сульфата кальция. – М.: Союздорнии, 1987. – 20 с.
2. Фосфогипс и его использование. – М.: Химия, 1990. – 222 с.
3. <http://balakovomedia.ru> (дата обращения сентябрь 2013 г.)
4. <http://oblzemcom.ru> (дата обращения сентябрь 2013 г.)

УСИЛЕНИЕ БАРЬЕРНОЙ РОЛИ ЗОНЫ АЭРАЦИИ ЛЕССОВЫХ ПОРОД НА ОРОШАЕМЫХ ТЕРРИТОРИЯХ НА ПРИМЕРЕ ТАШКЕНТСКОЙ ОБЛАСТИ УЗБЕКИСТАНА

Г.Н. Мавлянов

Национальный университет Узбекистана имени Мирзо Улугбека,
Геологический факультет, кафедра «Гидрогеологии и ГИС технологии»,
1000174, Узбекистан, Ташкент, Вузгородок. E-mail: mavlyanov_g@mail.ru

Процессы загрязнения подземных вод интенсивно проявляются в зонах влияния сельскохозяйственных угодий орошаемых территорий. [1] Единственным барьером на пути проникновения загрязнителей в подземные воды являются почвы и грунты зоны аэрации. Особое место занимают специфические для почв гуминовые вещества. От содержания гумуса в почвах зависит их способность сорбировать загрязнители. Увеличение содержания гумуса приводит к росту барьерной роли почвы и зоны аэрации.

Целью исследований явилось повышение сорбционных свойств почв и лессовых пород внесением органо-минеральных добавок.

Материал и методики исследования. В качестве компонента было использовано органо-минеральное удобрение «Супергумус», которое содержит угольные отходы, глинистые минералы (бентонит) и микроорганизмы – интродуценты [2]. Компоненты препарата содержатся в определенных пропорциях и могут стимулировать метаболическую и физиологическую активность полезной микрофлоры почв и грунтов, разлагать галогенорганические пестициды и поглощать токсичные продукты их распада. Также предотвращают образование канцерогенных количеств нитратов и нитритов в почвах и грунтах, что в конечном итоге ведет к равновесному состоянию агробиогенеза, его оздоровлению и защите подземных вод от загрязнения.

Рабочей гипотезой служило то, что внесенный в почву «Супергумус» будет способствовать повышению в них органического вещества – гумуса. Это повысит сорбционную способность и биологическую активность почв, активизирует биохимические процессы, что способствует деструкцию стойких остатков галогенорганических пестицидов и их метаболитов [3]. Кроме того, бентонит, так же как уголь, имеет очень высокую способность адсорбировать загрязняющие вещества из почвы. В натуральном виде Супергумус состоит из 42% органических веществ (угольной пыли), 33% глины (из них 10% бентонита) и 25% мелкого песка. При исследовании в НИИ Почвоведения и агрохимии установлено, что «Супергумус» содержит 21% органических веществ (по Тюрину), 0,2% общего азота, 0,1% фосфора, 0,3% калия и подвижных P_2O_5 — 16 мг/кг, K_2O —100 мг/кг, рН —5,5. Состав гумусовых веществ представлен в следующем порядке: всего гумусовых кислот – 5,7%, из них 3,4% гуминовых кислот, 2,3% фульвокислот.

Схема полевого опыта включала следующие варианты: контрольный – лизиметр с нормой внесения $N_{200}P_{140}K_{100}$ – фон, лизиметр с нормой внесения 5 т/га «Супергумуса» по фону, лизиметр с нормой внесения 10 т/га «Супергумуса» по фону, лизиметр с нормой внесения 15 т/га «Супергумуса» по фону. Лизиметрический опыт проводился в четырех повторностях.

Результаты исследования. Результаты исследования показали, что внесение «Супергумуса» по фону $N_{200}P_{140}K_{100}$ оказывает значительное влияние на превращения соединений азота в сероземно-оазисной почве. При внесении «Супергумуса» в нормах 10 и 15 т/га содержание аммиачного азота в почве существенно повышается по сравнению с контролем во всех сроках определения. Так, в пахотном слое вариантов с внесением «Супергумуса» в нормах 10 и 15 т/га содержание аммиачного азота в 3 квартале 2008 г. составляло, соответственно, 15,7 и 20,0 мг\кг, в 4 квартале 11,7 и 13,2 мг\кг, в 1 квартале 2009 г. 10,2 и 12,0 мг\кг против 6,3-7,1 мг\кг на контроле. Это положение, по-видимому, объясняется усилением процессов биологического закрепления азота в почве микроорганизмами и последующей аммонификацией его, а также и с фиксацией аммония почвенными минералами при внесении «Супергумуса», что в конечном итоге привел к снижению уровня нитрификации из-за сохранения азота в почве в закрепленной форме.

При внесении «Супергумуса» в нормах 10 и 15 т/га содержание нитратов в пахотном слое почвы в 3 квартале 2008 г. составляло, соответственно, 25,7 и 24,3 мг\кг против 28,9 мг\кг на контроле. Такая же закономерность наблюдалась и в остальных сроках определения содержания нитратов в почве. При этом прослеживается тенденция снижения содержания нитратов в почве в 4 квартале 2008 г., 1 квартале 2009 г., что очевидно является результатом усвоения их растениями в период вегетации, вымывания нитратов и процессов денитрификации.

Содержание нитратов в почве с глубиной плавно снижается и они обнаружены во всех слоях изученной толщи почво-грунтов по всем вариантам. Содержание нитратов на глубине 280-300 см в начале опыта колебалось в пределах 4,7-9,0 мг\кг. После внесения минеральных удобрений и «Супергумуса» в 3 квартале 2008 г. на глубине 280-300 см в вариантах с нормой 10 и 15 т/га содержание нитратов составляло, соответственно, 7,9 и 5,5 мг\кг против 14,0 мг\кг на контроле, что свидетельствует о снижении вымывания нитратов при внесении «Супергумуса». При этом самые низкие показатели содержания нитратов (2,4-3,7 мг\кг) наблюдались в 1 квартале 2009 г. в вариантах, где был внесен «Супергумус». В эти же периоды определения содержание нитратов на контроле, на этой же глубине было, соответственно, 13,6 и 14,0 мг\кг, что значительно больше по сравнению с вариантами с внесением «Супергумуса».

Как видно из таблицы, динамика гумуса в почвах значительно повысилась в относительно короткие сроки. При внесении «Супергумуса» в норме 10 т/га в верхнем 0-25 см слое почвы содержание гумуса составляло соответственно 1,30% против 1,08% на контроле, что на 0,22% выше чем в варианте без внесения «Супергумуса». При этом наибольшее повышение содержания

общего азота в 0-25 см слое почвы наблюдается при внесении «Супергумуса» в норме 15 т/га. В вариантах где «Супергумус» внесен в нормах 5 и 10 т/га также наблюдается повышение содержания общего азота в почве. Повышение содержания общего азота в почве наблюдается во всех сроках определения. При этом, как и в содержании гумуса, наблюдается снижение содержания общего азота в 1 квартале 2008 года во всех вариантах с внесением «Супергумуса» по сравнению с 2 и 3 кварталами 2007 года. Но, при этом содержание общего азота в 1 квартале 2008 года при внесении «Супергумуса» остается высоким по сравнению с исходным (2 квартал 2007 г.) состоянием. Можно констатировать, что внесение «Супергумуса» в нормах 5, 10 и 15 т/га привело к увеличению содержания общего азота в почве.

Таблица

Изменение содержания гумуса в почве под влиянием «Супергумуса»

Варианты	Глубина, см	Гумус, %
1.N ₂₀₀ P ₁₄₀ K ₁₀₀ -фон	0-25	1,08
	25-50	0,63
	50-75	0,61
	75-100	0,52
2.Фон+10т/га «Супергумуса»	0-25	1,30
	25-50	0,76
	50-75	0,66
	75-100	0,59

Таким образом, «Супергумус» оказывает как прямое (адсорбция загрязняющих веществ отходами угольной промышленности и бентонитом) так и косвенное (адсорбция остатков минеральных удобрений и деструкция остаточных количеств пестицидов и их метаболитов через повышение содержания в почве гумусовых веществ) влияние на состояние почв. Внесение «Супергумуса» повышает сорбционные свойства почвы и верхней части зоны аэрации, снижает опасность загрязнения подземных вод остаточными количествами минеральных удобрений, о чем свидетельствует содержания подвижных форм азота, фосфора и калия в нижеследующих слоях почвы и способствует повышению содержания гумуса, азота, фосфора, калия в почве.

Литература

1. Акбаров Х.А., Ибадуллаев С.И., Кучкаров Ж.К. Вода, горы, окружающая среда и устойчивое развитие общества // Материалы респ. науч.-технич. конф. «Современные методы и технологии в решении гидрогеологических, инженерно-геологических и геоэкологических задач». – Ташкент, 8 октября, 2013. – С. 185-187.
2. Мавлянов Н.Г., Мавлянов Э.Н., Мавлянов П.Н. и др. «Способ получения удобрения». Патент на изобретение РУз № IAP 03807 от 22.10.2008.
3. Ким В.В. Природные сорбенты месторождений Казахстана для очистки подземных вод // Горный журнал Казахстана. – 2012. – № 11. – С. 42-44.

ПРОЧНОСТНЫЕ СВОЙСТВА ЦЕМЕНТНЫХ КОМПОЗИТОВ НА ОСНОВЕ ГРУНТОВ РАЗНОГО ГЕНЕЗИСА

Т.Г. Макеева, Ю.М. Егоров

Московский государственный университет им. М.В.Ломоносова,
119998, Москва, Воробьевы горы, МГУ, Геологический факультет.
E-mail: makeeva13@yandex.ru

При устройстве слоев дорожных одежд в качестве грунтового основания используются местные строительные материалы. Направленное регулирование их свойств связано с использованием композитов, получаемых на основе грунтов с помощью физико-химической модификации поверхности и химической активизации процессов структурообразования с учетом особенностей геологической среды и самих вяжущих, является актуальной задачей [4].

В настоящее время создание композитов на основе цемента и грунта развивается в двух направлениях. Одно из направлений связано с направленным регулированием физико-химических гетерогенных процессов, второе – с совершенствованием технологии получения и свойств цемента.

Композиты на основе высокотемпературного цемента высокой долговечности производятся с использованием современных принципов модифицирования структуры и свойств [2]. Такие способы модифицирования, как снижение водоцементного отношения при введении супер- и гиперпластификаторов, использование ультрадисперсных высокоактивных минеральных добавок, применение полифункциональных добавок наиболее широко известны, высокоэффективны и позволяют в первую очередь изменить молекулярно-структурное состояние связанной воды композита, и, как следствие, структуру композита в целом.

Низкотемпературные цементы, полученные за счет совершенствования их технологии и свойств, могут позволить производить на его основе высокоэффективные и энергосберегающие композиты без дополнительного модифицирования свойств цемента.

Цементы, как и дисперсные грунты, являются энергетически неоднородными системами и обладают высокой концентрацией электронов и спин-поляризованных электронов (связанная вода), и это позволяет регулировать их как зарядовые, так и спиновые электронные состояния, что является основой для разработки материалов с заданными свойствами. Возрастающая нагрузка на дорожное полотно при эксплуатации дорог выдвигает на первый план задачу повышения прочности, магнитной восприимчивости и долговечности, используемых композитов при строительстве дорог. Разработка теории прочности и деформируемости цементных композитных материалов на основе грунтов базируется на современной структурно-энергетической кон-

цепции. Диэлектрические свойства дисперсных систем позволяют контролировать изменение структуры и энергию связи в композитных материалах [5].

При физическом моделировании слоев дорожных одежд с использованием местных строительных материалов – песка разного генезиса были получены композиты на основе цемента разного состава и свойств.

Методика исследований включала экспериментальные и расчетные работы. Эксперименты состояли из серии опытов: 1) изучение состава и свойств песков разного состава и свойств и цементов разного генезиса; 2) создание композитных материалов на основе песка разного состава и свойств с цементами разного генезиса; 3) изучение прочностных показателей и диэлектрических свойств композитных материалов; установлении корреляционных зависимостей между диэлектрическими и прочностными свойствами композитов расчетным путем.

Для исследования были выбраны пески различного состава и свойств, представленные песком пылеватым (п. Янтарное, Калининградской обл), песком средней крупности (п. Прислово, Калининградской обл.) и песком средней крупности (г. Люберцы Московской обл.). При этом были использованы добавки цемента в количестве от 2,5 до 10% от массы сухого скелета грунта разного состава и свойств:

– портландцемент (ОАО «Верхнеабаканский»), бездобавочный, класс прочности 42,5 нормальноотвердевающий. Минералогический состав высокотемпературного клинкера представлен: алитом (C_3S) – 63,9%, белитом (C_2S) – 13,1%, трехкальциевым алюминатом (C_3A) – 7,9%, четырехкальциевым алюмоферритом (C_4AF) – 11,7%, количество гипса – 2,5-3,0 %.

– наноцемент (ОАО «Московский ИМЭТ») – «Сухая механоактивированная смесь» (смесь СМС-90 – со сниженным содержанием клинкерной части до 90 % масс). Низкотемпературный клинкер представлен новыми хлорсодержащими минералами – алинитом и хлоралюминатом, а также известными кислородными соединениями – белитом и двухкальциевым ферритом, при вариации состава, % масс.: алинит – $(Ca_{21}Mg[Si_{0,75-0,80}Al_{0,20-0,25}]O_4)_4O_4Cl_2$ – 55-65%; белит – $(\beta-Ca_2SiO_4)$ – 35-25%; хлоралюминат кальция – $(Ca_6Al_7O_{16}Cl)$ – 7-3; двухкальциевый феррит – $(Ca_2Fe_2O_5)$ до 5 [1].

Цементные композиты были изготовлены при водоцементном соотношении В/Ц = 0,3. Композитные материалы на основе дисперсных грунтов и цемента были изготовлены по стандартной методике в специальных формах диаметром 1,65 см² при уплотнении 3 МПа при водоцементном соотношении В/Ц = 0,9, плотностью 1,6 г/см³. Сформированные композиты хранились в воздушной, воздушно-влажной, влажной (при P/P_s=0,8) и водных средах. Испытания на одноосное сжатие образцов были проведены с помощью прибора П-12 М по стандартной методике в разном возрасте после хранения в различных средах. Данные по диэлектрическим свойствам композитов получены экспериментальным путем на приборах – диэлькометрах на частотах 2450 МГц с применением техники измерения методом стоячих волн. Методика, приборы и программное обеспечение разработаны Ю.М.Егоровым [3].

Изучены диэлектрические свойства цементов разного генезиса в зависимости от влажности. Изменение фазового состояния воды цементов контролируется взаимным расположением кривых изменения диэлектрической проницаемости и потерь, определяется составом, структурными превращениями в зависимости от направленности процесса синтеза новых соединений и т.д.

С увеличением содержания влажности цемента значения диэлектрической проницаемости и потерь возрастают и выделяются две области изменения диэлектрических свойств цементов разного генезиса. Причем показатели гидратируемости и поглощения электромагнитной энергии низкотемпературного цемента (СМС -90 СБ) превышают таковые высокотемпературного цемента (ЦЕМ I 42, 5 Н), что обусловлено разным составом минералов цементного клинкера и их гидратационной активностью. Более высокая гидратационная активность алинита по сравнению с алитом, обусловлена ключевыми позициями атомов Сl, каждый из которых связан с восемью атомами кальция (из 11 атомов) элементарной ячейки и определяет способность минералов к взаимодействию с водой в зависимости от ковалентности Сl–Са связей [1].

Между диэлектрической проницаемостью гетерогенной поверхности и плотностью связанной воды дисперсных систем установлена зависимость: $\epsilon_0' = a \cdot \rho_{св.в}$ или $\epsilon' = a \cdot W_{mq} / (S \cdot h_w)$, где W_{mq} – влажность максимально-гигроскопическая (влажность одного слоя связанной воды, точка Кюри); S – удельная поверхность; h_w – толщина водной пленки. Таким образом, диэлектрическая проницаемость (потери) грунтов находятся в пропорциональной зависимости от энергии гидратации гетерогенной поверхности и в обратном пропорциональной – от дисперсности, т.е. от механизма фазового перехода связанной воды размерного эффекта и места локализации заряда, что обусловлено энергетической неоднородностью гетерогенной поверхности, молекулярно-структурным состоянием воды, структурно-текстурными особенностями грунтов [3,5].

Установленная взаимосвязь структуры и свойств цементных силикатов кальция и цементных силикатов кальция со смешанными анионами является основой для направленного синтеза материалов на основе цемента с заданными диэлектрическими свойствами.

Изучены корреляционные закономерности между диэлектрическими свойствами и показателями состава, структуры и свойств композитных материалов на основе цемента, цемента и грунта

Исследование цементных композитов разного генезиса показало, что наибольшей достоверностью и детерминированностью обладает уравнение, выражающее взаимосвязь прочности и фазового состояния связанной воды систем. При равном водоцементном соотношении В/Ц = 0,3 с увеличением марочной прочности цемента диэлектрические потери и проницаемость возрастают. В интервале от марочной прочности цементного композита в 40 МПа до прочности 90 МПа эти показатели с достаточной степенью точно-

стью могут быть аппроксимированы линейным уравнением вида:
 $\sigma = 172,41 \cdot (\varepsilon') - 961,372$; $\sigma = 263,16 \cdot (\varepsilon'') - 36,316$.

Изучены корреляционные закономерности между диэлектрическими свойствами и показателями состава, структуры и свойств композитных материалов на основе цемента и грунта

Полученные данные по диэлектрическим потерям и проницаемости композитов в зависимости от содержания цемента разного генезиса с высокой степенью приближения аппроксимируются логарифмическими зависимостями: для композита на основе песка (Калининградская обл., п. Янтарное) и цемента (СМС -90 СБ): $\varepsilon' = 0,94 \ln(X) + 1,70$, $\varepsilon'' = 0,11 \ln(X) - 0,015$; для композита на основе песка (Калининградская обл., п. Янтарное) и цемента (ЦЕМ I 42, 5 Н): $\varepsilon' = 0,87 \cdot \ln(X) + 1,70$, $\varepsilon'' = 0,06 \cdot \ln(X) + 0,01$; для композита на основе песка (Калининградская обл., п. Прислово) и цемента (СМС -90 СБ): $\varepsilon' = 0,941 \cdot \ln(X) + 1,67$, $\varepsilon'' = 0,107 \ln(X) - 0,015$; для композита на основе песка (Калининградская обл., п. Прислово) и цемента (ЦЕМ I 42, 5 Н): $\varepsilon' = 0,887 \cdot \ln(X) + 1,57$, $\varepsilon'' = 0,067 \cdot \ln(X) - 0,02$, где X – содержание цемента в %, верхняя граница X = 100%.

Максимальными показателями прочности и диэлектрических свойств обладают композиты на основе цемента (СМС -90 СБ) и песка (Калининградская обл., п. Янтарное). С увеличением концентрации и марочной прочности цемента изменяются диэлектрические и прочностные свойства композитов на основе песка разного генезиса. Прочность композита определяется свойством и количеством вяжущего, кристаллохимическими особенностями и состоянием тонкодисперсной части грунта, а также структурно-текстурными особенностями. В процессе гидратации цемента и кристаллизации новообразований высокоосновных гидросиликатных соединений кальция и гидроксидов кальция, обладающих вяжущими свойствами, создается неравномерный по прочности и сложный по конфигурации каркас. Одним из интегральных параметров, позволяющим количественно учитывать это влияние, являются диэлектрические потери, характеризующие энергию связи новообразований в композите.

При этом большей прочностью обладают композиты на основе мелкого песка, содержащего значительное количество пылеватой фракции: песка (Калининградская обл., п. Янтарное) кварцевого пылеватого (по СНиП 2.02.01-83), чем песка (Калининградская обл., п. Прислово) кварцевого ожелезненного, средней крупности). Существенно большую прочность при одинаковой дисперсности имеют композиты на основе песка с железистыми пленками (Калининградская обл., п. Прислово) по сравнению с песком (Люберецким) при прочих равных условиях. При водонасыщении композиты на основе песка разного генезиса с течением времени теряют прочность. Композиты на основе грунтов разного генезиса, особенно тонкодисперсной ее части, и создают специфические особенности при создания композитов. Максимальная

анизотропность матричного строения композита на основе цемента достигает в разнородных песках.

Изменение поглощения электромагнитного излучения, обусловленное изменением молекулярно-структурного состояния воды и структуры композита, приводит к увеличению прочности таких систем. Для уменьшения неоднозначности при решении обратных задач для интерпретации геофизических данных были получены уравнения регрессии изменения прочности композитных материалов в зависимости от диэлектрической проницаемости и потерь: для композита на основе песка (Калининградская обл., п. Янтарное) и цемента (СМС – 90 СБ) уравнения имеют вид: $\sigma = 2,687 \cdot (\epsilon') - 7,329$; $\sigma = 17,282 \cdot (\epsilon'') - 1,348$; для композита на основе песка (Калининградская обл., п. Прислово) и цемента (СМС – 90 СБ) уравнения имеют вид: $\sigma = 2,488 \cdot (\epsilon') - 6,587$; $\sigma = 18,742 \cdot (\epsilon'') - 1,6696$; для композита на основе песка (Калининградская обл., п. Янтарное) и цемента (ЦЕМ I 42, 5 Н) $\sigma = 1,648 \cdot (\epsilon') - 4,360$; $\sigma = 16,767 \cdot \epsilon'' - 1,102$ для композита на основе песка (Калининградская обл., п. Прислово) и цемента (ЦЕМ I 42, 5 Н) уравнения имеют вид: $\sigma = 1,635 \cdot (\epsilon') - 4,262$; $\sigma = 14,133 \cdot (\epsilon'') - 0,608$.

Таким образом, получены данные по поглощению электромагнитной энергии (частоте 2450 МПа) цементов разного генезиса, цементных композитов и цементных композитов на основе песка разного состава и свойств. Установлена взаимосвязь энергии связи воды и структуры цементов и цементных композитов на основе грунта с прочностью.

Наибольшей достоверностью и детерминированностью обладает уравнение, выражающее зависимость прочности и фазового состояния связанной воды систем.

Получены уравнения по диэлектрическим потерям и проницаемости композитов на основе песка разного состава и свойств в зависимости от содержания цемента разного генезиса. Комбинируя объемное содержание компонентов можно создавать композиционные материалы с требуемыми значениями прочности.

Полученные данные являются также основой для построения информационной модели геофизики для повышения точности и достоверности интерпретации геологических данных при решении различных инженерно-геологических задач геофизическими методами.

Литература

1. Бикбау М.Я. Наноцемент – основа эффективной модернизации заводов сборного железобетона // ЖБИ и реконструкции. – 2012. – № 1. – С. 38-42.
2. Босов А.И. На заметку проектировщикам. Российский опыт применения стабилизаторов для укрепления слабых грунтов оснований дорожных одежд // Дорожная держава. – 2012. – № 39. – С. 32-34.
3. Гончарова Л.В., Макеева Т.Г., Егоров Ю.М. Диэлектрические свойства дисперсных грунтов и минералов и фазовые переходы связанной воды. – М.: Университетская книга, 2012. – 422 с.

4. *Макеева Т.Г.* О гетерогенных процессах в дисперсных грунтах при технической мелиорации // Мат-лы годичной сессии Научного совета РАН по проблемам геоэкологии, инженерной геологии и гидрогеологии. Сергеевские чтения (23-24 марта 2002 г.) Вып. 4. – М.: ГЕОС, 2002. – С.53-57.

5. *Макеева Т.Г.* Особенности процесса гидратации дисперсных грунтов осадочного генезиса // Естественные и технические науки. – М.: Спутник+, 2011. – №3. – С. 246-249.

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ И МЕТОДИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ МИКРОБИОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ ГРУНТОВ

Н.Г. Максимович, В.Т. Хмурчик

Естественнонаучный институт Пермского государственного национального
исследовательского университета, г. Пермь, 614990, ул. Генкеля, 4.
E-mail: nmax54@gmail.com

Микроорганизмы широко распространены в грунтах разного генезиса и могут оказывать значительное влияние на их свойства. При этом обнаруживаемые в грунтах микроорганизмы могут функционировать на всех этапах формирования и изменения грунтов [1, 3, 6, 8]. При стабильном состоянии грунтов микроорганизмы способны нивелировать колебания газового состава, состава поровых вод и твердого компонента, возникающие при изменениях атмосферного давления и движении газов из мантии к поверхности, при подтоке подземных вод и нисходящем движении атмосферных вод. Значение микробиологической деятельности может существенно возрасти при нарушении стабильного состояния грунта, а также при техногенном воздействии [2, 4, 7]. Таким образом, исследование биотических свойств грунтов приобретает важное значение в ходе инженерно-геологических изысканий. Особую значимость приобретают микробиологические процессы, протекающие в гидротехнических сооружениях, так как они могут изменить стабильное состояние грунтов, а, следовательно, и устойчивость самих сооружений [2, 4, 5, 7]. Однако, до настоящего времени нет единого методического подхода к исследованию грунтов, который бы принимал во внимание наличие и деятельность в них микробиологической составляющей, что вынуждает исследователей при возникновении проблем искать собственные подходы для решения ряда узконаправленных конкретных задач, а не проблемы в целом.

В ходе плановых наблюдений за состоянием сооружений и внешней среды на одной из плотин Камско-Волжского каскада было обнаружено повышение мутности воды в дренажных устройствах плотины, превышающее нормативные показатели. Для выяснения причин обнаруженного явления, а также возможного его влияния на устойчивость грунтов тела и основания плотины был проведен комплекс полевых и лабораторных работ, включающий гидрохимические, минералогические, газогеохимические, аквабитуминологические и микробиологические исследования.

Визуальное обследование показало, что источником осадка, повышающего показатель мутности дренажных вод, явились воды аллювиального водоносного горизонта, частичная разгрузка которого осуществляется через колодцы вертикального дренажа. Образование осадка наблюдалось также в пробах воды из этого горизонта при их хранении в неплотно закупоренной таре, а также на фильтрах при пробоподготовке перед химическими анализами. По данным химического анализа осадок представлял собой гидроксид трехвалентного железа.

Минералогический анализ донных отложений колодца вертикального дренажа показал преобладание в них минералов аутигенного комплекса (кальцит, аморфный гидроксид железа (III), гетит, гидрогетит и пирит) над аллотигенным комплексом (кварцевые минералы). Было выявлено новообразование минералов кальцита и пирита, что может свидетельствовать о развитии в аллювиальном водоносном горизонте анаэробной глеевой геохимической обстановки. По нашему мнению, образование отложений гидроксида трехвалентного железа в дренажной канаве стало возможным в результате выхода глеевых, содержащих ионы Fe^{2+} , вод аллювиального водоносного горизонта на дневную поверхность, где на окислительном геохимическом барьере происходило окисление ионов Fe^{2+} до ионов Fe^{3+} , миграционная способность которых ниже. Аналогичное явление наблюдалось при хранении проб в неплотно закупоренной таре, а также при фильтрации проб, когда водорастворенные ионы Fe^{2+} могли вступать в непосредственный контакт с кислородом воздуха и окисляться до ионов Fe^{3+} . Возможность возникновения глеевой обстановки в аллювиальных отложениях в результате жизнедеятельности микроорганизмов была доказана в лабораторном эксперименте.

Химический анализ водорастворенного органического вещества в пробах воды из колодцев вертикального дренажа показал, что для аллювиального водоносного горизонта было характерно повышенное содержание органического углерода, в 2–3 раза превышающее фоновые значения для региона.

Химический анализ проб воды из пьезометров аллювиального водоносного горизонта показал, что в этом горизонте может быть выделена зона, в которой происходит более интенсивное бактериальное разложение водорастворенного органического вещества, обнаруживаемое по повышению содержания ионов HCO_3^- и NH_4^+ . В пределах этой зоны в аллювиальном водоносном горизонте также выделяется очаг повышенного содержания ионов Fe^{2+} , образовавшихся, по-видимому, в результате разложения железосодержащих минералов, и бактериального восстановления ионов Fe^{3+} водорастворенным органическим веществом до активно мигрирующих в водоносном горизонте ионов Fe^{2+} . Известно, что в аноксигенных условиях даже хорошо упорядоченные кристаллы оксидов железа (III) способны подвергаться восстановительному растворению [9]. Таким образом, появление очага повышенного содержания ионов Fe^{2+} в воде аллювиального водоносного горизонта может свидетельствовать о том, что в данном месте происходит трансформация водовмещающих пород, в которой принимают участие микроорганизмы.

При натурном обследовании колодцев вертикального дренажа в некоторых из них было обнаружено выделение газов в свободном виде, которое усиливалось при ударе пробоотборного оборудования о дно колодцев. В этих колодцах были установлены газосборные ловушки, однако, отобрать пробы газа не удалось в связи с прекращением газовыделения. Попытка отбора проб свободновыделяющихся газов в следующем году также не увенчалась успехом. Низкая периодичность газообразования и зональность газовыделения могут быть косвенным доказательством бактериального происхождения газов, накапливающихся в аллювиальном водоносном горизонте. Были проведены работы по газогеохимическому опробованию состава газов в воздухе колодцев вертикального дренажа. В составе воздуха обнаружено присутствие метана, в составе воздуха всех колодцев обнаружены углеводородные газы C_1 - C_5 и летучие органические соединения. Максимальные концентрации летучих органических соединений отмечены в восточной части земляной плотины, что, вероятно, связано с поступлением в тело и основание земляной плотины не только вод Камского водохранилища, но и вод, содержащих доступное для микроорганизмов органическое вещество, фильтрующихся с левого берега р. Камы, к которому примыкает плотина. В этой части плотины нами и обнаружена зона повышенного содержания ионов Fe^{2+} в аллювиальном водоносном горизонте. Полученные результаты, по нашему мнению, также являются подтверждением того, что в аллювиальном водоносном горизонте получила развитие глеевая геохимическая обстановка, благоприятствующая миграции водорастворенных ионов Fe^{2+} , образовавшихся при разложении железосодержащих минералов.

Таким образом, выполненный комплекс исследований показал, что в аллювиальном водоносном горизонте земляной плотины достаточно активно протекают микробиологические процессы, использующие водорастворенное органическое вещество и приводящие к созданию глеевой геохимической обстановки, благоприятной для миграции с током воды ионов двухвалентного железа. Источником ионов железа являются грунты и породы как области питания, так и самого водоносного горизонта, выщелачивающиеся под действием микроорганизмов. Ионы трехвалентного железа при этом восстанавливаются микроорганизмами до миграционноспособного двухвалентного состояния за счет окисления водорастворенного органического вещества. При выходе глеевых вод на дневную поверхность происходит окисление содержащихся в них ионов двухвалентного железа до трехвалентного состояния и выпадение последних в осадок. Количество образующегося осадка (наблюдаемые мутность вод и мощность слоя отложений в дренажной канаве) будет зависеть от интенсивности микробиологических процессов, приводящих к выщелачиванию ионов железа из грунтов и пород, и изменяющих физико-механические показатели их прочности.

Был проведен ряд лабораторных экспериментов, которые показали, что микроорганизмы вод и грунтов аллювиального водоносного горизонта способны образовывать газы при использовании органического вещества, выщелачивать железо из грунтов, а также изменять прочностные свойства грунтов.

В целом, проведенные исследования показали, что процессы, имеющие внешние признаки суффозионных, могут и не являться таковыми: источником повышения мутности дренажных вод явился не механический вынос частиц грунта из тела и основания плотины, а новообразование на окислительном геохимическом барьере осадка из ионов, находившихся до этого в водорастворенном состоянии. Микробиологическая деятельность может привести к мобилизации и выносу вещества из тела и основания плотины за счет следующих процессов и факторов:

- образование газов повышает напряженное состояние и вызывает разрыхление грунтов;
- вынос отдельных элементов из грунтов, приводящий к разрушению их минерального скелета, снижает механическую прочность грунтов;
- под действием микроорганизмов изменяется микроагрегатный и химический состав грунтов, в них происходит диспергация глинистых агрегатов, повышается гидрофильность грунтов, снижается их фильтрационная способность, прочность и модуль общей деформации;
- образуемые микроорганизмами экзометаболиты, проявляющие поверхностно-активные свойства, снижают прочность структурных связей в грунтах.

В связи с этим при проведении инженерно-геологических изысканий существует необходимость в исследовании поведения микроорганизмов в геологической среде и их реакции на внешние воздействия. Это позволит оценить роль микробных процессов в изменении инженерно-геологических свойств грунтов, а также прогнозировать ход инженерно-геологических процессов. В существующих нормативных документах отсутствует оценка степени влияния микробиоты грунтов на сами грунты и на используемые строительные материалы. Сложность таких оценок обусловлена тем, что степень влияния микробиоты зависит не только от количества и видового состава микроорганизмов, но и от температуры, влажности, аэрации, наличия или отсутствия в грунте органических веществ, антропогенных факторов и т.д. Большое разнообразие микроорганизмов в грунте, их способность адаптироваться к меняющимся условиям среды делают количественную оценку микробиоты, с точки зрения опасности для строительных материалов и сооружений, практически неразрешимой задачей. Но для принятия технических решений по защите инженерных сооружений от негативного воздействия микрофлоры грунтов и подземных вод такая оценка необходима.

Разработка единой методологии исследований в грунтах процессов, вызванных жизнедеятельностью микроорганизмов, может быть первым шагом на пути к принятию нормативных документов, так необходимых при инженерно-геологических и геоэкологических исследованиях.

Литература

1. Болотина И.Н. Физико-химические явления с участием биотического компонента // Теоретические основы инженерной геологии. Физико-химические основы. – М.: Недра, 1985.

2. Болотина И.Н., Максимович Н.Г. Изучение роли микроорганизмов подземных вод при химическом уплотнении гипсоносных пород основания плотины // Тез. докл. науч.-практ. конф. «Координация исследований на водохранилищах Камского каскада для разработки мероприятий по улучшению экологических условий в водоемах и на прилегающих территориях». – Пермь, 1984. – С. 44–45.

3. Болотина И.Н., Сергеев Е.М. Микробиологические исследования в инженерной геологии // Инженерная геология. – 1987. – № 5. – С. 3-17.

4. Болотина И.Н., Воронкевич С.Д., Максимович Н.Г. О возможности техногенных биогеохимических явлений при силикатизации гипсоносных пород // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 4. Геология. – 1986. – № 4. – С. 49-53.

5. Кофф Г.Л., Кожевина Л.С. Роль микроорганизмов в изменении геологической среды // Инженерная геология. – 1981. – № 6. – С. 63-74.

6. Максимович Н.Г., Хмурчик В.Т. Влияние микроорганизмов на минеральный состав и свойства грунтов // Вестник Пермского университета. Сер. Геология. – 2012. – Вып. 3 (16). – С. 47-54.

7. Максимович Н.Г., Меньшикова Е.А., Казакевич С.В. Исследование возможности повышения агрессивности подземных вод при строительстве на пиритсодержащих глинистых грунтах // Мат. Межд. симп. «Инженерно-геологические проблемы урбанизированных территорий». – Екатеринбург, Аква-Пресс, 2001. – Т. 2. – С. 545-551.

8. Радина В.В. Роль микроорганизмов в формировании свойств грунтов и их напряженного состояния // Гидротехническое строительство. – 1973. – № 9. – С. 22-24.

9. Bonneville S., Van Cappelen P., Behrends T. Microbial reduction of iron (III) oxyhydroxides: effects of mineral solubility and availability // Chemical Geology. – 2004. – Vol. 212. – P. 255-268.

ОСОБЕННОСТИ ГРУНТОВЫХ УСЛОВИЙ АБИССАЛЬНОЙ РАВНИНЫ ЧЕРНОГО МОРЯ

С.Г. Миронюк

ООО «Питер Газ», 117630, г. Москва, Старокалужское шоссе, д. 62.
E-mail: mironyuk.sg@petergaz.com

Состояние проблемы. Анализируя состояние инженерной геологии в СССР в конце 60-х годов прошлого века Е.М. Сергеев обозначил новые ее направления – морскую инженерную геологию (изучает возможности строительства в условиях субаквальной среды) и инженерную геологию глубинных зон [19]. Спустя 10 лет Л. Б. Розовский в обобщающей статье [18] подвел первые итоги, оценил степень разработки отдельных проблем морской инженерной геологии, определил основные задачи морского грунтоведения, морской инженерной геодинамики, региональной морской инженерной геологии. В частности, в морском грунтоведении, по мнению Л.Б. Розовского, главным вопросом является формирование прочности грунтов в условиях седиментогенеза.

Важнейшие задачи морского грунтоведения были освещены также в работах А.К. Ларионова [12] и Я.В. Неизвестного [15, 16]. Среди них: разработка инженерно-геологической классификации донных грунтов, изучение

природы свойств осадков в связи с особыми условиями их формирования, разработка методов отбора качественных проб морских донных грунтов, изучение поведения донных грунтов под воздействием динамических нагрузок и др.

Решение задач инженерной геологии шельфа и глубоководных областей океана в последующие десятилетия нашло отражение в многочисленных публикациях [1,4,5,9,11,13,14,17,20,23,24,26].

Состав, свойства и условия образования осадков Черного моря освещены в статьях [6,7,10] и в ряде монографий [3,8], а также в фондовых материалах изысканий по трассе газопровода «Голубой поток» (Россия-Турция).

Несмотря на то, что история изучения инженерно-геологических свойств донных грунтов Черного моря насчитывает уже несколько десятков лет, ряд вопросов оценки их свойств, и прежде всего *in situ*, решены недостаточно. В первую очередь, данный вывод касается изученности слабых грунтов глубоководной котловины Черного моря.

Цель настоящей статьи – анализ основных показателей состава и свойств глубоководных илов, залегающих в пределах днища котловины во взаимосвязи с условиями седиментации и диагенеза.

Методика исследований. Отбор проб грунта производился с использованием легких технических средств: дночерпателя «Океан-0,025» грейферного типа, гравитационных трубок с различной длиной керноприемной части. Опробование керна осуществлялось сразу же после извлечения его из керноприемника, описания, фотографирования и контроля его состояния и пригодности для отбора на тот или иной вид анализа. Анализы в судовой лаборатории включали: определение природной влажности, плотности, характеристик пластичности. Соппротивление недренированному сдвигу выполнялось с помощью лабораторной крыльчатки (BS 1377-7; ASTM D 4648). Гранулометрический состав грунтов определялся в береговой лаборатории ситовым и ареометрическими методами. Статическое зондирование (СРТ) выполнялось в соответствии с ГОСТ 19912-2001, а интерпретация полученных данных согласно СП 11-105-97, часть I и на основании известных теоретико-эмпирических и корреляционных зависимостей. Для непрерывного сейсмоакустического профилирования (НСП) применялся параметрический профилограф SES-2000 Medium. Радиоуглеродное датирование осадков производилось на основе метода масс-спектрометрии с ускорителем (AMS), при котором требуются навески около 1 мг.

Современные условия осадконакопления. Глубоководная котловина, имеющая глубины 2000-2200 м, занимает центральную часть Черноморской впадины, разделенную погребенным валом Андрусова-Архангельского на две части: восточную и западную. Фундамент Черноморской впадины слагают меловые отложения, перекрытые кайнозойским осадочным чехлом мощностью до 10-15 км. Днище котловины – практически горизонтальная подводная равнина морской конечной аккумуляции. Повышенные уклоны дна моря наблюдаются лишь на нескольких участках и связаны с аккумулятивными телами глубоководных конусов выноса (Дунайским, Кубанско-Донским).

Кроме аккумулятивных конусов выноса, в пределах котловины прослеживаются глубоководные палеодолины, являющиеся, вероятно, продолжением каньонов северо-болгарского, румынского и турецкого склонов. Максимальные уклоны донной поверхности на указанных участках достигают $6,3^{\circ}$ - $9,8^{\circ}$. В периферийных частях котловины прослеживаются следы суспензионных потоков, на своде погребенного вала Шатского имеются признаки донной эрозии. В абиссальной зоне максимум скорости придонных течений лишь в редких случаях превышал 10 см/с, средние же значения скорости течений находятся в диапазоне 1,5-2,5 см/с. Черное море в настоящее время относится к разряду солоноватых. Соленость вод в его открытой части около 20‰. У дна котловины соленость достигает 22‰, температура вод 9°C , $\text{pH}=7,7$. Растворенный кислород наблюдается только в верхнем слое воды; глубже 150-200 м вода насыщена сероводородом, концентрация которого у дна составляет 7,1-29,3 мг/л.

Палеогеографические условия седиментации. В верхней части разреза позднечетвертичных отложений Черного моря по палеонтологическим и литологическим данным выделяются 3 горизонта (сверху вниз): новочерноморский, древнечерноморский и новоевксинский [22].

Новочерноморский и древнечерноморский горизонты относятся к позднему и среднему голоцену с абсолютным возрастом подошвы около 7 тыс. лет назад. Они формировались в морском бассейне с соленостью 10-18 ‰ в условиях водообмена между Черным и Средиземным морями. Прорыв больших масс тяжелых соленых средиземноморских вод в результате послеледникового подъема уровня Мирового океана, богатых сульфатами, привел к затруднению вертикального водообмена в глубоководной котловине, возникновению мощного слоя сероводородного заражения и массовому накоплению сапропелевых илов на дне Черноморской впадины [25,27].

Новоевксинский горизонт охватывает ранний голоцен (временной интервал 7-10 тыс. лет назад) и поздний плейстоцен (10 до 25 тыс. лет назад). Отложения накапливались в водоеме с уровнем солености 0-6 ‰ и с нормальным кислородным режимом. Новоевксинский бассейн существовал в режиме бессточного и сточного озера-моря на отметках около – 100 м. На окружающей водоем суше господствовал аридный климат. Устья рек открывались в море в пределах современного материкового склона. Среди гравитационных склоновых процессов в рассматриваемое время преобладали оползни, обломочные и турбидные потоки [2].

Стратиграфо-литологическое описание осадков. В глубоководной впадине новочерноморский горизонт сверху представлен рыхлым, серым кокколитовым илом. Ниже залегает тонкослоистый кокколитовый ил с прослоями сапропелевого ила. Мощность горизонта 0,24-2,0 м. Возраст отложений, согласно радиоуглеродным датировкам 0,85-3,18 тыс. лет.

Древнечерноморский горизонт сложен типичным черным, темно-зеленым тонко-микрослоистым глинистым сапропелем с прослоями серого, зеленоватого ила с рассеянными мелкими включениями сапропеля потокового генезиса (турбидиты). В слое сапропеля присутствуют также тонкие про-

слои кокколитового ила. Мощность горизонта 0,59-2,7 м. Возраст отложений 3, 18- 5,17 тыс. лет.

Новоевксинский горизонт сложен слоями серого, темно-серого, черного (гидротроилитового), бурого глинистого ила с прослоями алеврита и песка, местами с градиционной слоистостью. В нем имеются включения древесины, следы оползания материала. В толще илов встречаются ходы илоедов. Мощность горизонта 20 м и более. По данным радиоуглеродного датирования возраст крупного куска древесины отобранного с глубины 9,6 м составил 13,7 лет.

Сейсмостратиграфическая характеристика донных грунтов. Расчленение верхней части геологического разреза выполнялось путем анализа волнового поля сейсмоакустических профилей. При этом использовались объективные критерии, позволяющие по рисунку отражений на сейсмоакустических разрезах оценивать литологические типы донных осадков, изменения их физико-механических свойств и фациальные условия накопления. Так, например, приповерхностные осадки (илы), обладающие наиболее низкими прочностными свойствами, на сейсмоакустическом разрезе выделяются серой тональностью, весьма слабо выраженными отражениями. С возрастанием плотности и прочности грунтов, появлением в толще осадков песчаных прослоев (турбидитов), сейсмоакустическая запись приобретает более четкий характер, появляются отражения с повышенными амплитудами.

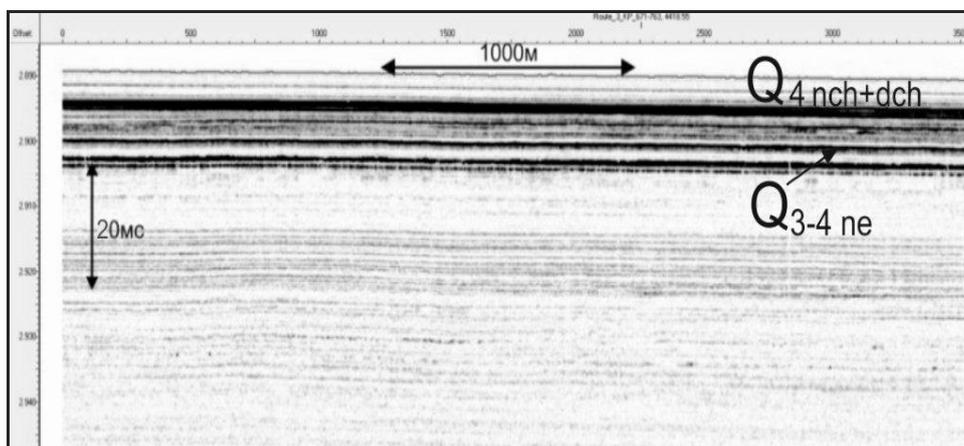


Рис. Сейсмоакустическое изображение верхней части геологического разреза абиссальной равнины Черного моря (фрагмент)

По характерным особенностям акустического облика грунтов Черноморской впадины выделяются две толщи, разделенные четкой отражающей границей. Верхняя толща представлена осадками новочерноморского и древнечерноморского горизонтов (рисунок), а вторая осадками новоевксинского горизонта с ярко выраженной слоистостью. При этом осветленные слои соответствуют глинам и илам, тогда как черные протяженные полосы (сильные

рефлекторы), как показали материалы статического зондирования, коррелируются со слоями осадков, обогащенных песчано-алевритовым материалом. В свою очередь отражающий горизонт коррелируется с границей между придонными илами и подстилающими их глинами текучей консистенции.

Результаты статического зондирования. Отложения абиссальной равнины представлены в верхней части разреза толщей илов и сапропелей. Мощность отложений изменяется от 0,5 до 4,0 м, Su (сопротивление недренированному сдвигу) составляет 1,0-10,0 кПа, среднее значение ~5,3 кПа. Илы подстилаются глинами текучими мощностью до 2,0-2,5 м (Su варьирует от 8,0 кПа до 12,5 кПа при среднем значении 9,7кПа), которые ниже по разрезу переходят в текучепластичные (Su в среднем равно 16,5кПа, при этом значения изменяются от 13,6 кПа до 23,8 кПа). В глинистых отложениях часто встречаются прослойки, включения и линзы пылеватых глин, супесей и глинистых песков мощностью 0,2-0,5 м (реже до 1,5 -2, 85 м).

Результаты лабораторных исследований. Исследования донных грунтов в судовой лаборатории показали, что все они имеют текучую консистенцию.

Ил глинистый, текучий, кокколитовый (Q4 nch). Цвет изменяется от зеленовато-серого до серо-зеленого. Текстура горизонтально-слоистая за счет переслаивания мелкого (менее 0,1мм) детрита кокколитовой ракушки и зеленого глинистого ила. Мощность прослоев обычно не более 1мм. Воздушно-сухой кокколитовый ил растворяется в HCl на 60-90% и, согласно таблице 6.5 СП 11-114-2004 [21], на 50-90% состоит из карбоната кальция (CaCO₃). По результатам лабораторных определений максимальное содержание CaCO₃ составляет 30 %. Физические свойства ила кокколитового следующие: природная влажность (W) в среднем составляет 251%, средняя плотность (ρ) 1,18г/см³, коэффициент пористости (e) 7,04. Su (испытания грунтов выполнялись лабораторной крыльчаткой) составляет 1,2-1,3 кПа. В гранулометрическом составе преобладает глинистая фракция: 64,0%; содержание пылевой фракции: 32,0%, песчаной: 4,0%.

Сапропель глинистый, текучий (Q4 dch). В разрезе сапропель подстилает вышеописанный ил кокколитовый. Имеет окраску от темно-зеленой до зеленовато-черной, слабовыраженную горизонтально-слоистую, реже массивную, текстуру. Реакции с HCl нет. Контакт с подстилающими и перекрывающими отложениями резкий, субгоризонтальный. Содержание органического вещества в сапропели по лабораторным данным составляет 5,8-22%. Физические свойства сапропеля следующие: W = 332%, $\rho = 1,11$ г/см³, $e = 9,77$. Su = 2,0-4,4 кПа. В гранулометрическом составе преобладает глинистая фракция: 58,0%; содержание пылевой фракции: 29,5%, песчаной: 12,5%.

Глина текучая (Q3-4 ne). Цвет грунта изменяется от светло-серого до зеленовато-серого. Текстура массивная, либо отмечается слабовыраженная горизонтальная слоистость. Реакция с HCl очень слабая. Глины в нижней части вскрытой толщи обильно обогащены гидротроилитом (FeS·nH₂O). Встречаются прослойки суглинка и супеси мощностью не более 4 см, а также тонкие прослойки обогащенные детритом ракушки. Гранулометрический состав

осадков: глинистая фракция: 53,4%; содержание пылеватой фракции: 44,7%, песчаной: 1,9%. Физические свойства глин: $W=114\%$, $\rho = 1,39\text{г/см}^3$, $e = 3,19$. $S_u = 1,9-16,3$ кПа.

Дана характеристика инженерно-геологических свойств глубоководных отложений Черного моря. Отмеченные различия свойств грунтов трех стратиграфо-генетических горизонтов отражают различия их генезиса и особенности диагенетических преобразований осадков.

Литература

1. Амарян Л. С. Свойства слабых грунтов и методы их изучения. – М.: Недра, 1990. – 220 с.
2. Атлас палеогеографических карт. Шельфы Евразии в мезозое и кайнозое. Автор. коллектив: Алексеев М. И., Архангелов А. А., Безверхний В. Л. и др. Т. 1. Текст. Р. Г. – Великобритания, ГИН АН СССР, 1992. – 261 с.
3. Бабинец А. Е., Емельянов В. А., Штропольский А. Ю. и др. Физико-механические свойства донных осадков Черного моря. – Киев: Наук. думка, 1981. – 204 с.
4. Вознесенский Е. А., Федотов А. Ю. Динамические свойства глубоководных илов Тихого океана // Инженерная геология. – 1991. – № 3. – С. 9-19.
5. Грищенко И. И. Комплексные инженерно-геологические исследования в Баренцевом, Печорском и Карском морях в связи с разведкой и освоением нефтегазовых месторождений // Разведка и охрана недр. – 1998. – № 4-5. – С. 20-27.
6. Емельянов В. А., Митропольский А. Ю. Закономерности формирования и распределения водно-физических свойств глубоководных осадков Черного моря // Позднечетвертичная история и седиментогенез окраинных и внутренних морей. – М.: Наука, 1979. – С. 73-78.
7. Звольский С. Т., Мельник В. И., Вовк П. К. Некоторые результаты изучения физико-механических свойств глубоководных донных осадков Черного моря с применением ядерно-геофизических методов // Геологический журнал. – 1984. – Т. 44. – №5. – С. 76-84.
8. Инженерная геология шельфа и побережья Черного моря / Отв. ред. К. И. Джанджгава. – М.: Наука, 1992. – 117 с.
9. Инженерная геология СССР. Шельфы СССР / Ред. К. И. Джанджгава, И. С. Комаров, Я. В. Неизвестнов. – М.: Недра, 1990. – 240 с.
10. Клещенко С. А., Сидоренко В. Б., Куковская Т. С. Физико-механические свойства донных осадков по трассам подводных линий кабельной связи Евпатория-Керчь и Севастополь-Поти // Геологический журнал. – 2003. – №1. – С. 42-49.
11. Козлов С. А. Инженерная геология Западно-Арктического шельфа России. – СПб.: ВНИИОкеангеология, 2004. – 147 с.
12. Ларионов А. К. Проблемы морского грунтоведения // Вестник Ленинградского университета. – 1975. – №24. – С. 33-39.
13. Локтев А. С. Методические основы инженерно-геологических изысканий для нефтегазопромысловых сооружений на шельфе Арктических морей. Дисс. канд. наук. – 2004. – 256 с.
14. Мельников В. П., Спесивцев В. И. Инженерно-геологические и геокриологические условия шельфа Баренцева и Карского морей. – Новосибирск: Наука, 1995. – 198 с.
15. Неизвестнов Я. В. Методологические основы изучения инженерной геологии арктических шельфов СССР // Инженерная геология. – 1982. – №1. – С. 3-14.
16. Неизвестнов Я. В. Становление и развитие инженерной геологии морского дна/60 лет в Арктике, Антарктике и Мировом океане: Сборник научных трудов / под ред. д-ра геол. – мин. наук В. Л. Иванова. – СПб.: ВНИИОкеангеология, 2008. – С. 449-463.
17. Осипов В. И. Природа прочности и деформационных свойств глинистых пород. – М.: Недра; Изд-во МГУ, 1979. – 232 с.
18. Розовский Л. Б. Строительство на акваториях и морская инженерная геология // Инженерная геология. – 1979. – № 2. – С. 11-22.

19. *Сергеев Е. М.* Современное состояние и перспективы развития инженерной геологии в Советском Союзе: (Докл. на Междунар. совещ. по инж. геологии 3 июня 1968 г.). – М.: Изд-во Моск. ун-та, 1968. – 23 с.
20. *Серебряков А. О.* Морская инженерная геология. – Астрахань: Издательский дом «Астраханский университет», 2008. – 314 с.
21. СП 11-114-2004. Инженерные изыскания на континентальном шельфе для строительства морских нефтегазопромысловых сооружений/Госстрой России. – М.: ФГУП «ПНИИИС» Госстроя России, 2004. – 97 с.
22. *Страхов Н. М.* О некоторых новых чертах диагенеза черноморских отложений // Литология и полезные ископаемые. – 1963. – №1. – С. 7-27.
23. *Хромых Д. П.* Инженерная геология восточной части Финского залива. Автореф. дисс. канд. геол.-мин. наук. – Л., 1986. – 47 с.
24. *Шехтер Е. Ю.* Методы исследований механических свойств грунтов морского дна. – М.: Недра, 1983. – 189 с.
25. *Шимкус К. М.* Процессы осадконакопления в Средиземном и Черном морях в позднем кайнозое. – М.: Научный мир, 2005. – 280 с.
26. *Шников А. Б.* Некоторые аспекты изучения и оценки инженерно-геологических свойств морских илов // Инженерная геология. – 1980. – №6. – С. 50-60.
27. *Янина Т. А.* Неоплейстоцен Понто-Каспия: биостратиграфия, палеогеография, корреляция. – М.: Географический факультет МГУ, 2012. – 264 с.

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОГО МОДУЛЯ ОБЩЕЙ ДЕФОРМАЦИИ ПЕСЧАНОГО МАССИВА, УСИЛЕННОГО МЕТОДОМ «ГЕОКОМПОЗИТ»

Д.И. Могилевцева

Институт геоэкологии им. Е.М. Сергеева РАН (ИГЭ РАН),
Уланский пер., д. 13, стр. 2, Москва, 101000 Россия. E-mail: dasha0330@mail.ru

Объект исследований. Исследования проводились на территории бывших Люберецких полей аэрации, где расположен новый жилой комплекс. Основанием сооружений в данном районе являются пески средней крупности, среднего и рыхлого сложения. Модуль общей деформации колеблется в пределах от 4 до 25 МПа, угол внутреннего трения – от 25 до 37°. Методом «Геокомпозит» были усилены основания 40 блок-секций 11-ти монолитных жилых зданий [10].

Методика изучения массива, усиленного методом «Геокомпозит», разделена на две части, что продиктовано необходимостью разделения понятий эффективных свойств усиливаемого инженерно-геологического элемента (ИГЭ) и эффективных свойств усиливаемого массива в целом [6].

Оценка эффективного модуля общей деформации (ЭМОД) усиленных ИГЭ осуществлялась **методом электродинамического зондирования (ЭДЗ)** [5, 8]. На исследуемой территории было выделено 79 ИГЭ, среди которых 37 – насыпные грунты. По результатам исследования армированного грунта

методом ЭДЗ можно отметить значительное увеличение ЭМОД усиленных ИГЭ в основном за счет повышения их плотности и уменьшения пористости, их значения изменяются в пределах от 30 до 65 МПа.

Далее была произведена оценка эффективного модуля общей деформации (ЭМОД) усиленных ИГЭ **методом обратного правила смеси**. Используя такие проектные данные, как: коэффициент пористости, модуль деформации до и после усиления, полученные по результатам динамического зондирования, объем закачиваемого раствора и объем укрепляемой части грунта, при оценке ЭМОД усиленного ИГЭ было учтено наличие включений цементного камня в разрезе. Данные значения ЭМОД грунтов по обратному правилу смеси (от 31 до 77 МПа) выше аналогичных показателей, полученных по методу ЭДЗ [3, 4, 9].

Для проверки аналитических решений и данных по ЭДЗ проведены полевые испытания усиленных грунтов **прямым методом – скважинным штампом**. В пределах изучаемой территории была создана опытная площадка. Через 9 инъекторов произвели нагнетание цементного раствора в укрепляемый ИГЭ, кровля которого располагалась на глубине 1,5 м [13].

В естественном сложении изучаемый ИГЭ имел модуль общей деформации в среднем 18 МПа по данным ЭДЗ и предварительным штамповым испытаниям. После усиления произвели 7 испытаний скважинным штампом, 4 из них показали ЭМОД – 33-53 МПа, а 3 – от 22 до 27 МПа.

Оценка эффективного модуля общей деформации (ЭМОД) усиленного массива была осуществлена с помощью **расчета осадок оснований**. В основе метода лежит определение осадок фундаментной плиты с использованием компьютерной программы «Foundation» согласно СП 50-101-2004 и СНиП 2.02.01-83* [12, 14, 15]. Расчеты были проведены по двум схемам. Схема упругого полупространства на сегодняшний день является единственной рекомендованной для расчета осадки плиты, однако расчет по ней дает завышенные значения ЭМОД и осадок, отличающиеся от реальных (рис. 1, 2). Поэтому были проведены расчеты также по схеме линейно-деформированного слоя, показавшие более приемлемые значения ЭМОД и осадок (рис. 3) [1, 12, 14].

Для каждой блок-секции проводилось несколько вариантов расчетов с использованием разных значений модуля общей деформации ИГЭ. В 1-м варианте расчета был взят показатель грунтов до усиления, когда грунты находятся в естественном сложении (рис. 1-4, линия 1). Последующие расчеты проводились для усиленного массива. Во 2-м варианте вводился модуль общей деформации ИГЭ, предусмотренный проектом (25 МПа) (рис. 1-4, линия 2). В 3-м расчете применялся показатель, полученный по данным ЭДЗ (рис. 1-4, линия 3). Четвертый расчет производился с использованием модуля общей деформации, полученного по обратному правилу смеси (рис. 1-4, линия 4). В 5-м расчете модуль общей деформации рассчитывался методом подбора под фактическую осадку блок-секции, определенную в ходе мониторинга осадок (рис. 1-4, линия 5).

По итогам всех пяти расчетов были получены осадки и ЭМОД сжимаемой толщи, причем по двум различным схемам для каждой блок-секции:

- по схеме упругого полупространства результаты расчетов осадок представлены на рис. 1, а ЭМОД – на рис. 2;
- по схеме упругого слоя результаты расчетов осадок отражены на рис. 3, а ЭМОД массивов – на рис. 4.



Рис. 1. Осадки блок-секций, полученные по разным эффективным модулям общей деформации массива. Схема линейно-деформированного полупространства

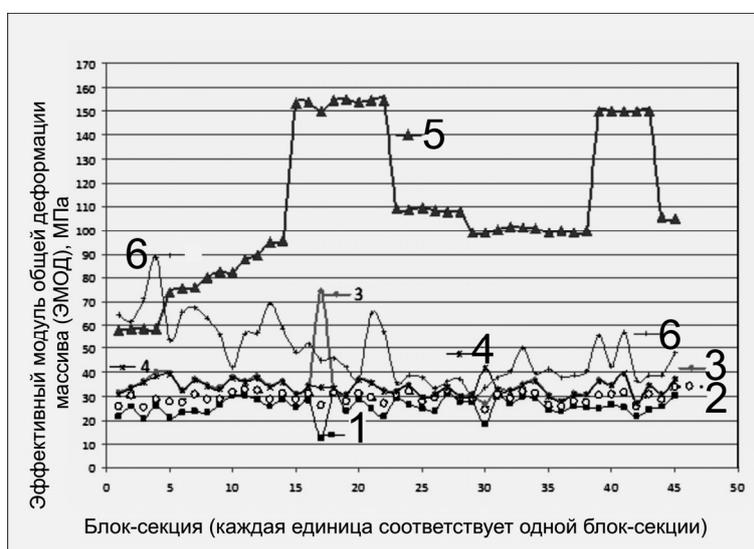


Рис. 2. Распределение эффективных модулей общей деформации массива, полученных разными методами. Схема линейно-деформированного полупространства



Рис. 3. Осадки блок-секций, полученные по разным эффективным модулям общей деформации массива. Схема линейно-деформированного слоя

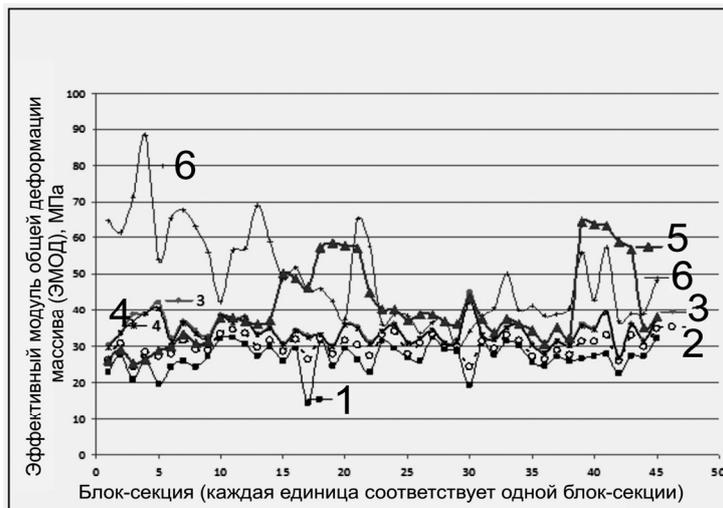


Рис. 4. Распределение эффективных модулей общей деформации массива (ЭМОД), полученных разными методами.

Схема линейно-деформированного полупространства:

- 1 – осадки и эффективные модули общей деформации грунтов естественного сложения;
- 2 – проектные значения; 3 – значения, полученные по аналитическим данным; 4 – значения, полученные по данным ЭДЗ; линия 5 – значения, соответствующие фактическим данным;
- 6 – значения, рассчитанные методом последовательного усреднения

Далее была проведена оценка (ЭМОД) усиленного массива **методом последовательного усреднения (по принципу суперпозиции)**, который основывается на комбинации прямого и обратного правил смеси (рис. 2, 4, линия б).

Сначала рассчитывались эффективные модули общей деформации ИГЭ (усиленных, неусиленных и естественного сложения) с использованием усреднения по Фойгту (прямое правило смеси) [11, 16], причем учитывалось наличие стального инъектора [2, 3, 4, 7].

Далее на среднюю глубину активной зоны (7.2 м) производился расчет ЭМОД массива с помощью усреднения по Рейссу (обратное правило смеси) [11, 16]. Коэффициентами пропорциональности служат доли мощности усиленных, неусиленных и грунтов естественного сложения, попадающих в активную зону.

При усилении грунтов методом «Геокомпозит» в массиве происходят значительные преобразования, которые необходимо учесть при оценке его ЭМОД. Использование метода ЭДЗ позволяет учитывать только уплотнение грунта с низкими деформационными показателями и плотностью.

Метод расчета ЭМОД массива по обратному правилу смеси позволяет учитывать не только уплотнение грунтов, но и наличие цементного камня в разрезе.

Расчет ЭМОД массива методом последовательного усреднения позволяет учитывать наличие микросваи в массиве.

Метод расчета ЭМОД массива по фактической осадке позволяет учесть все перечисленные факторы, влияющие на несущую способность массива и его деформационные характеристики.

Выводы

1. При изучении деформационных характеристик грунтов, усиленных методом «Геокомпозит», необходимо разделять понятия эффективного модуля общей деформации усиленного ИГЭ и массива в целом.

2. Значения модулей общей деформации усиленных ИГЭ, определенных с помощью ЭДЗ, составили 30-65 МПа. Расчет по обратному правилу смеси показал значения ЭМОД усиленных ИГЭ в границах от 31 до 71 МПа, что несколько выше значений, полученных методом ЭДЗ. Определение ЭМОД прямым методом (скважинный штамп), применявшимся на экспериментальной площадке, дало значения в пределах от 22 до 53 МПа, что не противоречит предыдущим расчетам.

3. С помощью расчета ЭМОД массива по осадкам удалось установить верхние и нижние границы данного показателя для массива. Нижние границы – 24 МПа, верхние – 64 МПа. Сравнение результатов, полученных с использованием схемы упругого полупространства и упругого слоя, показывает целесообразность использования при расчетах показателей схемы упругого слоя.

4. При расчете методом последовательного усреднения ЭМОД массива был оценен в пределах от 29 до 69 МПа. Данные результаты не противоречат предыдущим расчетам и показывают хорошую сходимость с расчетами по фактической осадке за исключением некоторых случаев.

5. В процессе создания «Геокомпозита» происходит кардинальное изменение строения массива грунта – формирование техногенного массива за счет уплотнения ослабленных грунтов, заполнения пустот, трещин и образующихся полостей гидроразрыва цементным камнем, образования стально-цементной сваи с разветвленными цементными языками (микросвая), взаимодействия соседних микросвай. Все это приводит к повышению ЭМОД усиленного ИГЭ в 1,5 раза для средних по плотности грунтов и в 4 раза для слабых грунтов. В то же время повышение ЭМОД всего массива происходит в среднем в 1.5 раза по сравнению с исходным массивом.

Литература

1. Актуализированный СНиП 2.02.01-83*. – М.: Госстрой России, 2011. – 52 с.
2. *Ахвердов И.Н.* Основы физики бетона. – М.: Стройиздат, 1981. – 464 с.
3. *Власов А.Н., Мерзляков В.П.* Усреднение деформационных и прочностных свойств в механике скальных пород. – М.: Изд. АСВ, 2009. – 208 с.
4. *Власов А.Н., Мерзляков В.П., Ухов С.Б.* Эффективные характеристики деформационных свойств слоистых пород // Основания, фундаменты и механика грунтов. – 1990. – № 1. – С. 19-21.
5. ГОСТ 19912-2001. Грунты. Методы полевых испытаний статическим и динамическим зондированием. – М.: Госстрой, 2001. – 14 с.
6. Грунтоведение / Под ред. В.Т. Трофимова. – М.: Наука, 2005. – 1023 с.
7. *Каприелов С.С., Карпенко Н.И., Шейнфельд А.В., Кузнецов Е.Н.* Влияние органоминерального модификатора МБ-50С на структуру и деформативность цементного камня и высокопрочного бетона // Бетон и железобетон. – 2003. – № 3. – С. 2-7.
8. Методическое пособие по электродинамическому зондированию. – М.: ВСЕГИНГЕО, 1995. – 24 с.
9. *Могилевцева Д.И.* Определение эффективного модуля общей деформации песчаных грунтов, закрепленных методом «Геокомпозит» // Геоэкология. – 2012. – № 6. – С. 571-572.
10. *Осипов В.И., Филимонов С.Д.* Уплотнение и армирование слабых грунтов методом «Геокомпозит» // Основания, фундаменты и механика грунтов. – 2002. – №5. – С. 15-21.
11. *Победря Б.Е.* Механика композиционных материалов. – М.: МГУ, 1984. – 336 с.
12. СНиП 2.02.01-83*. Основания зданий и сооружений. – М.: Госстрой, 1995. – 70 с.
13. СП 11-105-97. Инженерно-геологические изыскания для строительства. – М.: Госстрой России, 1997. – 35 с.
14. СП 50-101-2004. Проектирование и устройство оснований и фундаментов зданий и сооружений. – М.: Госстрой России, 2005. – 130 с.
15. Руководство пользователя «Foundation12.3. – М.:Стройэкспертиза, 2008. – 124 с.
16. *Paul B.* Prediction of elastic constants of multiphase materials // Trans. ASME. – 1960. – V. 218. – 36 p.

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МИКРОСТРУКТУРЫ ЛЕССОВЫХ ОТЛОЖЕНИЙ СРЕДНЕГО ПРИДНЕПРОВЬЯ И ПРИАНГАРЬЯ

Т.П. Мокрицкая¹, Т.Г. Рященко², В.В. Акулова², К.А. Самойлич¹

¹Днепропетровский национальный университет им. О. Гончара, г. Днепропетровск,
пр. Гагарина, 72, Украина, E-mail: mokritska@i.ua

²Институт земной коры СО РАН, Иркутск 664033, Лермонтова 128, тел. (83952)426133.
E-mail: ryashenk@crust.irk.ru

Структурная неустойчивость и предрасположенность к просадочным деформациям делают лессовые отложения основным фактором геоэкологического риска территорий различных регионов планеты (Украина, Россия, Китай и др.). Согласно современному определению, структура – это пространственная организация вещества породы, характеризующаяся совокупностью геометрических, морфометрических и энергетических признаков и определяющаяся составом, количественным соотношением и взаимодействием компонент [4]. Изучение структуры проводится на макро-, мезо- и микроуровне. Оценка микроструктуры предполагает получение целого ряда показателей, характеризующих ее элементы, типы и характер структурных связей.

В докладе рассмотрены результаты изучения микроструктуры лессовых отложений Среднего Приднепровья и Приангарья с помощью метода «Микроструктура», который был разработан в грунтоведческой группе аналитического центра Института земной коры СО РАН [5]. Он основан на гранулометрическом анализе, выполняемом тремя способами подготовки образца (агрегатный, полудисперсный и дисперсный) [3], по результатам которого далее проводятся специальные расчеты. В настоящее время указанный метод широко применяется при инженерно-геологических исследованиях лессовых и глинистых отложений на юге Восточной Сибири и сопредельных территориях [6–8].

Лессовые покровы Среднего Приднепровья представлены субэральными циклично построенными толщами с горизонтами погребенных почв, при этом зона проявления просадочных деформаций может достигать 50 м [1, 2]. Исследовались образцы днепровского лесса, являющегося одним из маркирующих горизонтов субэрального покрова. Образцы отобраны в обнажении стенки оврага балки Туннельная (г. Днепропетровск). Результаты определения основных параметров микроструктуры по трем образцам (средние значения) представлены в табл. 1.

По данным стандартной гранулометрии лессы днепровского горизонта являются супесями пылеватыми ($M^9 7,3\%$; $M^{11} 68,3\%$). Согласно ранее разработанной классификации [5], в зависимости от количества агрегатов (A) устанавливается тип микроструктуры грунта – скелетно-агрегированная ($25 < A \leq 40$). По преобладанию частиц и агрегатов крупнопылеватой размерности (в сумме они составляют 55,6%) и коэффициенту (G), представляющему

долю первичных частиц среди структурных элементов (87%), определяется тип структурной модели – крупнопылеватая элементарная (табл. 2). В составе агрегатов преобладают тонко-мелкопесчаные (0,25–0,05 мм) и крупнопылеватые (0,05–0,01 мм) фракции, их содержание соответственно составляет 16,8 и 7,1 %. В строении агрегатов в основном принимают участие тонкоглинистые (<0,001 мм) частицы, реальное содержание которых достигает 23,8 %, а коэффициент их свободы всего лишь 3%. В меньшей степени участвуют грубоглинистые частицы, степень свободы которых 68 %, а реальное содержание – 2,5 %.

Таблица 1

Основные параметры микроструктуры днепровского лесса (%)

A	A¹	A²	A³	A⁴	A⁵	M¹	M²	M^{2-A}
25,3	1,4	16,8	7,1	0	0	0,2	17,2	0
M³	M^{3-A}	M⁴	M^{4-A}	M⁵	M^{5-A}	M⁶	M^{6-A}	M⁷
48,5	0	6,3	7,8	1,7	2,5	0,8	23	23,8
M⁸	M⁹	M¹¹	F¹	F²	F³	F⁴	F⁵	F⁶
26,3	7,3	68,3	100	100	100	81	68	3

Примечание: **A** – общее количество агрегатов; **A¹⁻⁵** – количество агрегатов, имеющих размеры 1,00–0,25; 0,25–0,05; 0,05–0,01; 0,010–0,002; 0,002–0,001 мм; **M¹⁻⁵** – количество первичных частиц тех же размеров, **M⁶** – количество первичных частиц < 0,001 мм; **M^{2-A}** – количество частиц в составе агрегатов, рассчитанные для фракций 1,00–0,25; 0,25–0,05; 0,05–0,01; 0,010–0,002; 0,002–0,001; < 0,001 мм; **M⁷** – общее количество (первичных и в составе агрегатов) частиц < 0,001 мм; **M⁸** – общее количество (первичных и в составе агрегатов) частиц < 0,002 мм; **M⁹** – общее содержание грубо- и тонкоглинистых частиц (< 0,002 мм) по данным стандартной гранулометрии; **M¹¹** – общее количество крупно- и мелкопылеватых частиц (0,050–0,002 мм) по данным стандартной гранулометрии; **F¹** – **F⁶** – коэффициенты свободы, рассчитанные для фракций 1,00–0,25; 0,25–0,05; 0,05–0,01; 0,010–0,002; 0,002–0,001; < 0,001 мм.

Таблица 2

Тип микроструктуры и структурной модели днепровского лесса

Лесс днепровского горизонта (vP _{II} dn)	A, %	Тип микроструктуры	Тип структурной модели	
	25,3	ск-аг	X ³ 55,6 G 87	Крупнопылеватая элементарная

Примечание: ск-аг – скелетно-агрегированный тип микроструктуры; X³ – содержание (%) крупнопылеватые структурные элементы (A³+M³); G – коэффициент элементарности (%).

Лессовые отложения Приангарья залегают в виде покровов мощностью до 15–20 м на террасах (III–V) Ангары и в виде островов мощностью 1–4 м – на водоразделах и пологих склонах, представлены лессовидными суглинками и супесями делювиального (dQ₃³) и элювиально-делювиального (edQ) комплексов [5]. Толщи иногда содержат несколько погребенных почв и

делятся на лессовые циклиты, включающие собственно лессовые отложения и развитые на них почвы [9].

Проведен сравнительный анализ полученных микроструктурных параметров для лессов Среднего Приднепровья и региональных данных по особенностям микроструктуры лессовидных отложений Приангарья [5] (рисунок).

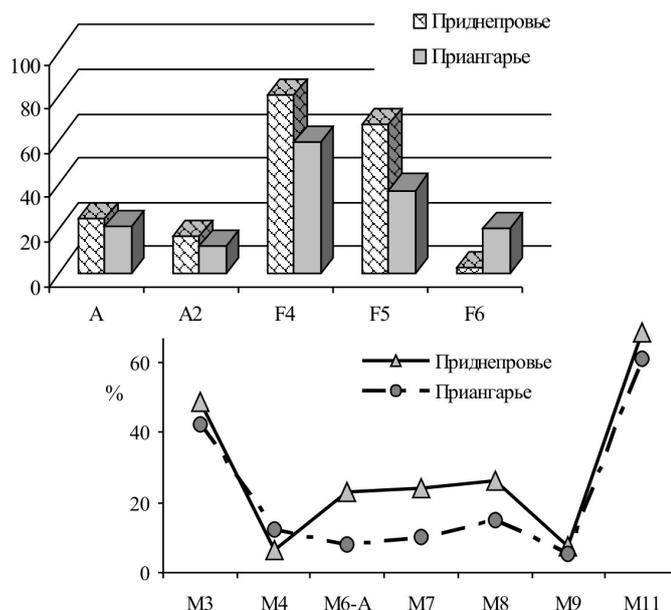


Рис. Сопоставление параметров микроструктуры лессовых отложений Среднего Приднепровья и Приангарья (Расшифровка индексов см. табл. 1.)

В результате для лессовых отложений (это лессы и лессовидные образования) данных регионов отмечена существенная их агрегированность (22–25%). Установлено, что они имеют скелетно-агрегированный (Приднепровье) и агрегированно-скелетный (Приангарье) типы микроструктуры и характеризуются практически одинаковым содержанием грубо- и тонкоглинистых частиц ($< 0,002 \text{ mm}$), полученным по данным стандартной гранулометрии (5–7%).

Отличительной чертой лессов Приднепровья является резкое преобладание в составе глинистой фракции тонкоглинистых частиц (M^{724}). Практически все агрегаты (тонко-мелкопесчаной и крупнопылевой размерности) сформированы тонкоглинистыми частицами (M^{6-A23} ; $F^5=3$), в меньшей степени – грубоглинистыми ($F^5=68 \%$) и мелкопылевыми ($F^4=81\%$). Кроме того, на фоне преобладания структурных элементов пылевой размерности ($M^{11}68,3 \%$) отмечается пониженное содержание мелкопылевых ($M^46,3 \%$) частиц. Реальное содержание глинистой фракции ($< 0,002 \text{ mm}$), включающее

первичные частицы и частицы в составе агрегатов, достигает 26%. Среди первичных частиц преобладают крупнопылеватые (48,5%) и тонко-мелкопесчаные (17,2%), имеющие полную свободу ($F^3=100\%$; $F^4=100\%$).

Лессовидные отложения Приангарья характеризуются повышенным содержанием мелкопылеватых частиц ($M^4 12,5\%$). В строении агрегатов принимают участие различные фракции: тонкоглинистые ($M^{6-A} 8,0\%$; $F^6=21\%$), грубоглинистые ($M^{5-A} 5,2\%$; $F^5=35\%$) и мелкопылеватые ($M^{4-A} 8,2\%$; $F^4=60\%$).

Сравнительный анализ микроструктурных параметров лессовых отложений Среднего Приднепровья и Приангарья, полученных по данным метода «Микроструктура», позволяет сделать следующие выводы.

- Микроструктурные особенности лессов днепровского горизонта Приднепровья и лессовидных образований Приангарья оказались идентичными по типу структурной модели (крупнопылеватая элементарная) и близкими по типам микроструктуры.

- Лессы Приднепровья отличаются повышенным содержанием глинистой фракции, при этом в ее составе резко преобладает тонкоглинистая разновидность.

- Различия в параметрах микроструктуры лессовых образований данных регионов могут быть обусловлены условиями их формирования и особенностями современных ландшафтно-климатических обстановок.

Литература

1. Краев В. Ф. Инженерно-геологическая характеристика пород лессовой формации Украины. – Киев: Наукова думка, 1971.
2. Ларионов А.К., Приклонский В.А., Ананьев В.П. Лессовые породы СССР и их строительные свойства. – М: Госгеолтехиздат, 1959.
3. Ломтадзе В.Д. Физико-механические свойства горных пород. Методы лабораторных исследований. – Л.: Недра, 1990.
4. Осипов В.И. Понятие «структура грунта» в инженерной геологии // Инженерная геология. – 1985. – № 3. – С. 4–18.
5. Ряценок Т.Г. Региональное грунтоведение (Восточная Сибирь). – Иркутск, 2010.
6. Ряценок Т.Г. Микроструктура и свойства дисперсных грунтов (опыт применения кластерного анализа) // Изв. ВУЗов. Геология и разведка. – 2013. – № 3. – С. 39–45.
7. Ряценок Т.Г., Ухова Н.Н., Слагода Е.А. Изучение проблемных геолого-литологических разрезов глинистых отложений с применением грунтоведческих критериев // Отечественная геология. – 2009. – №4. – С. 61–67.
8. Ряценок Т.Г., Ухова Н.Н., Штельмах С.И. и др. Гипотезы формирования бурых суглинков Приморья: ретроспектива и новый взгляд (Дальний Восток России) // Тихоокеанская геология. – 2011. – № 3. – С. 80–92.
9. Шаевич Я.Е. Цикличность в формировании лессов. Опыт системного подхода. – М.: Наука, 1987.

ИНДУКТИВНАЯ МОДЕЛЬ ПРОСАДОЧНЫХ СВОЙСТВ МАССИВА

Т.П. Мокрицкая*, В.М. Шестопапов**, Л.С. Коряшкина*

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

** Институт геологических наук НАНУ, Украина, Киев, ул. О. Гончара 55б,
vsh@hydrosafe.kiev.ua

Постановка проблемы. Деградация просадочных свойств массива, в условиях городских природно-техногенных систем, является результатом комплексных изменений состава и свойств горных пород в результате действия гравитационных, электромагнитных, термических и др. сил. Реализация положений классификации техногенных воздействий [4] для решения прикладных задач анализа и прогноза изменений грунтов не всегда возможна, в том числе, из-за утраты необходимой информации о техногенных воздействиях. В этом случае моделирование процесса изменений можно осуществить посредством индуктивного моделирования. Сочетание методов стохастического и индуктивного моделирования позволяет решить некоторые прикладные задачи по оценке и прогнозу деформаций массива.

Широко распространенными на территории Украины являются отложения перигляциальной формации, обладающей предрасположенностью к просадкам [2]. Под просадочностью понимают «свойство ... лессовых пород... проявляющееся при замачивании под давлением в форме быстрого уплотнения» [1]. В качестве количественных показателей широко используют прогнозные величины деформаций образца, слоя и массива, рассчитанных методами механики грунтов. При классическом подходе объектом изучения является грунт как сплошная или, реже, дискретная среда [5]. Деградация просадочных свойств, являющаяся результатом сопряженных изменений агрегатного состава, структуры состояния по влажности, не учитывается.

Фактический материал. Используются данные о свойствах верхнего причерноморско-дофиновского нерасчлененного горизонта *ed*, *vP_{шпч}*, *df*, полученных за 1964 – 2007 гг. на территории г. Днепропетровска различными предприятиями инженерно – геологического профиля. Для апробации выделен участок с прямоугольными границами. Привлечены данные определений физических свойств по 167 скважинам за период 1964-2007 гг.

Методика исследований. Выполнено создание имитационной модели деградации просадочных свойств как следствие изменений во времени свойств горизонта, входящего в зону влияния сооружений различного назначения. При создании модели проверялись различные варианты представления исходных данных: как средних значений по слою из скважины и как частных значений случайной выборочной совокупности. Выделены этапы по интен-

сивности техногенных воздействий, отражающиеся в степени организованности реактивных изменений свойств лессовых отложений [3]. Зоны были выделены как территориальные элементы, отличающиеся интенсивностью приращений природной влажности горизонта в многолетнем ряду наблюдений.

Основные результаты исследований. Статистический анализ показал, что указанные способы представления данных применимы для решения поставленных задач. Распределения данных, представленных средними значениями природной влажности, рассчитанных в объеме горизонта, по скважинам (первый способ представления данных), на протяжении первого этапа неоднородны и несимметричны, несмотря на подавляющую однородность распределения других показателей. На протяжении второго этапа распределение природной влажности подчиняется нормальному закону, но корреляции между влажностью и другими переменными слабые, на третьем этапе регрессионные связи не восстанавливаются. Обработка массива частных значений (второй способ представления данных) показала, что достоверность прогнозных результатов регрессионного анализа выше, как следствие большей однородности и симметричности распределений. Первый способ представления данных использован при построении моделей распределения природной влажности, второй – при парном регрессионном анализе факторных переменных и относительной просадочности.

Анализ пространственной неоднородности распределения природной влажности выполнялся с привлечением ПО “Surfer” – 10, trial – версия. Выполнено построение картографических моделей распределения природной влажности на протяжении заданного этапа (I, II, III) в масштабе 1:25 000, способ интерполяции – кригинг. Простейшие операции с моделями (построение разностных карт), позволили выделить подзоны А и В, отличающиеся интенсивностью приращений природной влажности горизонта.

Получены парные регрессионные модели, связывающие факторные переменные на определенном этапе. Для расчета значений относительной просадочности горизонта на протяжении определенного этапа в объеме подзоны привлекались уравнения с наивысшими параметрами, включая модели, построенные по всей совокупности данных.

Создание моделей относительной просадочности выполнено методом группового учета аргументов, с использованием программного обеспечения, разработанного Л.С. Коряшкиной [2]. Индуктивное моделирование зависимости относительной просадочности на ступени давления $0,3 \text{ МПа } \varepsilon_{SL}$, д. ед., от глубины отбора z , м, года от начала ряда t , год, природной влажности, пределов пластичности, плотности грунта и частиц, г/см^3 , выполнялось в различных вариантах задания переменных и формирования выборочных данных. Рассматривались варианты: в объеме горизонта без деления на подзоны и этапы, с делением исходной выборки по подзонам и этапам, при двух описанных вариантах представления данных (среднее в объеме слоя в скважине, частные значения) и различных способах группировки данных (по годам, по

значениям относительной просадочности). Были получены модели, описывающие процесс деградации в объеме формации и слоя (рис. 1).

В аналитическом виде оптимальная функция – индуктивная модель зависимости относительной просадочности от факторных переменных, выражается уравнением третьей степени. Из-за громоздкого вида уравнение не приводится. Значения влажности задавались по результатам оцифровки моделей распределения природной влажности. Значения факторных переменных (показателей свойств) были рассчитаны по уравнениям парной регрессии, характеризующих связь между природной влажностью и факторными переменными в подзоне (А или В) на протяжении этапа. Значения относительной просадочности были рассчитаны по оптимальной модели.

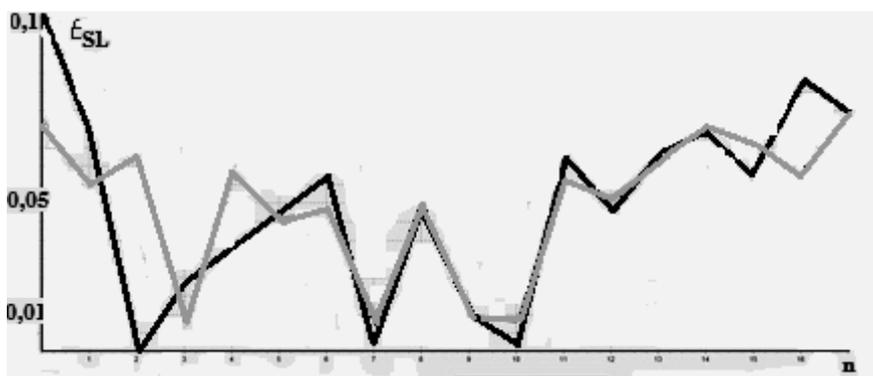


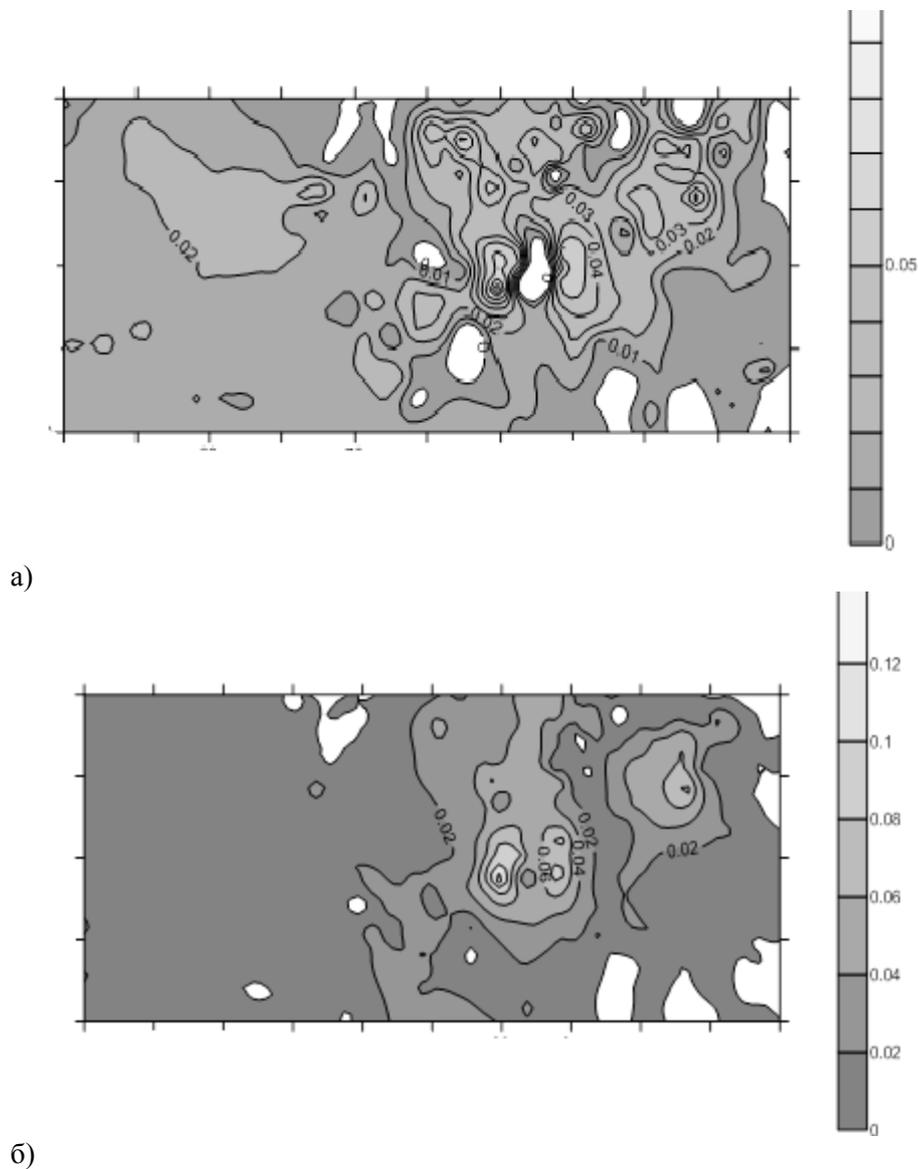
Рис. 1. График сходимости оптимальной и интерполяционной функций зависимости относительной просадочности от факторных переменных

Примечания: — фактические данные;
 - - - - - оптимальная функция.

Значения глубины принимались во всех случаях 2,0 м. По данным сплайн – интерполяции результатов документирования 290 скважин была построена карта мощности причерноморско-дофиновского горизонта

В результате преобразования моделей относительной просадочности и мощности горизонта получены модели максимальной просадки (рис. 2). Величина разности между значениями максимальной просадки в начальный и конечный этапы характеризует максимально возможные реализованные деформации просадки и совершенную механическую работу. Величина разности изменяется от 0,02 до 0,12 см, что указывает на необходимость учитывать при проектировании процесс деградации просадочных свойств.

Для создания прогнозной карты на 2017 год (рис. 3), было рассчитано среднее значения влажности полного водонасыщения по данным за последний (III) этап. Максимально возможное повышение природной влажности определяется разностью между влажностью полного водонасыщения и частным значением.



б)

Рис. 2. Модели а) расхода способности к деформациям просадки при давлении 0,3 МПа, за период 1976 – 1991 гг. б) то же, за период 1956 – 2007 гг.

Примечания: 1. 0,05 – изолиния; 2. Области отсутствия просадочности выделены по отсутствию цвета.

В границах зоны А задано повышение влажности на 30% от максимально возможного. В границах зоны В повышение влажности не задавалось. Прогноз показывает, что к 2017 году способность горизонта к просадочным деформациям будет практически реализована.

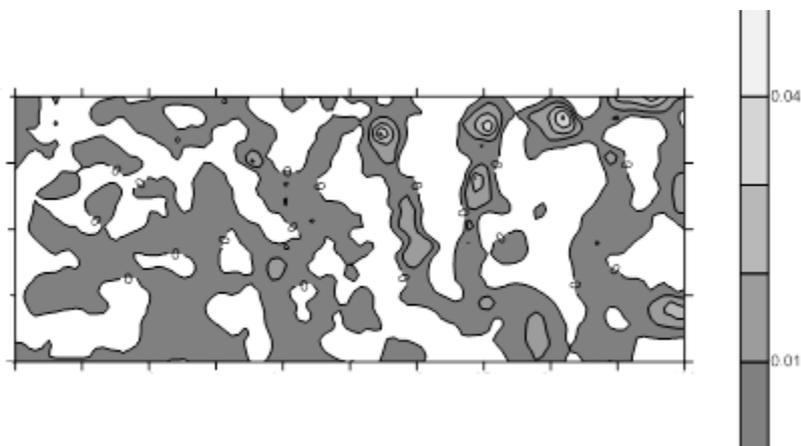


Рис. 3. Прогнозные деформации просадки (0,3 Мпа, 2017 г.).

Выводы

1. Индуктивное моделирование процесса деградации просадочных свойств отражает направленность и необратимость изменений грунтов в ходе эволюции (деградации) при техногенезе.

2. Величина разности между значениями максимальной просадки, возможной в начальный и конечный этапы характеризует максимально возможные реализованные деформации просадки и совершенную механическую работу. Величина реализованных деформаций изменяется от 0,02 до 0,12 см.

Литература

1. *Иванов И.П.* Инженерная геодинамика. – С.-П: Наука, 2000. – С. 353.
2. *Краев В.Ф.* Инженерно-геологическая характеристика пород лессовой формации Украины. – К: Наукова думка, 1971. – 226 с.
3. *Мокрицкая Т.П.* Закономерности деградации свойств лессового массива в условиях техногенеза / Т.П. Мокрицкая // Геологический журнал. – 2013. – № 1. – С. 73-79.
4. *Трофимов В.Т., Королёв В.А., Герасимова А.С.* Классификация техногенных воздействий на геологическую среду // Геоэкология. – 1995. – № 5. – С. 96-107.
5. *Цытович Н.А.* Механика грунтов / Н.А. Цытович. – М.: Госстрой, 1963. – 636 с.

ГЕНЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ИЗУЧЕНИЯ ПРИРОДЫ ПРОЧНОСТИ ГОРНЫХ ПОРОД УГЛЕНОСНЫХ ОТЛОЖЕНИЙ КУЗБАССА

В.Е. Ольховатенко

Томский государственный архитектурно-строительный университет, кафедра инженерной геологии и геоэкологии, 634003, пл. Соляная 2, кор.2, E-mail: igg@tsuab.ru

Одной из актуальнейших проблем современной инженерной геологии является выяснение природы прочности различных генетических типов горных пород, без решения которой невозможно осуществлять научное прогнозирование инженерно-геологических условий строительства различных сооружений.

Выяснение природы прочности горных пород угленосных отложений Кузбасса, потребовалось в связи с оценкой инженерно-геологических условий строительства и устойчивости бортов крупных углеразрезов. С этой целью детально изучены состав и физико-механические свойства пород балахонской и кольчугинской серии, находящихся на различных стадиях катагенетических преобразований [1,2].

Влияние гранулометрического состава горных пород угленосных отложений балахонской и кольчугинской серий на их прочность

Гранулометрический состав является отражением условий осадконакопления и существенно отличается для пород различных геолого-генетических комплексов угленосных отложений Кузбасса.

Анализ результатов изучения гранулометрического состава показал, что в пределах одних и тех же литологических типов пород, находящихся на одинаковых стадиях преобразования и развитых в одних и тех же геотектонических зонах, гранулометрический состав пород практически не влияет на их прочностные показатели. И лишь для алевролитов кольчугинской серии, находящихся на ранней стадии катагенеза и вмещающих угли марок Д и Д-Г, с увеличением алевролитовой фракции наблюдается тенденция к снижению предела прочности на одноосное сжатие и угла внутреннего трения, в то время как сцепление существенно не изменяется. И, наоборот, увеличение псаммитовой фракции приводит к росту угла внутреннего трения и некоторому снижению сцепления.

По мере же возрастания стадии катагенетических преобразований влияние гранулометрического состава на прочность пород резко падает. Это подтверждается результатами исследований, в процессе которых установлено, что между пределом прочности на одноосное сжатие и процентным содержанием обломочных частиц различных размеров связь отсутствует.

Это объясняется тем, что в процессе катагенетических преобразований шло формирование новых структурных связей в горных породах в результате

замещения обломков полевых шпатов и эффузивов карбонатами, а также глинистого вещества цемента карбонатным. Одновременно наблюдались процессы растворения обломков кварца и переотложение последнего, в результате чего образовывались регенерационные наросты и каемки. Шло также формирование конформно-регенерационных, гранобластовых и микроетиллолитовых структур, и чем выше стадия преобразования, тем интенсивнее протекали эти процессы. Благодаря появлению новых типов структур и структурных связей, сглаживаются различия в углах внутреннего трения пород, обусловленные различиями в гранулометрическом составе последних.

Влияние состава обломочной части на прочность горных пород

Исследованиями установлено, что на низких стадиях преобразования алевролитов кольчугинской серии наиболее существенное влияние на прочностные показатели оказывают обломки эффузивов и осадочных пород, с увеличением которых предел прочности на одноосное сжатие и сцепление заметно снижается.

На средней стадии катагенетических преобразований, соответствующей коксовым углям в песчаниках балахонской серии, распространенных в Присалаирской полосе интенсивной линейной складчатости, наблюдается совсем иная картина. Для этих пород характерно интенсивное замещение полевых шпатов карбонатами, коррозия кварцевых зерен, образование регенерационных оторочек на обломках кварца, замещение глинистого цемента карбонатным веществом. Чем интенсивнее протекают эти процессы, тем в большей степени они способствуют образованию катагенетических карбонатов в форме замещения обломков. Одновременно происходит образование новых, более прочных структурных связей между обломочными частицами и цементом пород. Таким образом, на данной стадии преобразований содержание псевдоморфных карбонатов в породах может служить индикатором интенсивности катагенетических процессов и формирования более прочных структурных связей. Высокое же содержание в породах обломков кварца и полевых шпатов, их хорошая сохранность свидетельствуют о том, что катагенетические процессы протекали более замедленно, а следовательно, и прочность таких пород ниже. Наглядным подтверждением вышесказанному служат результаты исследований состава песчаников балахонской серии, вмещающих жирные и коксово-жирные угли. Из приведенных данных видно, что при высоком содержании кварца и полевых шпатов песчаники имеют наименьшее значение сцепления и угла внутреннего трения. По мере уменьшения последних и возрастания содержания обломков карбонатов прочностные показатели возрастают.

Влияние химического состава горных пород на их прочность

Выяснение влияния химического состава горных пород на прочность структурных связей осуществлялось на основании изучения полного химического состава с определением процентного содержания SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , MgO_3 , CaO , K_2O , Na_2O различных литологических типов пород Кузбасса, на-

ходящихся на различных стадиях катагенеза и распространенных в различных геотектонических зонах. Одновременно определились прочностные показатели ($\sigma_{сж}$, σ_p) и устанавливалась связь между последними и показателями химического состава. Анализ полученных данных показал, что содержание различных окислов в горных породах оказывает различное воздействие на их прочность. Следует отметить, что из рассмотренных около 200 парных корреляционных связей только в четырех случаях установлена тесная корреляционная связь, а значение коэффициентов корреляции превышает 0,75. Так, для алевролитов кольчугинской серии, находящихся на стадии преобразования, соответствующей газовым углям, установлено достоверное увеличение $\sigma_{сж}$ с возрастанием в породах Fe_2O_3 и одноименное уменьшение данного показателя с увеличением Na_2O . Это можно объяснить тем, что на ранних стадиях диагенеза и катагенеза в горных породах Кузбасса шло образование сидерита. Присутствие Na_2O может служить признаком незначительных изменений на этих стадиях плагиоклазов, которые на более поздних стадиях замещаются карбонатным веществом.

Влияние состава цемента на физико-механические свойства горных пород

В породах кольчугинской серии развиты глинистый, глинисто-карбонатный и карбонатный цемент. Исследованиями установлено, что состав и процентное содержание выделенных разновидностей цемента существенно зависят от степени и интенсивности катагенетических преобразований. В горных породах, находящихся на низких стадиях преобразования (марка углей Д), в составе глинистой цементирующей массы преобладает каолинит, встречается монтмориллонит и гидрослюда. На более высоких стадиях преобразования идет процесс образования вторичных гидрослюдов (гидромусковита) и исчезают каолинит и монтмориллонит, которые на стадиях, соответствующих полуантрацитам и антрацитам, совершенно отсутствуют. Среди вторичных минералов в составе цемента появляется серицит и хлорит.

Прочность цементации обломочных частиц глинистым цементом оказалась самой низкой при прочих равных условиях на стадии преобразования, соответствующей длиннопламенным углям. По мере возрастания степени преобразования, прочность пород возрастает, но почти никогда не бывает выше прочности пород с карбонатным цементом.

Карбонатный цемент представлен преимущественно доломитом, реже встречается кальцит. Развиты также породы, цемент которых целиком состоит из сидерита. По своему происхождению карбонатный цемент, как правило, катагенетический, особенно на высоких стадиях преобразования горных пород. Прочность горных пород с карбонатным цементом при прочих равных условиях самая высокая. Причем изменение прочности на различных стадиях катагенетических преобразований и в пределах различных геотектонических зон подчиняется той же самой закономерности, что и для пород с глинистым цементом. Но у последних она всегда остается ниже, чем у первых. Промежуточное положение по своим прочностным параметрам занимают породы с

глинисто-карбонатным и карбонатно-глинистым цементом, который часто представляет результат частичного замещения глинистого цементирующего вещества карбонатным.

Для обломочных сцементированных пород балахонской серии характерны более существенные изменения в составе, происходящие под влиянием процессов катагенеза. Однако, как и в породах кольчугинской серии здесь встречаются, главным образом, три разновидности цемента: глинистый, глинисто-карбонатный и карбонатный. По своему составу глинистый цемент в отличие от пород кольчугинской серии исключительно представлен гидрослюдами (гидромусковитом) и серицитом. Встречается также хлорит, и совершенно отсутствуют каолинит и монтмориллонит. Последнее объясняется более существенными вторичными изменениями, которые претерпели горные породы балахонской серии на стадии катагенеза. Карбонатный цемент представлен катагенетическими минералами, чаще всего доломитом, редко кальцитом и сидеритом. Наиболее прочными оказались обломочные сцементированные породы с карбонатным цементом, а среди последних песчаники, самыми слабыми являются породы с глинистым цементом. Все вышеизложенное позволяет утверждать, что для пород Кузнецкого бассейна решающее влияние на прочность структурных связей оказывает состав цемента. В связи с этим классифицирование горных пород Кузбасса с целью оценки их устойчивости в бортах карьеров должно проводиться с учетом состава цемента пород.

Изменение прочностных свойств горных пород под воздействием катагенеза и регрессивного литогенеза

Катагенетические изменения горных пород Кузбасса, происходит под влиянием высокого давления, температуры и при активном участии поровых растворов и подземных вод. Роль подземных вод в общем процессе катагенетических преобразований горных пород исключительно велика. Состав подземных вод и поровых растворов во многом определяют интенсивность замещения плагиоклазов с образованием вторичных глинистых минералов и карбонатов. Это приводит не только к изменению состава и характера структурных связей пород, но и дает начало образованию гидрокарбонатно-натриевого типа подземных вод угольных месторождений Кузбасса. Важным источником поступления карбонатного вещества могли служить обломки карбонатных пород, при взаимодействии которых с CO_2 происходило их растворение и переход карбонатов в подземные воды. На ранней стадии катагенетических преобразований горных пород наряду со свободной поровой кристаллизацией карбонатов происходит интенсивная коррозия обломочного материала. На более поздних стадиях катагенеза в горных породах Кузбасса происходит перекристаллизация карбонатов под большим давлением. Это сопровождается замещением глинистого вещества цемента карбонатным и образованием монокристаллов карбонатов. Одновременно наблюдается замещение плагиоклазов, обломков эффузивов и сланцев карбонатным веществом. Вследствие высокого давления образуются новые типы структурных

связей в виде микростиллолитовых швов. В конечном счете, это приводит к существенным изменениям прочности горных пород. Исследованиями установлено, что среди угленосных отложений Кузбасса самой высокой прочностью обладают обломочные цементированные породы балахонской серии, а среди последних – песчаники с карбонатным цементом. Тектонические движения, проявившиеся с наибольшей силой в зоне интенсивной линейной складчатости Присалаирской полосы Кузбасса, в постинверсионный период привели к значительному снижению прочности структурных связей, но не оказали существенного влияния на физические свойства пород. Поэтому породы балахонской серии, распространенные в этой зоне и находящиеся даже на более поздней стадии катагенеза, часто имеют более низкую прочность, чем породы, вмещающие коксовые угли, но развитие в Пригорношорской зоне моноклиналей Кузбасса.

Изменения физико-механических свойств горных пород Кузбасса на различных стадиях литогенеза приведены в таблице 1.

Таблица 1

Стадии литогенеза	Типы пород	ρ , г/см ³	n, %	$\sigma_{сж}$ МПа	ϕ , град	C, МПа	
Конечный диагенез	Песчаники	2.01	36.0	0.16	21	0.05	
	Алевролиты	2.10	33.6	0.13	29	0.04	
Катагенез	Начальный	Песчаники	2.36	14.0	3.13	41	0.77
		Алевролиты	2.38	13.2	3.16	41	0.70
	Средний	Песчаники	2.47	8.2	4.91	41	1.16
		Алевролиты	2.47	9.5	4.05	39	0.85
	Конечный	Песчаники	2.53	6.2	7.57	38	1.69
		Алевролиты	2.49	5.3	6.54	38	1.57
Метагенез	Песчаники	2.56	4.8	5.26	35	1.34	
	Алевролиты	2.50	5.0	5.08	36	1.08	

Полученные результаты исследований использованы при разработке инженерно-геологической классификации горных пород Кузбасса и оценке их устойчивости в бортах угольных карьеров.

Литература

1. Ольховатенко В.Е., Трофимова Г.И. Закономерности формирования физико-механических свойств горных пород угленосных отложений Ерунаковского района Кузбасса // Вестник КузГТУ. – 2013. – № 5. – С. 136-142.
2. Ольховатенко В.Е., Трофимова Г.И. Формирование физико-механических свойств горных пород угленосных отложений Кузбасса при литогенезе. Кучинские чтения / Материалы юбилейной научной конференции, посвященной 120-летию со дня рождения профессора М.И. Кучина (Томск, 23-25 октября 2007 г.). – Томск: Изд-во ТГАСУ, 2007. – С. 25-28.

КРИТЕРИИ ПРОЧНОСТИ И ДЕФОРМИРУЕМОСТИ ГРУНТОВ В МАССИВЕ

Г.П. Постоев

Институт геоэкологии им. Е.М. Сергеева РАН, 101 000, г. Москва, Уланский пер., д. 13, стр. 2.
E-mail: opolzen@geoenv.ru

Грунт в массиве находится в сложном напряженном состоянии, нередко не совсем ясным. В связи с этим несущая способность и деформационное поведение грунта в массиве могут иметь значительные отличия от соответствующих данных и закономерностей, полученных при лабораторных испытаниях образцов грунта.

При исследовании грунтов существует проблема «масштабного эффекта», определяющего особенности перехода от «образца» к «массиву». Эти особенности связаны с проявлением в массиве микро- и макронеоднородности разных уровней и, соответственно, с построением структурных моделей, адекватно отражающих геологическое строение массивов, природные и техногенные условия, определяющие прочность грунтов в массиве, используемую в расчетах для решения инженерных задач.

Одной из основных проблем механики грунтов, инженерной геологии и геоэкологии является определение реальной прочности грунта в массиве в условиях его естественного залегания, параметры которой можно использовать в расчетах устойчивости и деформирования грунтовых массивов во взаимодействии с сооружениями и как среды проявления опасных геологических процессов.

Опыт применения разнообразных численных и аналитических моделей для геотехнических расчетов, как показывают дискуссии на геотехнических совещаниях, свидетельствуют о необходимости совершенствования применяемых моделей не столько в части применяемого математического аппарата, сколько в учете реальных процессов, происходящих в грунтовом массиве в результате силового воздействия на него.

Известно, что прочность и деформируемость грунта – взаимосвязанные характеристики. **Первым важнейшим критерием прочности** связных грунтов является предел структурной прочности, который часто именуют структурной прочностью. 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. 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 через значения φ и c :

$$\sigma_{str} = 2c \cdot \operatorname{tg}(45 + \varphi/2). \quad (1)$$

Экспериментально значение σ_{str} может быть получено из испытания грунта на одноосное сжатие – как предельное давление на образец грунта.

Структурная прочность может быть определена также из испытаний грунта на стабилометре М-2 по диаграмме бокового распора в соответствии с методикой, разработанной профессором Е.И. Медковым [2].

При $\sigma_1 \leq \sigma_{str}$ грунт практически не уплотняется, что отмечается многими исследователями. Согласно исследованиям П.А. Ляшенко [1] в компрессионном испытании при $\sigma_1 > \sigma_{str2}$ когда давление сжатия грунта превышает его структурную прочность, происходит дробление грунта на множество клиньев. И в штамповых испытаниях образуются те же клинья, плотно прилегающие друг к другу. По мнению П.А. Ляшенко, результатом появления «первой тотальной поверхности скольжения» является резкое увеличение сжимаемости.

Таким образом, структурная прочность является важнейшей характеристикой грунта, определяющей сопротивление внешнему давлению структурных связей между частицами грунта, структурного каркаса.

Практически уплотнение грунта происходит только тогда, когда давление на грунт превышает структурную прочность, т.е. начинает действовать первый критерий (1).

Вторым критерием является условие прочности грунта по Кулону-Мору:

$$\frac{\sigma_1 - \sigma_3}{\sigma_1 + \sigma_3 + 2c \cdot \operatorname{ctg} \varphi} = \sin \varphi, \quad (2)$$

где σ_1 и σ_3 – главные напряжения, $\sigma_1 > \sigma_2 \geq \sigma_3$, φ и c – эффективные значения угла внутреннего трения и сцепления грунта.

Выражение (2) нередко называют условием прочности грунта в образце или в точке. 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 (2).

При этом полагается, что сжатие грунта происходит при отсутствии поперечных деформаций (компрессионные испытания), т.е. в жесткой обойме с измерением бокового давления (распора) σ_3 .

Выражение (2) может быть записано также с учётом (1) следующим образом:

$$\frac{\sigma_3}{\sigma_1 - \sigma_{str}} = \operatorname{tg}^2(45 - \varphi/2). \quad (3)$$

Критерий Кулона-Мора (3) характеризует также исходное состояние грунта в массиве с горизонтальной дневной поверхностью на глубине z_i , ко-

гда главное вертикальное напряжение $\sigma_1 = \gamma z_i$, (давление от веса вышележающей толщи) превышает структурную прочность грунта на данной глубине, а горизонтальные главные напряжения равны

$$\sigma_2 = \sigma_3 = m (\gamma Z_i - \sigma_{str}), \quad (4)$$

где $m = \tan^2(45 - \varphi/2)$.

Следует отметить, что в исходном состоянии в массиве на горизонтальных площадках соблюдаются условия компрессии и в допредельном состоянии (при отсутствии локальных силовых возмущений) в каждой точке площадки при $\sigma_1 = \gamma z_i = \text{const}$ (вертикальное наибольшее активное напряжение) горизонтальное напряжение мобилизуется в соответствии с (4) и (3) до предельного значения. Любое изменение соотношения между главными напряжениями на локальном участке приводит к росту вертикальных (осевых) деформаций за счёт **бокового деформирования** грунта.

Таким образом, при давлениях на грунт, превышающих его структурную прочность, сопротивляемость грунта внешним нагрузкам и его деформируемость зависят не столько от исходных свойств и специфики грунта (прочность, вязкость, особенности ползучести и т.д.), сколько от напряжённого состояния при силовом воздействии на массив на локальном участке, в частности от соотношения главных напряжений в точках массива.

Силовое возмущение возникает при локальном увеличении или снижении вертикального давления в соответствующих зонах массива. Силовое возмущение всегда имеет ограниченные размеры зоны своего воздействия на массив, в которой происходит изменение исходного напряжённого состояния массива. Например, от давления фундамента, штампа изменяется напряженно-деформированное состояние (НДС) в зоне массива, зависящее от размеров фундамента, штампа, закономерностей формирования сжимаемой толщи и области возможного выпора грунта.

Карстовые деформации происходят над карстовой полостью. Оползневой очаг формируется также в ограниченной части склона, где, например, массив «подрезается» эрозионным процессом.

Возникновение силового возмущения в виде локального снижения $\sigma_1 = \sigma_z$ вызывает образование вокруг источника возмущения динамичной зоны (р), по границе которой происходит изменение НДС во взаимодействующих частях массива.

В этом случае должна решаться пространственная задача предельного равновесия массива в точках на глубине по некоей криволинейной границе, оконтуривающей зону (р) на исследуемом горизонте. Рассматривается взаимодействие между силами σ_{3a} – бокового распора активной зоны (а), окружающей локальный участок, (σ_{3a} направлены нормально к фронту силового возмущения) и силами мобилизованного отпора зоны (р), которые на данном горизонте нормальны к граничной кривой между зонами [3].

Уравнение предельного состояния – **критерий прочности грунта в массиве при возникновении силового возмущения** в виде снижения вертикального напряжения в локальной области (р) – выводится из рассмотрения

равновесия сил, действующих в произвольных точках на криволинейной границе между зонами (a) и (p), на горизонтальной плоскости на глубине Z , проектируя их на оси X и Y и принимая $\sum X = 0$ и $\sum Y = 0$ [3].

$$\sigma_{1a} - \sigma_{str} = \frac{\alpha}{1 - \cos \alpha} \cdot \sigma_{1pcr} \frac{1 + \frac{1}{R}}{1 - \frac{1}{R}}, \quad (5)$$

или через угол β :

$$\sigma_{1a} - \sigma_{str} = \frac{\frac{\pi}{2} - \beta}{1 - \sin \beta} \cdot \sigma_{1pcr} \frac{1 + \frac{1}{R}}{1 - \frac{1}{R}}, \quad (6)$$

где α – угол наклона радиуса кривизны кривой, проходящего через рассматриваемую точку к фронту силового возмущения, а β – угол отклонения упомянутого радиуса кривизны от нормали к фронту силового возмущения, проходящей через его центр.

Уравнения (5) и (6) означают, что в связи с возникновением силового возмущения в массиве в виде разгрузки напряжений в ограниченном объёме, на горизонте массива (глубиной Z_a , со структурной прочностью грунта σ_{str} на этой глубине) горизонтальные напряжения в зоне (p) по ее границе радиусом R , и соответственно величина вертикального давления (пригрузки) в зоне силового возмущения, достигли критических значений.

Влияние значений среднего главного напряжения в зонах (a) и (p) проявляется в виде соответствующих множителей $(1 - 1/R)$ – в зоне (a) и $(1 + 1/R)$ – в зоне (p).

Криволинейная граница между зонами (a) и (p) имеет постоянный радиус кривизны $R = \text{const}$, т.е. на рассматриваемом горизонте она представлена окружностью. Это вытекает из исходного равенства наименьших и средних напряжений на глубине Z_i по условию (4) во всех точках границы между зонами (a) и (p), что достигается при постоянной кривизне границы.

Таким образом, проявлению разрушительных деформаций при образовании оползневого массива или карстового провала предшествует достижение предельного состояния в ограниченной области массива в соответствии с изложенным механизмом трансформации исходного состояния массива и новыми критериями (5) и (6) прочности грунта в массиве. Указанные критерии конкретизированы для соответствующих типов оползней и для различных условий формирования карстового провала в районах распространения карстующихся пород [3].

Для оценки предельного давления по подошве фундамента и расчета осадок грунтового основания рассмотрена модель изменения напряженно-деформированного состояния грунтов массива с формированием активной

зоны по границе ядра под фундаментом и пассивным отпором пригрузки γZ_i над i -ым слоем основания, сбоку от фундамента.

Закономерности деформационного поведения грунтов в предложенных уравнениях получены с использованием результатов стабилметрических испытаний песчаного грунта И.З. Лобанова (1962) с выдерживанием постоянного соотношения главных напряжений.

Основанием использования результатов испытаний песчаного грунта в общих уравнениях по определению осадки является то обстоятельство, что при давлениях, больших структурной прочности, глинистый грунт, как и песок, ведет себя как пластическое тело. Соответственно условие предельного состояния по Кулону-Мору также является общим для любых грунтов.

В итоге получена зависимость для определения осадки фундамента:

$$\delta_i \cdot 10^3 = 2,2\alpha_i^2 - 0,95 + (15,11 + 4,48\alpha_i)(\sigma_{1ai} - \sigma_{str}), \quad (7)$$

где δ_i – относительная осадка i -го слоя грунтового основания, со структурной прочностью грунта $\sigma_{str,i}$; α_i характеризует напряженное состояние на глубине Z_i по границам ядра.

Параметр α_i должен определяться соотношением между наибольшим вертикальным напряжением ($\sigma_{1ai} - \sigma_{str}$) в зоне (а), вызывающем распорное горизонтальное давление в точке на границе ядра, и наименьшим главным пассивным напряжением, препятствующем данному распорному давлению.

Таким образом, можно выделить три критерия по прочности грунта в массиве: **критерий (1)** определяет, что уплотнение грунта практически отсутствует пока $\sigma_l \leq \sigma_{str}$. **Критерий (2,3)** характеризует условие прочности грунта в массиве с горизонтальной дневной поверхностью при отсутствии локальных силовых возмущений и возможность ограниченного уплотнения при «податливости» грунта под действием активного распора, т.е. за счёт

бокового деформирования. Разрушительные деформации грунта возможны в локальной зоне, где предельное состояние определяется **критерием (5,6)** с учётом особенностей силового возмущения.

Литература

1. *Ляшенко П.А.* О деформации глинистого грунта в основании фундамента // Тр. юбилейной конф., посвященной 50-ти летию РОМГиФ. – М.: РОМГиФ, 2007. – Т. 2. – С. 114-118.
2. *Медков Е.И.* Фазы сопротивления грунта // Механика грунтов, основания и фундаменты. Тр. МИИТа. – М.: ТрансЖелдориздат, 1959. – Вып. 100. – С. 26-61.
3. *Постоев Г.П.* Предельное состояние и деформации грунтов в массиве (оползни, карстовые провалы, осадки грунтовых оснований). – М.: СПб.: Нестор-История, 2013. – 100 с.

ПЕСЧАНЫЕ ГРУНТЫ И ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКАЯ ТЕОРИЯ ЭФФЕКТИВНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ

А.Д. Потапов, И.А. Потапов

ФГБОУ ВПО «Московский государственный строительный университет»
129337 Москва, Ярославское шоссе, д.26. E-mail: geolog305@yandex.ru

В работе академика В.И.Осипова (2012) «Физико-химическая теория эффективных напряжений в грунтах» [1], излагаются новые подходы к принципам важнейшей теории формирования напряжений в грунтах. Эта теория базируется на работах К.Терцаги, а затем и работах ученых школы академика Б.В. Дерягина [1,3,4], хотя по большому счету описанное в них формирование напряжений в грунтах собственно к грунтам не относится. В них рассматриваются некие отвлеченные теоретические модели некоего абстрактного грунта, которые практически не отражает особенностей реального грунта. Работа В.И.Осипова в отличие от многих других исследований дает возможность ее применения для различных петрографических разностей грунтов. В классической механике грунтов и в грунтоведении под эффективными напряжениями в грунтах понимаются те напряжения, которые передаются на скелет грунта при приложении внешней нагрузки за вычетом порового давления. В.И.Осипов излагает новые положения физико-химического подхода к определению эффективных напряжений, но, главным образом, в глинистых грунтах. Значимость изучения глинистых грунтов с этих новых позиций сомнений не вызывает и, более того, оценивается нами исключительно высоко. Однако, в этой работе, да и в работах многих других специалистов, на наш взгляд, незаслуженно обойдены вниманием песчаные грунты, которые не менее широко распространены в поверхностной зоне земной коры и обладают не менее важными свойствами, которые должны быть учтены в инженерной практике.

Согласно утверждению В.И.Осипова «Передача напряжений в пористых дисперсных средах идет не по всей межфазной поверхности, а только в местах их наибольшего сближения – контактах. Количество и характер индивидуальных контактов – важнейшая характеристика структур, определяющая величину и характер передачи эффективных напряжений» [1, стр.47]. Рассматриваются различные геометрические типы контактов, которые образуются для структур разных грунтов: между сферическими частицами, сферическими и плоскими, между плоскими частицами. Вариантов образования разных контактов множество. Для разных грунтов преобладают те или иные типы контактов в зависимости от наличия в них частиц той или иной формы. На стр.3 работы В.И.Осипова [1] показано, что К.Терцаги не учитывал в своей теории «распределение напряжений на контактах структурных элементов» и, в частности: «особенности распределения напряжений на контактах различных геометрических и энергетических типов; существование на контактах

тонких пленок связанной воды, обладающей расклинивающим давлением; развитие на контактах различных процессов физико-химической природы, обуславливающих существование внутренних напряжений и др.»).

В ряде наших работ было установлено, что одной из важнейших структурных характеристик песков является морфология их зерен, т.е. форма частиц и их поверхность. Наиболее характерной формой песчаных частиц, приобретаемой в результате обработки и обладающей минимальной поверхностной энергией, является сфера или эллипсоид вращения и, как правило, это зерна кварца. А обусловлено это, прежде всего, тем, что в континентальных условиях накопления и переотложения образуются преимущественно кварцевые пески, реже кварцево-полевошпатовые, хотя встречаются также достаточно часто олигомиктовые и даже полимиктовые разности, что обусловлено конкретной генетической обстановкой их формирования и условиями эпигенеза. С точки зрения оценки общих морфологических особенностей песков, кроме установления формы частиц важен учет характера поверхности песчаных зерен. В свое время нами был предложен показатель морфологии песков, который комплексно описывает как особенности формы, так и характер поверхности песчаных частиц во всем исследуемом объеме песчаного грунта. Методика определения показателя морфологии изложена достаточно подробно и была использована в большом числе исследований песчаных грунтов.

В.И.Осипов пишет, «для оценки количества контактов берется любая горизонтальная поверхность... внутри пористого тела, ориентированная нормально к направлению приложения внешнего напряжения» и далее «число контактов в моделях определяется размером и формой частиц, способом их укладки и тесно связана с пористостью. Чем меньше размер частиц и плотнее их упаковка, тем больше контактов в единице площади горизонтальной поверхности» [1, стр.51]. По В.И. Осипову, «наиболее простой является глобулярная модель, предложенная П. А. Ребиндером, Е. Д. Щукиным и Л. Я. Марголисом для структур, сложенных частицами сферической формы и имеющих пористость более 48 %. Позднее эта модель была распространена на структуры с пористостью в интервале от 48 до 26%». [1, стр.52]. Рассматриваемая «глобулярная модель может быть использоваться для песков, песчаников, алевролитов и некоторых тонкодисперсных пород, структурные элементы которых (частицы, микроагрегаты) имеют форму, близкую к сферической» [1, стр.52]. Отсюда следует, что в случае изучения песчаных грунтов, предложенные зависимости также могут быть использованы. Однако, для реальных природных песков необходимо учитывать, что частицы в них могут быть самого разного диаметра, самой разной формы и количество этих различных частиц может варьировать в значительных пределах; кроме того, как и было отмечено выше, важную роль играет пористость изучаемого грунта.

Следует остановиться на следующем. В трехмерном случае при рассмотрении упаковки частиц одинакового размера в объеме может быть упаковано не более 12 шаров или эллипсоидов вращения, а это означает, что и число касаний, т.е. число контактов, также равно 12, что было известно ещё

И. Ньютону. В том случае, когда шары или эллипсоиды вращения имеют разные размеры, количество их в единице объема, а тем самым число контактов определить достаточно сложно, более того в природных песках никогда не встречаются структуры, состоящие из идеальных шаров или эллипсоидов вращения. Число зерен определяет и число точечных контактов. Таким образом, чтобы использовать положения теории В.И.Осипова о формировании эффективных напряжений в грунтах, исходя из физико-химического подхода, для природных песчаных грунтов следует учитывать их структурные особенности: гранулометрический состав и степень однородности грунта, морфологические особенности, минеральный состав. В качестве параметра, который следует изучать, в первую очередь, предлагается использовать оценку обработанности песчаных грунтов разной размерности с помощью комплексного показателя морфологии.

Предложенная теория В.И.Осипова развивается в области определения коагуляционных и фазовых контактов в песчаных грунтах, при том, что «...фазовые контакты полностью воспринимают все общие эффективные напряжения и передают их на скелет породы...». Влияние физико-химических факторов на распределение эффективных напряжений на них является минимальным и может не учитываться. В связи с этим закон Терцаги успешно применяется для крупнообломочных и большинства песчаных пород...» [1, стр. 60].

Известно, что важную роль в формировании состояния и свойств песчаных грунтов играет вода. Ряд категорий воды для песчаных разностей грунтов при этом нехарактерен, исходя из представлений об адсорбционной природе формирования этих видов воды в грунтах.

В положениях физико-химической теории большое внимание уделяется роли гидратных оболочек на контактах частиц грунтов и только попутно упоминается о контактных взаимодействиях в песках. На стр. 47 работы В.И. Осипова говорится: «Передача напряжений в пористых дисперсных системах идет не по всей межфазной поверхности, а только в местах их наибольшего сближения – контактах. Количество и характер индивидуальных контактов – важнейшая характеристика структур, определяющая величину и характер передачи эффективных напряжений». Из перечисленных далее в этой работе и в общем-то известных геометрических типов контактов для песков характерны: «контакты между сферическими частицами», по нашим представлениям контакты между эллипсоидами вращения или сферами и эллипсоидами вращения, а также контакты между сферами (эллипсоидами вращения) и плоскими частицами характерны только для слюдястых песков при большом содержании в них слюд. Контакты между плоскими частицами в песках достаточно редки. Даже при наличии в песках угловатых зерен с отдельными плоскими участками, оценивается число контактов не между отдельными частицами, а в целом, т.е. дается общая оценка контактов во всем изучаемом песке, поэтому контакты между этими отдельными плоскостями частиц не являются определяющими. В теории В.И.Осипова говорится о том, что в дисперсных

связных системах встречается три энергетических типа контактов: коагуляционный, переходный (точечный), фазовый [1,2].

В песках также возможны все три типа энергетических контактов. Преобладает, прежде всего, коагуляционный тип (для песков с природной влажностью, песков зоны капиллярной каймы и с природной плотностью), затем переходный точечный тип (для маловлажных уплотненных песков с влажностью зоны аэрации), и, наконец, фазовый тип (для плотных сухих песков и плотностью, стремящейся к предельно плотному сложению с влажностью близкой к максимальной гигроскопической). Именно коагуляционный тип энергетического контакта реализуется в песках при взаимодействии частиц с сохранением термодинамически устойчивой прослойки воды на контакте. При наличии в песках пылеватых и тем более глинистых частиц отмеченные энергетические типы контактов проявляются более отчетливо. Примером фазового контакта могут служить высушенные образцы глинистых песков, представляющие собой «псевдопесчаники»; дальнейший процесс литификации приводит уже к образованию истинных песчаников на глинистом цементе. Наличие в песках того или иного вида связанной воды во многом определяет образование коагуляционных контактов, т.к. поверхностные гидратные пленки противодействуют сближению частиц, что соответствует утверждению: «наличие на коагуляционных контактах тонких адсорбционных пленок обусловлено балансом сил притяжения и отталкивания, которые определяют существование расклинивающего давления на контакте» [1, стр.49]. Реализация эффективных напряжений в песчаных грунтах по полученным данным о формировании связанной воды вокруг песчаных частиц сферической формы осуществляется в условиях коагуляционного контакта.

Истинные контакты реализуются не только за счет соприкосновения «базальной» составляющей формы частиц, но и при соприкосновениях за счет деталей поверхности частицы. В реальных природных «песчаных» системах величины площадей коагуляционных контактов могут быть значительно большими, чем расчетные. Величины удельной поверхности песков с частицами с развитой поверхностью и пленками глинистого состава существенно больше, чем у песков с округлыми (окатанными) частицами с гладкой полированной мягкой трением в воде поверхностью, что значит, что толщина адсорбированной гидратной или сольватной оболочки также значительно больше. Это говорит о том, что зона перекрытия гидратных или сольватных пленок также увеличивается, а значит и возрастают пределы реализации расклинивающего эффекта. В целом формирование коагуляционного контакта в песчаных грунтах отвечает положениям физико-химической теории эффективных напряжений по В.И.Осипову.

Переходные контакты реализуются за счет непосредственного соприкосновения частиц и коагуляционных контактов. Истинные контакты реализуются на участках, где отсутствуют гидратные или сольватные пленки. При условии, что переходные контакты обладают свойством метастабильности, т.е. способности переходить в коагуляционный контакт, в песках на «сухих» участках, как и в случае глин, при увлажнении и снятии внешнего давления

особенно в мелких, пылеватых и глинистых разностях, химические связи разрываются и весь контакт преобразуется в коагуляционный. Естественно, что проявление разрыва химических связей в песках не настолько ярко выражено как в глинах. Однако при экспериментально установленном влиянии морфологии на формирование физически связанной воды на частицах, можно утверждать, что для песков характерны и коагуляционный и переходный тип контактов.

Следует вновь остановиться на роли структурных параметров песков в формировании плотности их сложения, исходя из того, что плотность, в сочетании с влажностью грунта в значительной мере сказывается на напряженном состоянии песчаного грунта и может определять особенности реализации эффективных напряжений. Здесь следует отметить факт того, что обработанных частиц в единицу объема укладывается больше, чем необработанных, что объясняет рост предельных плотностей сложения песков, а также число и характер индивидуальных контактов, что влияет на формирование эффективных напряжений.

Экспериментально установлено, что повышенная плотность песка при малых значениях влажности обуславливается возможностью достаточно свободной переупаковки его зерен при механическом воздействии (трамбовании) и формированием некоей «псевдогексагональной» упаковки частиц разного размера и морфологии и тем самым достижения высоких значений плотности скелета. При дальнейшем увеличении влажности уплотняемого песка, вода, которая адсорбирована на поверхности только на наиболее ее шероховатых участках и, в основном, в углах пор между зернами в их «псевдоистинных» контактах за счет менисковых сил формирует «цементирующее» действие и тем самым препятствует свободной переупаковке частиц при механических воздействиях, с учетом влияния их морфологических особенностей. Увеличение влажности до значений близких к максимальной молекулярной влагоемкости, приводит к тому, что воды, адсорбируемой на поверхности, становится количественно больше. Эта вода «скрадывает» сначала «дефекты» поверхности, а затем и мелкие «дефекты» формы и формирует квазисферы «частица-вода», что снижает влияние морфологических особенностей песков и позволяет осуществляться более свободной переупаковке частиц. При оптимальной влажности, которая несколько превышает величину максимальной молекулярной влагоемкости небольшое количество влаги образует общие водные оболочки вокруг нескольких частиц и играет роль смазки при их перемещениях под механическим воздействием, одновременно проявляет некие цементирующие свойства.

Изложенное выше имеет непосредственное отношение к положениям физико-химической теории эффективных напряжений в грунтах. Только при наличии контактов между частицами и возникают напряжения, при отсутствии контактов речи о наличии напряжений в грунте не идет.

Продолжая рассмотрение контактов различного вида и их площадей, следует сказать, что для песчаных частиц различной морфологии площадь фазового («псевдофазового») контакта может быть определена по зависимо-

стям, изложенным в работе В.И.Осипова [1]. Этот вид контакта наиболее характерен для песков с величиной влажности от воздушно-сухого состояния до влажности максимальной гигроскопичности и от нее до значений предельно плотного состояния песков в воздушно-сухом состоянии. Все это обусловливается тем фактом, что в природных условиях у песков практически не формируется абсолютно сухое состояние. Дальнейшее увеличение влажности и достижения более плотного сложения уже может привести к формированию переходного типа контакта, а далее при оптимальной влажности к образованию коагуляционного контакта.

Анализ полученных экспериментальных данных показал, что максимальные значения прочности получены при влажностях, близких к нулю (в зоне воздушно-сухого состояния), это практически зона фазового контакта, второй же максимум смещен к зоне влажности, близкой к величине оптимальной влажности. Объяснение заключено в следующем: при влажности от нуля до влажности максимальной гигроскопичности – зерна песка при приложении к ним нагрузок испытывают максимальное трение (особенно в песках с необработанными зернами) и между ними в большей мере проявляется такая компонента сцепления как «сцепление зацепления», а отсюда и максимум касательных напряжений, угла внутреннего трения и сцепления.

При некотором увеличении влажности от максимальной гигроскопичности до максимальной молекулярной влагоемкости, постепенный рост влаги на частицах за счет заполнения водой дефектов характера поверхности играет роль смазки, а отсюда и падение абсолютных значений прочности. Это на наш взгляд отвечает переходному (точечному) типу энергетического контакта.

Рассмотрение результатов ранее выполненных экспериментальных исследований на большом числе образцов песчаных грунтов различного генезиса и их теоретического анализа на базе современной физико-химической теории формирования эффективных напряжений исследований и развитие классических представлений об этих напряжениях показывает, что основные положения этой новой теории в значительной мере могут быть распространены на песчаные грунты, использование которых, как и глинистых, в инженерной практике значительно.

Литература

1. *Осипов В.И.* Физико-химическая теория эффективных напряжений в грунтах // ИГЭ РАН. – М.: ИФЗ РАН, 2012. – 74 с.
2. *Осипов В.И.* Структурные связи как основа оценки физико-механических свойств глинистых пород // Тезисы докладов 2-го Республиканского совещания «Совершенствование методов лабораторных исследований грунтов при инженерных изысканиях для строительства». – М.: Стройизыскания, 1977. – С. 29-40.
3. «Грунтоведение» 6-е изд / Колл. авт. под ред. В.Т. Трофимова. – М.: Изд. Московского ун-та; Изд. «Наука», 2005. – 1024 с.
4. *Ребиндер П.А.* Структурно-механические свойства глинистых пород и современные представления физико-химии коллоидов // Труды Совещания по инженерно-геологическим свойствам горных пород и методам их изучения. – М.: Изд-во АН СССР, 1956. – Т. 1. – С.31-44.

СПЕЦИФИКА ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКОГО И ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКОГО ИЗУЧЕНИЯ ПОРОД ЗОЛОТВАЛОВ ТЭЦ

С.В. Практика

Национальный минерально-сырьевой университет «Горный», 199106, Санкт-Петербург,
Васильевский остров, 21 линия д.2, E-mail: praktikas@mail.ru

В энергетическом балансе нашей страны весьма значительную долю составляет энергия, вырабатываемая на тепловых электростанциях (ТЭЦ), сжигающих твердое топливо. Образующиеся при сжигании твердого топлива отходы (золы и шлаки) складываются в золоотвалах в непосредственной близости от ТЭЦ, на территориях, занимающих значительные площади и прилегающих к городам. При расширении городов эти территории представляют интерес для строительства различных сооружений, в том числе, и жилых зданий.

Золоотвалы ТЭЦ сложены слабо уплотненными грунтами с низкими прочностными свойствами и содержат большие объемы загрязненной воды. Эти обстоятельства при выполнении инженерной подготовки территорий для строительства определяют необходимость проведения инженерно-геологического и гидрогеологического их изучения. Ниже будут рассмотрены особенности изучения золоотвалов применительно к сооружению, расположенному на территории квартала 9А СУН.

Территория квартала находится в северо-восточной правобережной части Невского административного района г. Санкт-Петербурга. Квартал ограничен с восточной стороны ул. Бельшева, с северной – ул. Коллонтай. На западе квартал ограничен межквартальным проездом, а на юге – ул. Подвойского. Общая площадь территории квартала 19,8 га.

До 1955 г. территория квартала, представляющая собой часть Приневской равнины, была заболочена. Поверхность территории имела абсолютные отметки около 0,5 м. После возведения дамбы, оградившей территорию от улиц Бельшева и Коллонтай, на ней начался намыв золы от ТЭЦ-2. В 90-е годы в северной половине территории на золоотвале была организована свалка строительного мусора. В результате перед началом инженерной подготовки территории квартала абсолютные отметки её поверхности изменялись от 5,9 до 12,5 м БС с уклоном на северо-восток и на 2-6 м превышали абс. отметки окружающих территорий [1].

Разработке проекта инженерной подготовки предшествовали специальные исследования, направленные на уточнение механических и водно-физических характеристик гидрозолы с учетом выявленных специфических особенностей ее химико-минералогического состава, обуславливающего способность данных отложений к самоцементации со временем и приобретение структурной прочности. Наличие жестких структурных связей в грунтах при-

дает им особое деформационное поведение, при котором до преодоления структурной прочности $\sigma_{сmp}$ грунт практически несжимаем, а при нагрузках выше $\sigma_{сmp}$ сжимаемость резко повышается.

Компрессионные опыты показали, что величина структурной прочности на сжатие $\sigma_{сmp}$ для грунтов данного золоотвала незначительная – $0,25 \text{ кг/см}^2$. Упругое деформирование грунта происходит с более низким коэффициентом сжимаемости, свыше нагрузки $0,25 \text{ кг/см}^2$ сжимаемость повышается, прослеживается почти линейный характер изменения пористости при нарастании нагрузки до $2,5 \text{ кг/см}^2$ со средним коэффициентом сжимаемости $a = 0,055 \text{ см}^2/\text{кг}$, $E_0 = 35 \text{ кг/см}^2$. Свыше нагрузки $2,5 \text{ кг/см}^2$ сжимаемость снижается: $a = 0,03 \text{ см}^2/\text{кг}$, $E_0 = 50 \text{ кг/см}^2$.

В грунтах с цементационными связями прочность на сдвиг обусловлена наличием двух видов сцепления – коагуляционного C_W и структурного $C_{сmp}$ (помимо внутреннего трения). В ненарушенном сложении проявляются обе составляющие сцепления, а при нарушении естественного сложения пород структурная составляющая необратимо исчезает. В результате сопротивление сдвигу таких пород в нарушенном и ненарушенном состоянии разное за счет величины $C_{сmp}$. В расчетах устойчивости откосов золоотвала в зависимости от ситуации учитывается либо общее сцепление пород C , либо только остаточное C_W (коагуляционное), что требует специальных исследований по выяснению величины структурной составляющей $C_{сmp}$.

Прочностные показатели гидрозолы определялись методом сдвиговых испытаний по схеме неконсолидированно-недренированного сдвига на образцах ненарушенной структуры и после нарушения. Угол внутреннего трения 19° в большей степени соответствует песчано-супесчаным грунтам, которые обычно получают для суглинков и супесей аналогичного гранулометрического состава, но естественного происхождения. Сцепление ненарушенных образцов золы – $0,20 \text{ кг/см}^2$ – не характерно для грунтов песчаного состава. Это специфическая особенность золы, обусловленная формированием жестких цементационных связей, прочность которых может быть оценена по величине структурного сцепления. В данном случае структурное сцепление в среднем $0,13 \text{ кг/см}^2$, что составляет почти 70 % от величины общего сцепления.

Гидрозола отличается от естественных песчано-супесчаных грунтов повышенной влагоемкостью – способностью удерживать на поверхности минеральных частиц и внутри микропор большое количество воды, в составе которой преобладает вода связанная. В золоотвале на территории квартала 9А-СУН влагоемкость и водоотдача гидрозолы определялись в 19-ти пунктах, примерно поровну в северной и южной ее частях. Анализ результатов лабораторного изучения влагоемкости и водоотдачи гидрозолы показал, что в северной, нагруженной насыпным грунтом, части территории квартала 9А-СУН слой гидрозолы имеет среднюю пористость, равную 51 %, и среднюю естественную влажность (весовую), равную 54 %. В том числе 43 % воды, связанной с частицами золы, и 11 % воды свободной, способной

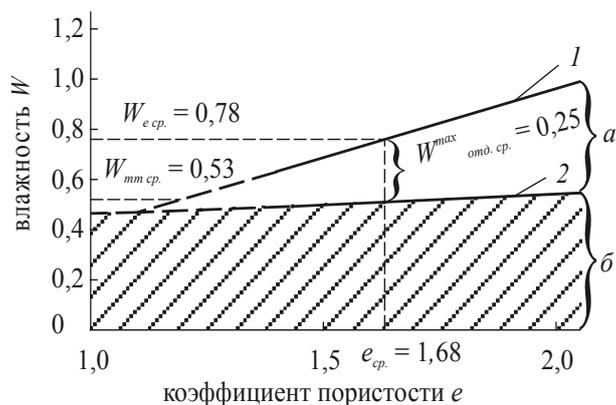
фильтроваться и вытекать из золь при дренировании. В результате, средний коэффициент гравитационной водоотдачи гидрозола в северной части территории квартала 9А-СУН, несмотря на высокую пористость и влажность, составляет всего 0,1 от объема породы ($\mu = 0,1$).

В южной части территории квартала 9А-СУН слой гидрозола не нагружен и поэтому имеет более высокую пористость, равную в среднем 65 %, и естественную весовую влажность, равную так же 65 %. При этом здесь 46 % воды связанной и 19 % свободной. Это почти в два раза больше, чем в северной части квартала. Следовательно, средняя гравитационная водоотдача гидрозола в южной, не нагруженной, части территории квартала 9А-СУН равна 0,19 ($\mu = 0,19$).

Водоотдача гидрозола, как и любой другой полностью водонасыщенной породы, зависит от плотности сложения и пористости. Чем менее уплотнен грунт, тем больше его пористость, тем выше естественная влажность, и, следовательно, в нем содержится больше свободной воды, которая в основном определяет величину водоотдачи. Вел Данную закономерность иллюстрирует график зависимости влажности от коэффициента пористости (рис.1), построенный по показателям физического состояния образцов гидрозола ненарушенной структуры и образцов, уплотненных в компрессионных приборах. Из графика видно, что величина водоотдачи для исследованных образцов может быть различной – от 0,50 (при $e = 2,04$) до 0,15 (при $e = 1,46$). При низких коэффициентах ($e=1,10$) влажность гидрозола равна величине W_{mm} , т.е. вся вода в ней связанная и водоотдача равна нулю. Средние показатели водно-физических свойств изученных образцов составляют: $e = 1,78$, $W = 0,78$, $W_{mm} = 0,53$. Следовательно, средняя величина водоотдачи изученных образцов гидрозола составляет примерно 0,25. В пересчете на более употребительный для гидрогеологических расчетов коэффициент водоотдачи μ , равный отношению объема стекающей воды к объему породы, получается, что $\mu = 0,20$. Эта величина соответствует максимальному количеству воды, которое можно удалить из зольного грунта при его дренировании после разрушения структуры [2].

Рис. 1. Определение средней величины максимальной водоотдачи $W_{отд. ср.}^{max}$ по графикам зависимости естественной влажности W_e (1) и максимальной молекулярной влагоемкости W_{mm} (2) от коэффициента пористости e :

a – вода, удаляемая из грунта при дренировании и разрушении структуры; b – вода, остающаяся в грунте (связанная на поверхности и внутри частиц)



Достоверные оценки фильтрационных параметров грунтовых массивов могут быть получены только натурными методами. Попытки выполнить опытно-фильтрационные работы на золоотвале не имели успеха вследствие низкой водоотдачи зольных отложений. Поэтому определение проницаемости гидрозолы выполнялось по результатам лабораторных исследований на образцах ненарушенного сложения с использованием двух приборов: трубки СПЕЦГЕО и компрессионно-фильтрационного прибора. Условия фильтрации в этих приборах отличаются по величине создаваемого градиента напора. В первом приборе фильтрация осуществляется при низких градиентах (от 0,1 до 1,0), во втором – при более высоких градиентах (от 0,1 до 25 и выше). Для определения расчетных параметров проницаемости зольных грунтов достаточно опытов в трубке СПЕЦГЕО, в которой условия фильтрации более соответствуют фактическим – осушение золоотвала происходит при небольших градиентах. Компрессионно-фильтрационные испытания были необходимы для определения характера изменения проницаемости гидрозолы после нарушения ее структуры.

Из результатов фильтрационных опытов видно, что в ненарушенном сложении грунт характеризуется более высокой проницаемостью, чем после разрушения структурного каркаса, что связано с уничтожением крупных фильтрационных каналов в макропористом скелете. В том и другом случае проницаемость зольного грунта снижается при уменьшении его пористости. Для ненарушенных образцов в диапазоне изменения коэффициента пористости от 2,04 до 1,6 коэффициент фильтрации уменьшается не так существенно (от 0,25 до 0,085 м/сут), как для нарушенных грунтов, у которых коэффициент фильтрации снижался на порядок от 0,15 до 0,02 м/сут. При выборе расчетного параметра проницаемости следует ориентироваться на результаты изучения ненарушенных образцов, у которых среднему значению пористости ($e=1,78$) соответствует величина $K_{\phi}=0,1$ м/сут. Эта средняя величина и даже максимальная ($K_{\phi}=0,25$ м/сут), полученная для исследованных нами образцов, оказались существенно ниже значений коэффициентов фильтрации, свойственных обычно естественным песчаным грунтам аналогичного грансостава ($K_{\phi}=0,5-1,0$ м/сут).

В ходе экспериментов выяснилось, что зольный грунт характеризуется начальным градиентом фильтрации, и его проницаемость зависит от действующего градиента напора. Интерпретация результатов опытов с целью получения величины начального градиента фильтрации I_0 заключается в зависимости скорости фильтрации V от действующего градиента напора I , где скорость фильтрации – это расход воды Q за единицу времени t через единицу площади сечения образца F , т.е. $V=Q/Ft$. Движение воды в естественных песках подчиняется закону Дарси, согласно которому скорость фильтрации прямо пропорционально зависит от коэффициента фильтрации грунта и действующего градиента напора (линейная связь). Для них начальный градиент фильтрации $I_0=0$.

Полученные в результате компрессионно-фильтрационных испытаний одного образца зольного грунта, который среди всех исследованных разно-

видностей характеризовался наибольшим значением начального градиента $I_0 = 1$ при первоначальной пористости. Этот случай не типичен для гидрозолы, т.к. большинство образцов имело начальный градиент порядка 0,1-0,2, но он позволяет, как будто в увеличенном масштабе, увидеть те закономерности, которые проявляются у всех образцов, но на маленьком участке зависимости.

Зависимость $V=f(I)$ имеет два участка: линейный, соответствующий фильтрации по закону Дарси, и искривленный – при градиентах, приближающихся к величине I_0 . В литературе начальным называется градиент напора I_0 , при котором движение воды прекращается, и скорость фильтрации равна нулю на протяжении длительного времени. Величина градиента, при которой начинается снижение фильтрационной способности грунта (коэффициент фильтрации падает на порядок, затем на два и ниже) назовем градиентом отклонения от закона Дарси и обозначим I_D . Для данного образца при естественных показателях физического состояния – коэффициенте пористости $e_0 = 1,85$ и влажности $W_0 = 0,88$ величина градиента I_D составляла 2,5, а начальный градиент I_0 был равен 1. При уменьшении в ходе компрессии коэффициента пористости до 1,6 и влажности до 0,7 величина градиента отклонения постепенно возрастала до $I_D = 3,5$ при неизменной величине I_0 . Подобные характеристики получены и для других образцов гидрозолы, но величины I_D и I_0 , как правило, были значительно меньше, составляя соответственно $0,2 \div 0,4$ и $0,1 \div 0,2$.

Изменение водопроницаемости гидрозолы при снижении градиентов напора обусловлено влиянием на фильтрационный процесс связанной воды, которая обладает повышенной вязкостью и плотностью и, занимая часть порового пространства в виде оболочек на минеральном скелете, оказывает сопротивление движущемуся потоку. При достаточно высоких градиентах напора это сопротивление преодолевается потоком, фильтрация идет с постоянными параметрами (скоростью и расходом). При снижении градиента энергия фильтрационного потока падает, фильтрация замедляется, и, наконец, наступает состояние, когда энергии становится недостаточно для преодоления сопротивления оболочек связанной воды, движение останавливается. Этому состоянию отвечает равенство действующего градиента напора и начального градиента фильтрации, при котором скорость фильтрации равна нулю. Влияние связанной воды на проницаемость тем существеннее, чем меньше пористость грунта и плотнее сомкнуты гидратные оболочки на путях фильтрации. Поэтому в образцах гидрозолы плотного сложения отклонение от линейного закона фильтрации наступает раньше (при более высоких градиентах), чем в образцах с высокой пористостью. Следует заметить, что вода, заключенная в микропорах зерен и агрегатов зольного грунта в фильтрационном процессе участия не принимает.

При инженерной подготовке территорий золоотвалов для дальнейшего использования под строительство следует учитывать, что гидрозолы являются результатом гидравлического складирования продуктов сжигания твердого топлива и, как многие намывные грунты, мало уплотнены, имеют высокую влажность, низкую несущую способность, содержат поровые воды, загряз-

ненные токсичными компонентами. Разработка технологических схем осушения и удаления отложений золоотвалов и инженерные изыскания для их обоснования должны производиться с учетом специфики состава и свойств зольных грунтов.

Литература

1. Технический отчет об инженерно-геологических изысканиях для разработки проекта строительства (квартала 9А СУН). Т. I. – СПб.: ГУП «ТРЕСТ ГРИИ», 2001.
2. *Ломтадзе В.Д.* Инженерная геология // Инженерная петрология. – Л.: Недра, 1970 – 511 с.

ОСОБЕННОСТИ АКУСТИЧЕСКИХ И ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ГАЗСОДЕРЖАЩИХ ГРУНТОВ МЕЛКОВОДНОГО ШЕЛЬФА ПЕЧОРСКОГО И КАРСКОГО МОРЕЙ

С.И. Рокос

ОАО «Арктические морские инженерно-геологические экспедиции» (ОАО АМИГЭ).
E-mail: s_rokos@amige.murmansk.ru

Введение

В мелководных районах Печорского и юго-западной части Карского морей (глубина моря менее 100-120 м) расположен ряд крупных месторождений углеводородного сырья. К их числу относятся Приразломное, Медыньское-море, Долгинское, Варандей-море и др. в Печорском море; Крузенштернское и Харасавэйское (акваториальные части площадей), Русановское, Ленинградское и др. в Карском. Указанные районы характеризуются широким распространением газосодержащих грунтов и наличием приповерхностных зон аномально высокого пластового давления. Данные факторы и связанные с ними процессы и явления существенно осложняют освоение нефтегазовых месторождений и разведку структур. Своевременное выявление и точная оценка этих факторов позволяют выработать наиболее оптимальные и эффективные проектно-технические решения при освоении нефтегазовых месторождений и разведке перспективных структур, а также предотвратить возможные аварийные ситуации.

Характеристика газосодержащих осадков

В границах мелководного шельфа Печорского и Карского морей приповерхностные грунты, содержащие свободный газ, развиты весьма широко. Они залегают в составе плейстоценовых отложений четвертичной толщи.

В пределах рассматриваемого региона четвертичная толща распространена в виде сплошного покрова мощностью до 100 м и более.

В строении четвертичной толщи принимают участие образования возрастом от эоплейстоцена до голоцена включительно. В составе четвертичной толщи преобладают (около 70% от общего объема) глинисто-суглинистые образования. Пески занимают меньшую долю (соответственно около 30%).

В границах открытой акватории мелководного шельфа Печорского и Карского морей насыщение осадков верхней части разреза связывается с деградацией (таянием) реликтовых многолетнемерзлых пород [2,5,6]. Предполагается, что эти породы сформированы в течение последней позднеплейстоценовой регрессии, когда уровень моря понизился до отметки около – 100 м. В ходе последующей трансгрессии мерзлый массив оказался перекрыт водами современного бассейна с температурами, превышающими температуру таяния мерзлых грунтов. В результате реликтовая мерзлая толща в существенной степени деградировала (на значительной части площади региона – полностью).

Сформированная при регрессии мерзлая толща выступала как покрывка, сдерживающая естественную вертикальную миграцию биогенного и термокаталитического газа из глубины вверх по разрезу. Достигнув подошвы мерзлой толщи этот газ, не имея возможности к дальнейшей эмиссии, накапливался под ней в достаточно больших количествах.

После деградации мерзлой толщи, которая вероятно протекала довольно быстро, скопившийся газ распределился по разрезу вышележащих протаявших осадков в зависимости от коллекторских свойств последних. Пользуясь терминами нефтяной геологии можно сказать, что проницаемые песчаные грунты, обладающие эффективной пористостью, сыграли, при этом роль коллекторов. Глинисто-суглинистые образования выступили как слабопроницаемые покрывки.

В глинисто-суглинистых грунтах газ содержится в диспергированной форме (т.е. в виде отдельных разрозненных пузырьков). В песчаных образованиях он образует сосредоточенные скопления в своеобразных «мини-ловушках». Эти «мини-ловушки» приурочены к положительным изгибам толщи перекрывающих глин и/или многолетнемерзлых льдистых грунтов, а также к локальным песчаным линзам в толще мерзлых и/или относительно консолидированных глинистых образований.

В южной и средней частях Обской губы и Енисейского залива, а также в Тазовской и Печорской губах картина более сложная. Здесь, на фоне газонасыщения, обусловленного таянием реликтовых мерзлых пород, отмечено насыщение осадков газом, выделяющимся при деструкции органического материала, захороненного в приповерхностном слое современных аллювиально-морских осадков [7].

Наличие в осадках свободного газа проявляется, прежде всего, на временных разрезах сейсмоакустического профилирования. С наличием газа связываются зоны резкой потери сейсмической корреляции, амплитудные аномалии типа «яркое пятно», резкие изменения акустической структуры и

различные акустические неоднородности [1]. В инженерно-геологических скважинах с наличием газа связаны фонтанные выбросы (в диапазоне глубин от 8-10 до 50-70 м от поверхности дна), самопроизвольные деформации керна и пузырение его поверхности и тому подобные явления.

Точные значения количественного содержания газа и давления, которое он создает в грунтах (пластовое давление) до настоящего времени остаются не известными. На основании косвенных данных предполагается, что в глинистых грунтах содержание газа не превышает 5%. В песчаных грунтах (особенно в мини-ловушках) оно может достигать значительно больших величин.

Акустические и физико-механические свойства

Под акустические свойства в данной работе понимаются скорости распространения продольных и поперечных волн. Значения скоростей распространения поперечных волн в верхней части разреза мелководных районов Печорского и Карского морей составляют от менее 800 м/с и до 2800 м/с. Максимальные значения приурочены к интервалам многолетнемерзлых льдистых грунтов. Также повышенные (более 1800 м/с) значения отмечены в интервалах, цементированных минеральными новообразованиями [5].

Минимальные значения скоростей распространения упругих колебаний приурочены к интервалам, в которых по визуальным признакам наблюдался свободный газ. В этих интервалах скорость продольных волн довольно резко понижается до 800-1200 м/с, поперечных – до 150 м/с и ниже (Рис. 1). Сопоставление графиков изменения свойств по разрезам скважин с границами газосодержащих интервалов (интервалами пониженных значений скорости распространения сейсмических волн) показывает достаточно характерную тенденцию. Она выражается в уменьшении степени влажности, плотности и прочности при одновременном повышении пористости, текучести и сжимаемости в интервалах, содержащих свободный газ.

Изменение величины показателей физико-механических свойств, полученных лабораторными методами, в газосодержащих интервалах относительно не велико и составляет, как правило, несколько процентов. Оценивая влияния газа на физико-механические свойства, по данным лабораторных определений, следует учитывать, что в процессе бурения, подъема керна, извлечения его из пробоотборника и при подготовке образцов происходит весьма существенная дегазация. С другой стороны, при снижении давления и повышении температуры происходит значительное изменение фазового состава, т.к. часть газа улетучивается. Несомненно, что данные явления изменяют свойства грунтов относительно условий естественного залегания (*in situ*). Это заставляет рассматривать значения показателей физико-механических свойств газосодержащих грунтов, полученные лабораторными методами, приближенными к *in situ*.

На целом ряде графиков статического зондирования ниже верхней границы интервала газонасыщенных песков вначале отмечается увеличение удельного сопротивления грунта под конусом (лобового сопротивления) и трения на участке боковой поверхности (бокового трения). Затем, глубже

0,5-2,5 м от кровли газонасыщенных интервалов, величины лобового сопротивления и бокового трения резко снижаются (рис. 1). Состав грунта остается при этом практически неизменным.

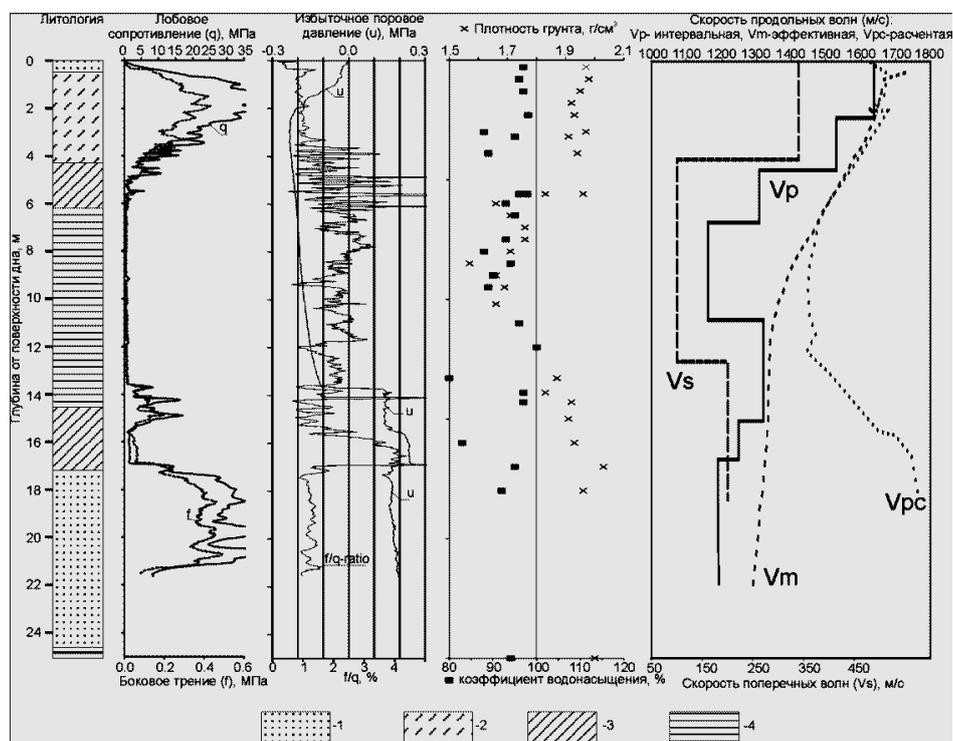


Рис. 1. Сопоставление результатов измерения скорости волн, статического зондирования (конус II-го типа) и лабораторных определений плотности и коэффициента водонасыщения по разрезу инженерно-геологической скважины (восточная часть Печорского моря):
 1 – песок, 2 – супесь, 3 – суглинок, 4 – глина

По-видимому, в прикровельной части интервалов газосодержащих песков конусом вначале вскрываются относительно прочные грунты. В этих грунтах увеличение значений лобового сопротивления и бокового трения обусловлено не полным водонасыщением и давлением газа. Далее, по достижении конусом некоторой глубины, газ начинает интенсивно улетучиваться, вызывая тем самым снижение пластового давления, разупрочнение (разжижение) и водонасыщение газосодержащего коллектора.

С этими явлениями связано уменьшение величины лобового сопротивления и бокового трения.

В целом на свойства грунтов влияет не только количественное содержание газа, но и давление которое он создает в пористом пространстве. Это подтверждается рядом опубликованных натуральных наблюдений и экспери-

ментальных исследований [3, 4, 8]. Согласно этим данным прочность грунтов тем выше, а сжимаемость ниже, чем больше давление газа в пористом пространстве (в соответствии с законом Бойля-Мариотта). При декомпрессии в природных массивах газосодержащих грунтов в ходе горных работ и строительства происходит разупрочнение и разжижение. При этом, чем больше перепад давлений при дегазации, тем интенсивнее процесс снижения прочности и увеличения сжимаемости грунта. В связи с этим в пределах районов развития газосодержащих грунтов представляется необходимым проводить определения количественного содержания газа и измерения пластового давления.

Литература

1. *Бондарев В.Н., Длугач А.Г., Костин А.Д., Лисунов В.К., Рокос С.И.* Акустические фации посткриогенных обстановок мелководных районов Печорского и Карского морей // Разведка и охрана недр. – 1999. – № 7-8. – С. 10-14
2. *Бондарев В.Н., Длугач А.Г., Костин Д.А., Рокос С.И., Полякова Н.А.* Подмерзлотные скопления газа в верхней части осадочного чехла Печорского моря // Геология и геофизика. – 2002. – Т. 43. – № 7. – С. 587-598.
3. *Дашко Р.Э.* Геоэкология подземного пространства Санкт-Петербурга: роль микробиоты и физико-химических факторов в преобразовании грунтов и строительных материалов // Инфострой. – 2003. – № 6 (12). – С. 3-11
4. *Захарова Е.Д.* Влияние погребенных болот на формирование инженерно-геологических и геоэкологических условий в подземном пространстве Санкт-Петербурга: Автореф. дис. ... канд. геол.-мин. наук. – С.-Петербург: Горный Институт, 2006. – 21 с.
5. *Рокос С.И.* Инженерно-геологические особенности приповерхностных зон аномально высокого пластового давления на шельфе Печорского и южной части Карского морей // Инженерная геология. – 2008. – №4. – С. 22-28.
6. *Рокос С.И., Длугач А.Г., Локтев А.С., Костин Д.А., Куликов С.Н.* Многолетнемерзлые породы шельфа Печорского и Карского морей: генезис, состав, условия распространения и залегания // Инженерные изыскания. – 2009. – № 9. – С. 39-41.
7. *Тарасов Г.А., Рокос С.И.* Газонасыщенные осадки губ и заливов южной части Карского моря // Бюллетень комиссии по изучению четвертичного периода. – 2007. – № 67. – С. 66-75.
8. *Rad N.S., Vianna A.J.D., Berre N.* Gas in soil: effect of gas undrained static and cyclic strength of sand. Report, Norges Geotekniske Institutt, 521590-8, 1991, 27 p.

РАЗВИТИЕ ГЕНЕТИЧЕСКОГО ПРИНЦИПА ПРИ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКОМ ИЗУЧЕНИИ ДИСПЕРСНЫХ ГРУНТОВ МОНГОЛО-СИБИРСКОГО РЕГИОНА (НОВЫЕ РЕАЛЬНОСТИ)

Т.Г. Рященко

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

В период подготовки автором докторской диссертации при его личной встрече с Евгением Михайловичем Сергеевым было принято решение об изменении названия работы. В результате успешно защищенная в дальнейшем диссертация называлась «Развитие генетического принципа при инженерно-геологическом изучении континентальных четвертичных отложений (на примере юга Восточной Сибири и Северной Монголии)». Новые реальности таковы, что развитие и реализация этого принципа продолжается при инженерно-геологических исследованиях дисперсных (лессовых, глинистых и песчаных) грунтов в пределах Монголо-Сибирского региона, который включает юг Восточной Сибири (Приангарье, Прибайкалье, Забайкалье) и Западную Монголию, где длительное время проводились совместные с монгольскими коллегами работы по выполнению сейсмического микрорайонирования территорий крупных городов. Подтверждением этих реальностей является цикл из шести монографий, опубликованных в 2000–2014 гг. [2, 3, 5, 6, 7, 12].

В качестве небольшого комментария хочется отметить, что в настоящее время при изучении, например, закономерностей изменчивости физико-механических свойств просадочных глинистых грунтов, которое проводится в процессе инженерно-геологических изысканий (понятие «лессовые грунты», видимо, окончательно исключено из сообщества дисперсных образований), практически отсутствует генетический подход и сопутствующий этому принципу комплекс лабораторных исследований состава и микроструктурных особенностей объекта [1].

Рассмотрим далее четыре момента из области новых реальностей: использование геохимических критериев при инженерно-геологической оценке дисперсных грунтов; метод системного анализа циклично построенных геолого-литологических разрезов грунтовых толщ; лессовый литогенез; модели формирования лессовых грунтов Приангарья, Забайкалья, Прибайкалья и Западной Монголии.

Развитие литогенетических идей (генетического принципа) привело к появлению в рамках регионального грунтоведения нового научного направления, когда в качестве критериев инженерно-геологической оценки дисперсных грунтов стали использоваться их геохимические показатели – валовой химический и микроэлементный состав. В первом случае методом сили-

катного анализа определяется содержание породообразующих оксидов и рассчитываются девять геохимических коэффициентов, в том числе три климатических модуля, что позволяет проводить некоторые климатические реконструкции условий формирования этих грунтов; кроме того, по содержанию оксидов для фракции <0,001 мм выполняются расчеты содержания глинистых минералов с помощью программного комплекса «Decompose». Во втором случае методом РФА определяется содержание 18 микроэлементов (V, Cr, Co, Ni, Cu, Zn, Pb, As, Sn, Rb, Sr, Y, Zr, Nb, Ba, La, Ce, Nd), изучается их распределение в грунтовых толщах урбанизированных территорий и рассчитывается показатель загрязнения (Zc), что позволяет решать вопросы корреляционно-генетического и геоэкологического характера.

Разработан и реализован оригинальный комбинированный метод изучения разрезов лессовых и глинистых грунтов с горизонтами погребенных почв, когда одновременно на одном объекте собирается информация геологического, литологического и грунтоведческого характера [8, 9]. Схема системного анализа таких разрезов включает несколько блоков: полевая документация, детальное описание образцов, построение геолого-литологической колонки; комплексные лабораторные исследования грунтов (определяются показатели состава, микроструктуры и некоторых свойств); определение абсолютного возраста погребенных почв радиоуглеродным методом (^{14}C). Системный анализ завершается так называемым сценарием, под которым подразумевается описание условий формирования циклитов и признаков их микроструктуры, состава и свойств. Нужно согласиться с тем, что представляемые сценарии – это своеобразные гипотезы (идеи), но подкрепленные многочисленными фактами.

Кратко остановимся на лессово-глинистом разрезе «Нижняя Буланка» (Бурятия, Забайкалье), который содержит 11 погребенных почвенных горизонтов. На основании абсолютного возраста этих почв установлено, что верхняя часть разреза (0,0–2,0 м) сформировалась в голоцене (< 10000 л.т.н.), нижняя (2,0–5,0 м) – в позднем верхнем плейстоцене (10920–13270 л.т.н. [11]. Рассмотрим микроструктурные параметры, определенные по методу «Микроструктура» [6]. В разновозрастных почвенных горизонтах отмечается значительная изменчивость по общему содержанию агрегатов (А), а также числу тонко-мелкопесчаных (А2) и крупнопылеватых (А3) их разновидностей (рис. 1); кластерный анализ Q-типа (использовались десять параметров) подтвердил характер расчленения грунтовой толщи. Следовательно, информация по особенностям микроструктуры циклитов – критерий для изучения проблемных разрезов.

Распределения первичных частиц в разрезе отражает преобладание крупнопылеватых фракций (М3), амплитуда их колебаний незначительна. Для нижней части толщи наблюдается асимметричность пиков – резкое уменьшение тонко-мелкопесчаных частиц компенсируется возрастанием крупнопылеватого материала. В этом случае можно предположить периодическое участие эолового фактора в накоплении отложений (возникает пик в содержании крупнопылеватых фракций); появлении пика для тонко-

мелкопечаных фракций – свидетельство преобладания делювиально-пролювиальной транспортировки.

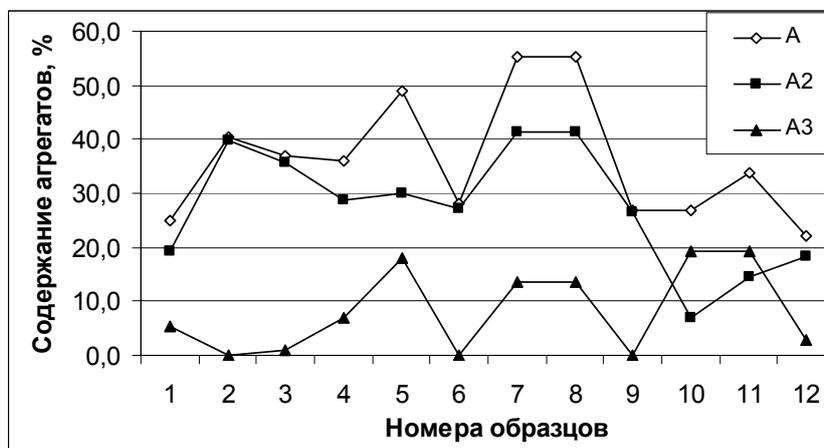


Рис. 1. Распределение агрегатов и их разновидностей в современной и погребенных почвах разреза «Нижняя Буланка»:

1 – современная почва; 2 – ппг1; 3 – ппг2; 4 – ппг3; 5 – ппг4; 6 – ппг5 (голоцен);
7 – ппг6; 8 – ппг7; 9 – ппг8; 10 – ппг9; 11 – ппг10, 12 – ппг11
(поздний верхний плейстоцен)

Рассматривая литогенез как особый тип геохимического выветривания, мы, кроме того, признаем ведущую роль криогенного фактора на фоне интенсивной карбонатизации осадков, влияние геологического субстрата (характер распространения различных геологических формаций) и возможность развития процессов лессового литогенеза в голоцене, включая исторический период [13]. В этом случае мы являемся сторонниками криоэлювиальной гипотезы Е.М. Сергеева, А.В. Минервина [10],

Типичным продуктом лессового литогенеза являются связные (облесованные) пески. Процессы лессового литогенеза оказались наложенными на полигенетические песчаные толщи, что изменило их «инженерно-геологическую однородность». Естественно, пески не стали лессовидными супесями или суглинками, но приобрели некоторые лессовые признаки – агрегированность, макропористость, карбонатность, просадочность. Главную роль при этом играли криогенные воздействия, связанные с сезонным промерзанием толщи и распространением островной многолетней мерзлоты.

Современные процессы лессообразования изучались в районе Байкальского тоннеля трассы БАМ, где в течение трех лет в карьере, вскрывающем моренные отложения плейстоцена, были сформированы микроконусы выноса, сложенные лессовидными супесями мощностью до 30 см. Установленные их недоуплотненность, макропористость и просадочность носят сингенетиче-

ский характер. Аналогичную модель мы наблюдали в карьере Коршуновского ГОКа и Иркутском Академгородке (рис. 2).



Рис. 2. Макропористая структура отложений микроконуса выноса (Академгородок, Иркутск)

«Новорожденная» лессовидная супесь представляет собой природную модель современных процессов лессового литогенеза. Фактически эти процессы в регионе, которые имели широкое распространение в плейстоцене, продолжают в голоцене, в том числе в историческое (современное) время, поскольку климатические условия весьма близки к перигляциальным.

В заключение о моделях. Для Приангарья предлагается комбинированная модель, обоснованием для которой явились данные о тяжелых минералах (обнаружены «пришельцы – амфиболы) и геохимических особенностях. Для исследованных разрезов не подходят китайский (педогенный) и аляскинский (ветровой) механизмы формирования почвенно-лессовых серий, которые выделяются на основе палеомагнитных исследований [4]. Можно говорить об особой модели, когда на стадии седиментогенеза на общем фоне делювиальных процессов отдельные элементарные слои имели эоловое происхождения; в постдиагенетическую стадию в действие вступали криогенные и почвообразовательные процессы, в результате которых происходила перестройка микроструктуры – появлялись вторичные агрегаты, разрушались первичные; активные в физико-химическом отношении глинистые частицы теряли свою свободу, попадая в состав агрегатов. Комбинированная модель формирования субэрозивного покрова явилась одновременно и причиной, и аргументом разнородности его просадочности.

Для Забайкалья предлагается «западно-сибирский» механизм, когда погребенные почвы по геолого-литологическим и микроструктурным признакам почти не отличаются от лессовидных отложений. Условия распространения и литологические особенности свидетельствуют о пролювиальном генезисе лессовых толщ (pQ_{1-3}), благодаря которому их пылеватая основа была разбавлена песчаным материалом. Затем глинистые и пылеватые частицы были вовлечены в процесс агрегатообразования, который происходил при деградации многолетней мерзлоты. Наличие вторичных агрегатов, отсутствие смектита, разуплотненность (криогенные воздействия) и низкая влажность способствуют просадочности лессовых грунтов Забайкалья, ведущим фактором при этом следует считать современный аридный континентальный климат.

Для Прибайкалья особого внимания заслуживает гипотеза об эоловой седиментации, которая происходила в плейстоцене – голоцене в континентальных условиях и на дне Байкала. Эоловый комплекс лессовидных отложений (супеси и связные пески – vQ_3^3 – vQ_4) залегает на различном геологиче-

ском субстрате – аллювиальных слоистых песках надпойменных террас Селенги, крупнообломочных отложениях анососской свиты верхнего неогена, осадочно-вулканогенных образованиях и флювиогляциальных галечниках.

Модель формирования лессовых грунтов Монголии мы назвали полигенетической по той причине, что выделенные многочисленные геолого-генетические комплексы приобрели свои признаки, в том числе и просадочность, в постдиагенетическую стадию благодаря процессам лессового литогенеза. Например, облессованными являются эоловые и аллювиальные пески, супесчано-суглинистый заполнитель крупнообломочных отложений, супеси и суглинки современных элювиально-делювиальных маломощных покровов.

Литература

1. *Ахлюстин О.Е.* Закономерности изменчивости физико-механических свойств просадочных грунтов Анапского района Краснодарского края: Автореф. дис. ... канд. геол.-мин. наук. – Екатеринбург, 2013.
2. Лессовые грунты Монголо-Сибирского региона / Т.Г. Рященко, В.В. Акулова, Н.Н. Ухова и др. – Иркутск: Институт земной коры СО РАН, 2014.
3. *Макаров С.А., Рященко Т.Г., Акулова В.В.* Геоэкологический анализ территорий распространения природно-техногенных процессов в неоген-четвертичных отложениях Прибайкалья. – Новосибирск: Наука, СИФ РАН, 2000.
4. *Матасова Г.Г., Казанский А.Ю., Зыкина В.С.* Наложение «алясинской» и «китайской» моделей записи палеоклимата в магнитных свойствах отложений верхнего и среднего плейстоцена на юге Западной Сибири // Геология и геофизика. – 2003. – Т. 44. – № 7. – С. 638–651.
5. Районирование сейсмической опасности территории города Эрдэнэта / В.И. Джурик, С.П. Серебренников, Т.Г. Рященко и др. – Иркутск: Институт земной коры СО РАН, 2011.
6. *Рященко Т.Г.* Региональное грунтоведение (Восточная Сибирь). – Иркутск: ИЗК СО РАН, 2010.
7. *Рященко Т.Г., Ухова Н.Н.* Химический состав дисперсных грунтов: возможности и прогнозы (юг Восточной Сибири). – Иркутск: ИЗК СО РАН, 2008.
8. *Рященко Т.Г., Ухова Н.Н., Слагода Е.А.* Изучение проблемных геолого-литологических разрезов глинистых отложений с применением грунтоведческих критериев // Отечественная геология. – 2009. – № 4. – С. 61–67.
9. *Рященко Т.Г., Ухова Н.Н., Штельмах С.И.* Сравнительный анализ геохимических особенностей лессовых пород юга Восточной Сибири и Беларуси // Отечественная геология. – 2011. – № 2. – С. 82–87.
10. *Сергеев Е.М., Минервин А.В.* Сущность процесса облессования в подзолистой зоне // Вест. Моск. ун-та. Серия 4. Геология. – 1960. – № 3. – С. 3–14.
11. *Штельмах С.И., Рященко Т.Г.* Микроэлементный состав дисперсных грунтов разреза «Нижняя Буланка» (Республика Бурятия, Забайкалье) // Сергеевские чтения. Вып. 15. – М.: РУДН, 2013. – С. 263–268.
12. Complex geophysical and seismological investigations in Mongolia / V.I. Dzhurik, T. Dugarmaa. – Ulaanbaatar – Irkutsk, 2004.
13. *Ryashchenko T.G., Akulova V.V., Ukhova N.N.* Processes of loess lithogenesis during the Pleistocene – Holocene // Quaternary International. – 2011. – № 240 (2011). – P. 150–155.

ГЕНЕТИЧЕСКИЙ ПОДХОД ПРИ ИЗУЧЕНИИ МИКРОСТРУКТУРЫ ГЛИНИСТЫХ ГРУНТОВ

В.Н. Соколов

МГУ имени М.В.Ломоносова, геологический факультет, кафедра инженерной
и экологической геологии, 119991, ГСП-1, г. Москва, Ленинские горы, д. 1.
E-mail:sokolov@geol.msu.ru

В своей монографии «Основы дорожного грунтоведения, 1936, стр. 280» М.М.Филатов писал: «Каждый грунт в естественных условиях залегания имеет определенный внешний облик, являющийся результатом – с одной стороны – условий, с которыми связано его происхождение как природного тела, а с другой – грунт отражает процессы, совершающиеся в нем в данное время.

В том и другом случае этот облик является следствием генетических процессов, которым грунт обязан своей морфологией, т. е. всей совокупностью морфолого-генетических признаков, различаемых нами простым глазом на вертикальном профиле (разрезе) грунтового тела в природе. Умение наблюдать морфолого-генетические признаки и понимать их значение в каждом отдельном случае оказывается могучим орудием при определении грунтов и установлении их генезиса, т.е. происхождения. Вместе с тем морфологические признаки теснейшим образом связаны со всеми физическими и химическими свойствами грунтов».

Важность использования генетического подхода в грунтоведении отмечал Е.М.Сергеев. В учебнике «Грунтоведение, 1983, стр. 9», он писал: «Благодаря работам советских ученых, в первую очередь М.М.Филатова, методологической основой грунтоведения стал генетический подход при изучении горных пород как грунтов. Сущность такого подхода заключается в том, что состав и свойства грунтов рассматриваются как результат их генезиса, понимая под этим термином не только процессы седиментации и диагенеза, но и последующие процессы: катагенез и гипергенез».

Использование генетического подхода, как главного методологического принципа отечественной инженерной геологии, успешно развивалось в трудах многих отечественных выдающихся ученых: В.В.Охотина, И.В.Попова, В.А.Приклонского, В.Д.Ломтадзе, В.И.Осипова и др. Генетический подход стал основой для разработки теории формирования прочности пород.

Особая роль в таких исследованиях отводилась изучению структуры грунтов на микроуровне. По мнению И.В.Попова [2] микроструктура, является отражением физико-механических и физико-химических условий возникновения и истории развития грунта. В коллективной монографии В.И.Осипова, В.Н.Соколова и Н.А.Румянцевой [1] авторы, на основании длительного изучения состава, строения и свойств глинистых грунтов, отмечают,

что «Структуры пород, и в частности глин, являются чутким индикатором условий образования и дальнейшего преобразования отложений в ходе литогенеза. Поэтому современные представления о процессах литогенеза служат теоретической базой для создания общей теории прочности пород. Отсюда вытекает важнейший принцип инженерно-геологического изучения пород – генетический подход, с позиций которого удастся раскрыть сложные и многообразные процессы структурообразования в глинистых породах и на этой основе объяснить большую изменчивость их свойств. Более того, используя структурные показатели, в которых «закодирована» генетическая информация, можно находить их корреляционные взаимосвязи со свойствами и на этой основе прогнозировать поведение пород. Для реализации этой идеи необходимы современные методы количественной оценки структурных показателей пород».

Сейчас, по прошествии практически 80-ти лет после опубликования прозорливых идей М.М.Филатова, мы, обладая современными оптическими, электронными и атомными силовыми микроскопами, рентгеновскими томографами и другими высокоразрешающими цифровыми устройствами, можем довольно уверенно говорить о прогнозе физико-механических свойств и поведения глинистых грунтов по данным микроструктурных исследований.

Важное преимущество морфологических микроструктурных исследований – их наглядность. Главным результатом таких исследований обычно являются полутоновые изображения поверхности скола образца, и при качественном анализе микроструктуры исследователь быстро обнаруживает те или иные морфологические различия на подобных изображениях. Однако требуется достаточно много времени, чтобы сказать, в чем заключаются эти различия и какими количественными показателями они описываются. Разработка методов количественного анализа микроструктуры, основанная на создании электронных устройств и специализированного программного обеспечения для персональных компьютеров, сейчас позволяет оперативно решать многие из этих вопросов [4].

На рис. 1 показано влияние различных условий осадкообразования на формирование первичной микроструктуры глинистых осадков. Так в морских условиях, характеризующихся высокой концентрацией солей и слабощелочной реакцией воды, идет формирование рыхлого глинистого осадка с крупноячейстой микроструктурой (рис.1, а).

Для осадков в пресных водоемах, например в озерах, вода которых обычно обнаруживает нейтральную или слабокислую реакцию, характерно формирование однородной тонкоячейстой микроструктуры (рис. 1, б). По сравнению с морскими илами данная микроструктура более плотная.

При осаждении глинистого материала в пресных слабощелочных водах при условии максимальной стабилизации частиц возможно образование относительно плотной высокоориентированной ламинарной микроструктуры. Формирование таких осадков происходит в зимних условиях спокойного ледникового озера.

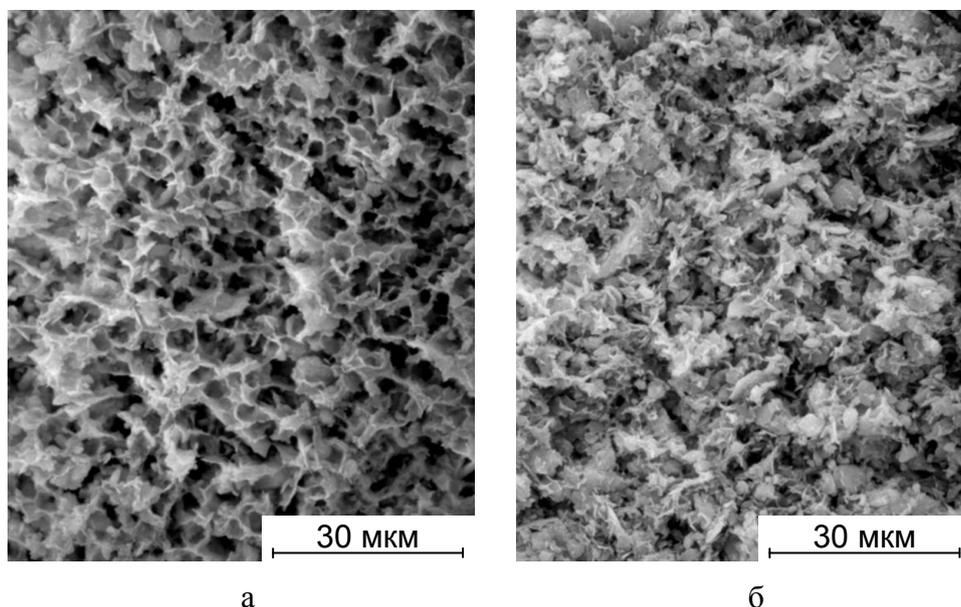


Рис. 1. Микроструктуры природных глинистых осадков:
 а – крупноячеистая, ил Черного моря; б – мелкоячеистая, ил озера Вожже

В ходе прогрессивного литогенеза с увеличением глубины погружения и повышением плотности осадка происходят закономерные изменения его микроструктуры. Основная тенденция – сближение и уплотнение микроагрегатов, закрытие крупных и сокращение размеров мелких микропор, повышение степени ориентации структурных элементов.

На стадии диагенеза ячеистая микроструктура, преобладающая в молодых осадках, уплотняется и, вначале преобразуется в переходную ячеисто-матричную, а затем в слабо ориентированную матричную (рис. 2, а). На стадии катагенеза в результате повышающегося давления и температуры идет дальнейшее уплотнение и преобразование микроструктуры глинистого грунта. Это выражается в уплотнении и укрупнении ультрамикроагрегатов и микроагрегатов, увеличении степени ориентации твердых структурных элементов и возрастании анизотропии физическо-механических свойств грунтов. Под влиянием происходящих изменений на ранней стадии катагенеза глинистого грунта идет формирование среднеориентированной турбулентной (рис. 2, б), а на поздней – высокоориентированной ламинарной (рис. 2, в) микроструктуры.

Использование генетического подхода позволило В.Н.Соколову [3] разработать инженерно-геологическую классификацию микроструктур глинистых грунтов. Основу классификации составили выявленные закономерно-

сти изменения морфометрических, геометрических и энергетических признаков микроструктуры глинистых грунтов при литогенезе.

Классы микроструктур выделяются на основании морфометрического признака микроструктуры (размер и форма частиц и пор), который количественно характеризуется интегральным параметром дисперсности D , получаемым с помощью Фурье-анализа полутонковых РЭМ-изображений поверхности глинистого образца. Выделяют три класса микроструктур: тонкодисперсная (индекс А), среднедисперсная (Б) и крупнодисперсная (В).

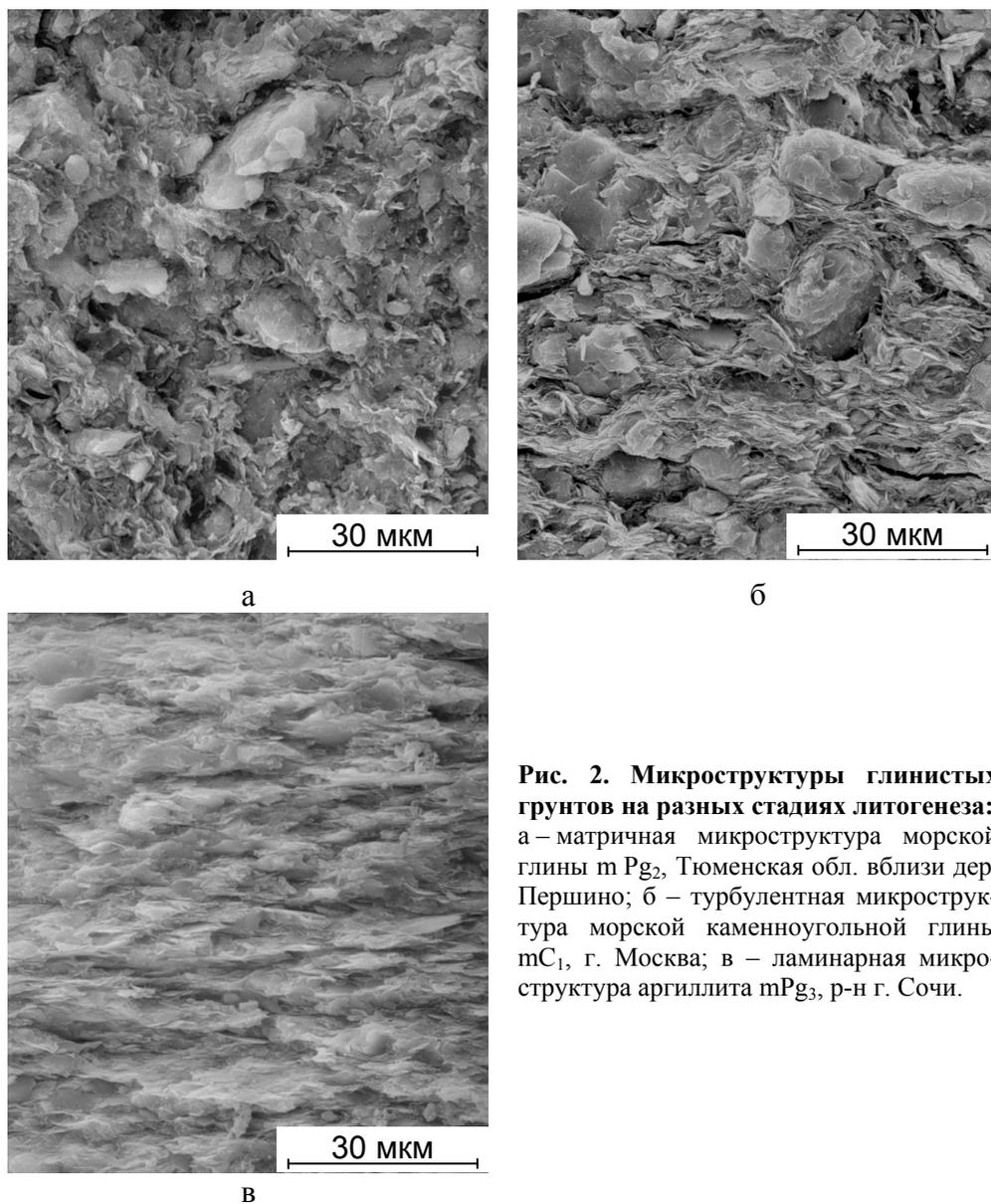


Рис. 2. Микроструктуры глинистых грунтов на разных стадиях литогенеза: а – матричная микроструктура морской глины mPg_2 , Тюменская обл. вблизи дер. Першино; б – турбулентная микроструктура морской каменноугольной глины mC_1 , г. Москва; в – ламинарная микроструктура аргиллита mPg_3 , р-н г. Сочи.

Подклассы микроструктур выделяются по геометрическому признаку, количественно выражающемуся величиной показателя анизотропии A , определяемого с помощью Фурье-анализа полутоновых РЭМ-изображений, или коэффициента анизотропии K_a , рассчитываемого по методу градиента интенсивности сигнала. Выделяется три подкласса микроструктур: со слабой степенью ориентации структурных элементов (индекс I); со средней степенью ориентации структурных элементов (II) и с высокой степенью ориентации структурных элементов (III). Микроструктуры со средней и высокой степенью ориентации являются анизотропными.

Группы микроструктур выделяются по энергетическому признаку – структурным связям, оцениваемым по величине прочности на сжатие, по характеру деформационных кривых и ряду других параметров. Выделяют три группы микроструктур: коагуляционная (индекс k), смешанная (c) и преимущественно кристаллизационно-цементационная ($ц$).

Различное сочетание классов, подклассов и групп приводит к формированию 12 различных типов микроструктур глинистых пород. При этом каждый из выделенных типов микроструктур характеризуется определенным набором микроструктурных характеристик и свойств.

Сопоставление типов микроструктур с выделенными В.Г. Шлыковым шестью типами ассоциаций глинистых минералов позволило в итоге разработать классификацию глинистых грунтов по микроструктурно-минеральным разновидностям [5]. Для глинистых грунтов, принадлежащих к одной микроструктурно-минеральной разновидности, существуют очень тесные корреляционные зависимости между составом, микроструктурой и свойствами.

Основываясь на эту классификацию и разработанную ранее компьютерную инженерно-геологическую базу данных, В.Н. Соколовым, совместно с В.А. Королевым, В.Г. Шлыковым, Д.И. Юрковцом и др. [6], была разработана специализированная экспертная система “ClaySoils” по глинистым грунтам Московского региона. С помощью этой системы стало возможным рассчитывать обобщенные и нормативные значения инженерно-геологических показателей состава, структуры и свойств грунтов и моделировать их изменение в различных термодинамических условиях.

Разработка данной экспертной системы наглядно показала, что генетический подход является геолого-исторической основой для объяснения природы формирования строения и свойств глинистых грунтов.

Литература

1. *Осипов В.И., Соколова В.Н., Н.А.Румянцева.* Микроструктура глинистых пород. – М.: Недра, 1989. – 211 с.
2. *Попов И.В.* Основы инженерно-геологического грунтоведения: Метод. пособие. – М.–Л.: Госиздат геол. литературы, 1941. – Вып. I. – 224 с.
3. *Соколов В.Н.* Инженерно-геологическая классификация микроструктур глинистых пород // Инженерная геология. – 1988. – № 4. – С. 25-41.

4. Соколов В.Н., Юрковец Д.И., Разгулина О.В. Исследование микроструктуры грунтов с помощью компьютерного анализа РЭМ-изображений // Геозкология. – 2008. – № 4. – С. 377-382.

5. Соколов В.Н., Королев В.А., Шлыков В.Г. Принципы моделирования и прогноза свойств глинистых пород на основе состава и микростроения // Вестник Моск. ун-та. Серия 4. Геология. – 1997. – № 4. – С. 59-67.

6. Соколов В.Н., Королев В.А., Шлыков В.Г., Юрковец Д.И., Разгулина О.В., Чернов М.С. Экспертная система для получения обобщенных инженерно-геологических показателей глинистых грунтов Московского региона. Сергеевские чтения. Выпуск 8. – М.: ГЕОС, 2006. – С. 341-343.

ИЗМЕНЕНИЕ СОСТАВА И СВОЙСТВ ЛЕССОВЫХ ПРОСАДОЧНЫХ ПОРОД ПРИ ЗАМАЧИВАНИИ И ФИЛЬТРАЦИИ ВОДЫ

Т.М. Тихонова, И.Ю. Кузьменко, Ю.И. Олянский

Волгоградский государственный архитектурно-строительный университет,
400074 г. Волгоград, ул. Академическая, д. 1. E-mail: info@vgasu.ru

Длительному взаимодействию лессовых пород с водой посвящены исследования Ананьева В.П., Воляника Н.В., Трусовой С.В., Хуртина А.И., Запороженко Э.В. – для отложений Северного Кавказа; Рубинштейна В.А. – для отложений Нижнего Поволжья; Сквалецкого Е.Н. – для отложений Средней Азии, Окниной Н.А., Реутовой Н.С. и Иножарской Н.Г., Молодых И.И. – для отложений Южной Украины и др. Аналогичные работы выполнялись для лессовых пород Северо-Западного Причерноморья в пределах республики Молдова [2]. Полевые исследования проводились в Институте геофизики и геологии АН Молдовы под руководством Ю.И. Олянского.

Лабораторные исследования состава и свойств образцов лессовых пород выполнялись в Лаборатории физико-механических свойств горных пород Института геофизики и геологии АН Молдовы и СКФ ПНИИИС. Изучение просадочности осуществлялось в компрессионных приборах системы Ленинградского горного института. Эти приборы после небольшого усовершенствования позволяют выполнять компрессионные испытания в соответствии с ГОСТ 23161-78 при капиллярном водонасыщении исследуемого образца и в условиях непрерывной фильтрации воды через образец. Фильтрация осуществлялась из бака при градиенте напора равном 50. Направление фильтрации – снизу вверх, использовалась водопроводная вода гидрокарбонатно-кальциевого состава с минерализацией 0,4 г/л.

Компрессионные испытания осуществлялись методом «одной кривой» с замачиванием образцов при нагрузке 0,15 МПа. При больших сжимающих

давлениях, значительная степень уплотнения образца препятствует интенсивной фильтрации воды. Испытания выполнялись по следующей схеме. Образец обжимался до нагрузки 0,15 МПа, после чего его влажность увеличивалась методом капиллярного водонасыщения. При такой влажности образец выдерживался от 2 до 4 недель до величины условной стабилизации равной 0,001 мм за 1 сутки. После этого подключалась вода из бака и началась ее фильтрация через образец грунта. Фильтрация осуществлялась от 30 до 90 сут. с ежесуточной регистрацией деформации. После завершения опыта определялись показатели физических свойств, состав воднорастворимых солей и микроагрегатный состав грунта. Всего изучено 100 образцов лессовых пород. Такая методика исследований, несмотря на известные недостатки, позволяет не только оценить полную деформацию образца при замачивании, но и дифференцировать ее на собственно просадку и послепросадочное уплотнение и широко используется в практике исследований на Северном Кавказе, в Ростовской области, Средней Азии и других районах [1, 6].

Гранулометрический состав лессовых пород определялся до производства компрессионных испытаний при наибольшей пептизации после растирания навески грунта с пирофосфатом натрия, микроагрегатный – по методу Н.А. Качинского, исключающему какое-либо химическое и тепловое воздействие на грунт. Микроагрегатный анализ выполнялся до компрессионных испытаний и после длительной фильтрации воды.

В таблице приведены данные по изменению состава и свойств образцов лессовых пород при длительном взаимодействии с водой для основных регионально-генетических типов лессовых толщ, распространенных на указанной территории. Изменение микроагрегатного состава за время выщелачивания и фильтрации для лессовых толщ различного возраста и генезиса различное. У лессовых толщ Южно-Молдавской лессовой равнины (Б-I-11) дисперсность пород изменилась довольно значительно. Коэффициент агрегированности дисперсной фракции увеличился примерно в 1,5 раза. У толщ Северной и Центральной Молдовы (области А-II и А-III) дисперсность изменилась незначительно. Коэффициент агрегированности дисперсной фракции практически не изменился.

Вследствие того, что опыт осуществлялся с использованием водопроводной воды определенной минерализации и химического состава, практически невозможно установить общие закономерности химических преобразований в исследуемых образцах. Тем не менее, полученные выводы могут иметь важное значение и могут использоваться при оценке устойчивости лессовых пород к длительному воздействию воды на конкретных площадках строительства.

Изменение состава и свойств лессовых пород при замачивании и фильтрации воды

Показатели состава и свойств		Инженерно-геологический район лессовая толща										
		А-П-4 срQ _{3,4}	А-П-8 eoldQ ₃	А-П-8 eoldQ ₂	А-П-9 eoldQ ₃	А-П-9 eoldQ ₂	А-П-10 eoldQ ₃	А-П-10 eoldQ ₂	Б-П-11 eoldQ ₃	Б-П-11 eoldQ ₂	Б-П-11 eoldQ ₁	
I		2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
Микроанализ ный состав, %	песок >0,05 мм	<u>50,28</u> 43,27	<u>33,92</u> 22,43	<u>33,92</u> 22,43	<u>33,92</u> 22,43	<u>33,92</u> 22,43	<u>33,92</u> 22,43	<u>33,92</u> 22,43	<u>24,76</u> 37,86	<u>24,76</u> 37,86	<u>24,76</u> 37,86	
	пыль 0,05-0,005 мм	<u>37,25</u> 45,23	<u>58,16</u> 66,80	<u>58,16</u> 66,80	<u>58,16</u> 66,80	<u>58,16</u> 66,80	<u>58,16</u> 66,80	<u>58,16</u> 66,80	<u>70,48</u> 59,64	<u>70,48</u> 59,64	<u>70,48</u> 59,64	
	глина <0,005	<u>12,47</u> 11,50	<u>8,43</u> 10,77	<u>8,43</u> 10,77	<u>8,43</u> 10,77	<u>8,43</u> 10,77	<u>8,43</u> 10,77	<u>8,43</u> 10,77	<u>8,43</u> 10,77	<u>4,01</u> 2,50	<u>4,01</u> 2,50	<u>4,01</u> 2,50
Коэффициент агрегированности глинистой <0,005 фракции K _{агр}		<u>2,8</u> 3,0	<u>4,1</u> 4,4	<u>4,1</u> 4,4	<u>4,1</u> 4,4	<u>4,1</u> 4,4	<u>4,1</u> 4,4	<u>4,1</u> 4,4	<u>10,5</u> 16,9	<u>10,5</u> 16,9	<u>10,5</u> 16,9	
Минерализация, г/100 г пор.		0,1616 0,0740	<u>0,1793</u> -	<u>0,1793</u> -	<u>0,2751</u> 0,0600	<u>0,2751</u> 0,0600	<u>0,1283</u> 0,0680	<u>0,1283</u> 0,0680	<u>0,2496</u> 0,1580	<u>0,2496</u> 0,1580	<u>0,2496</u> 0,1580	
Карбонатность, %		<u>6,30</u> 7,46	<u>8,81</u> -	<u>8,81</u> -	<u>6,75</u> 7,22	<u>6,75</u> 7,22	<u>6,65</u> 2,97	<u>6,65</u> 2,97	<u>11,30</u> -	<u>11,30</u> -	<u>11,30</u> -	
Содержание гипса, %		<u>0,150</u> 0,270	<u>0,019</u> -	<u>0,019</u> -	<u>0,073</u> 0,420	<u>0,073</u> 0,420	<u>0,092</u> 0,090	<u>0,092</u> 0,090	<u>0,045</u> -	<u>0,045</u> -	<u>0,045</u> -	

Окончание таблицы

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Содержание аморфного кремнезема, %	$\frac{0,52}{0,59}$			$\frac{0,47}{0,44}$	$\frac{0,47}{0,44}$	$\frac{0,87}{0,76}$	$\frac{0,87}{0,76}$			
Емкость поглощения, мг-экв/100 г пор.	$\frac{13,552}{14,922}$	$\frac{12,713}{14,420}$	$\frac{12,713}{14,420}$	$\frac{11,824}{14,420}$	$\frac{11,824}{14,420}$	$\frac{15,822}{14,420}$	$\frac{15,822}{14,420}$			
Влажность, W	$\frac{0,13}{0,23}$	$\frac{0,16}{0,25}$	$\frac{0,15}{-}$	$\frac{0,15}{0,29}$	$\frac{0,14}{0,24}$	$\frac{0,17}{0,24}$	$\frac{0,16}{0,25}$	$\frac{0,14}{0,31}$	$\frac{0,17}{0,27}$	$\frac{0,18}{0,26}$
Предел текучести W_L	$\frac{0,28}{0,27}$	$\frac{0,32}{0,35}$	$\frac{0,31}{-}$	$\frac{0,31}{0,33}$	$\frac{0,29}{0,31}$	$\frac{0,34}{0,34}$	$\frac{-}{0,34}$	$\frac{0,29}{0,30}$	$\frac{0,31}{0,34}$	$\frac{0,33}{0,36}$
Предел раскатывания W_p	$\frac{0,16}{0,16}$	$\frac{0,19}{0,20}$	$\frac{0,18}{-}$	$\frac{0,18}{0,19}$	$\frac{0,18}{0,19}$	$\frac{0,18}{0,17}$	$\frac{-}{0,17}$	$\frac{0,19}{0,20}$	$\frac{0,21}{0,20}$	$\frac{0,21}{0,21}$
Плотность «сухого» грунта ρ_d , г/см ³	$\frac{1,60}{1,69}$	$\frac{1,55}{1,67}$	$\frac{1,73}{-}$	$\frac{1,45}{1,54}$	$\frac{1,58}{1,64}$	$\frac{1,58}{1,66}$	$\frac{1,63}{1,63}$	$\frac{1,40}{1,50}$	$\frac{1,47}{1,62}$	$\frac{1,52}{1,63}$
Пористость n, %	$\frac{41,2}{37,7}$	$\frac{42,3}{38,3}$	$\frac{36,2}{-}$	$\frac{45,8}{43,0}$	$\frac{41,6}{35,0}$	$\frac{41,8}{38,0}$	$\frac{40,3}{40,2}$	$\frac{47,7}{44,0}$	$\frac{45,6}{39,8}$	$\frac{43,6}{39,8}$
Удельное сопротивление пенетрации $R_m \cdot 10^5$ Па	$\frac{5,72}{0,18}$	$\frac{6,51}{-}$		$\frac{3,33}{0,30}$	$\frac{5,86}{-}$	$\frac{3,96}{0,10}$	$\frac{2,37}{0,23}$	$\frac{2,56}{0,30}$	$\frac{2,22}{0,44}$	$\frac{2,83}{0,43}$
Коэффициент просадочного уплотнения $K_{пл}$	2,47	1,74		1,97			1,62	1,58	2,95	3,93

Примечание: в числителе – для образца природной влажности, в знаменателе – для образца после завершения фильтрации воды; прочерк – данные отсутствуют.

Основные результаты заключаются в следующем. Вследствие длительной фильтрации и выщелачивания легкорастворимых солей в образцах произошло значительное уменьшение (в 1,5-3,0 раза) содержания ионов Na^+ . Существенно повысилось содержание ионов Ca^{+2} и Mg^{+2} , что связано, очевидно, с растворением в агрессивной среде карбонатов кальция и магния и образованием сульфатов кальция и магния. Увеличилось в несколько раз содержание ионов Cl^- и SO_4^{-2} , что может найти свое объяснение в образовании среднерастворимых солей кальция и магния. Практически не изменилось содержание ионов HCO_3^- . На смену выносимого количества данного иона образуются новые гидрокарбонатные соединения.

В результате вышеуказанных химических преобразований наблюдаются различные изменения в общей минерализации. Она уменьшается на 20-30%, или не изменяется вообще, а в отдельных случаях может повышаться в 1,7–1,8 раза. Если до взаимодействия с водой засоление (по Е.В. Аринушкиной) было преимущественно сульфатное и содовое (по анионам) и натриевое, кальциевое и магниевое (по катионам), после фильтрации воды оно изменилось соответственно на исключительно содовое и магниевое-кальциевое. Изменение концентрации водородных ионов рН практически не отмечено – незначительные колебания наблюдаются в обе стороны.

Таким образом, длительная фильтрация воды через лессовую породу показала, что процесс химических преобразований в ней чрезвычайно сложный. Наряду с вымыванием легкорастворимых соединений, происходит разрушение гипса и карбонатов кальция и магния с образованием новых легко и среднерастворимых солей. Содержание карбонатов кальция постепенно накапливается, при этом образуется аморфное карбонатное вещество с примесью глинистого материала, заполняющего крупные поры (0,1-1,0 мм). В результате выпадения углекислого кальция лессовые породы приобретают большую плотность и повышенную прочность. Как отмечал Е.Н. Сквалецкий, вследствие многолетних промачиваний лессовых пород в основаниях гидротехнических сооружений в Таджикистане они преобразуются в озерный мергель [6].

Как следует из результатов экспериментов, при длительной фильтрации воды существенным образом изменились все показатели свойств лессовой породы. Увеличение влажности произошло в среднем на 0,05-0,12. Предел раскатывания либо не изменился, либо уменьшился на 0,01. Повсеместно наблюдается повышение предела текучести в среднем на 0,01-0,04. Такие изменения пределов пластичности обусловлены изменениями общего содержания карбонатов в образце породы, изменениями содержания дисперсной фракции, повышением емкости поглощения и изменениями состава обменных катионов в грунте. В результате произошло оглеение породы с изменением всех влажностных показателей. Число пластичности при этом увеличилось на 0,01-0,03. Вследствие просадочного уплотнения грунт стал более плотным, менее пористым, пластическая прочность его уменьшилась в 5-10 раз.

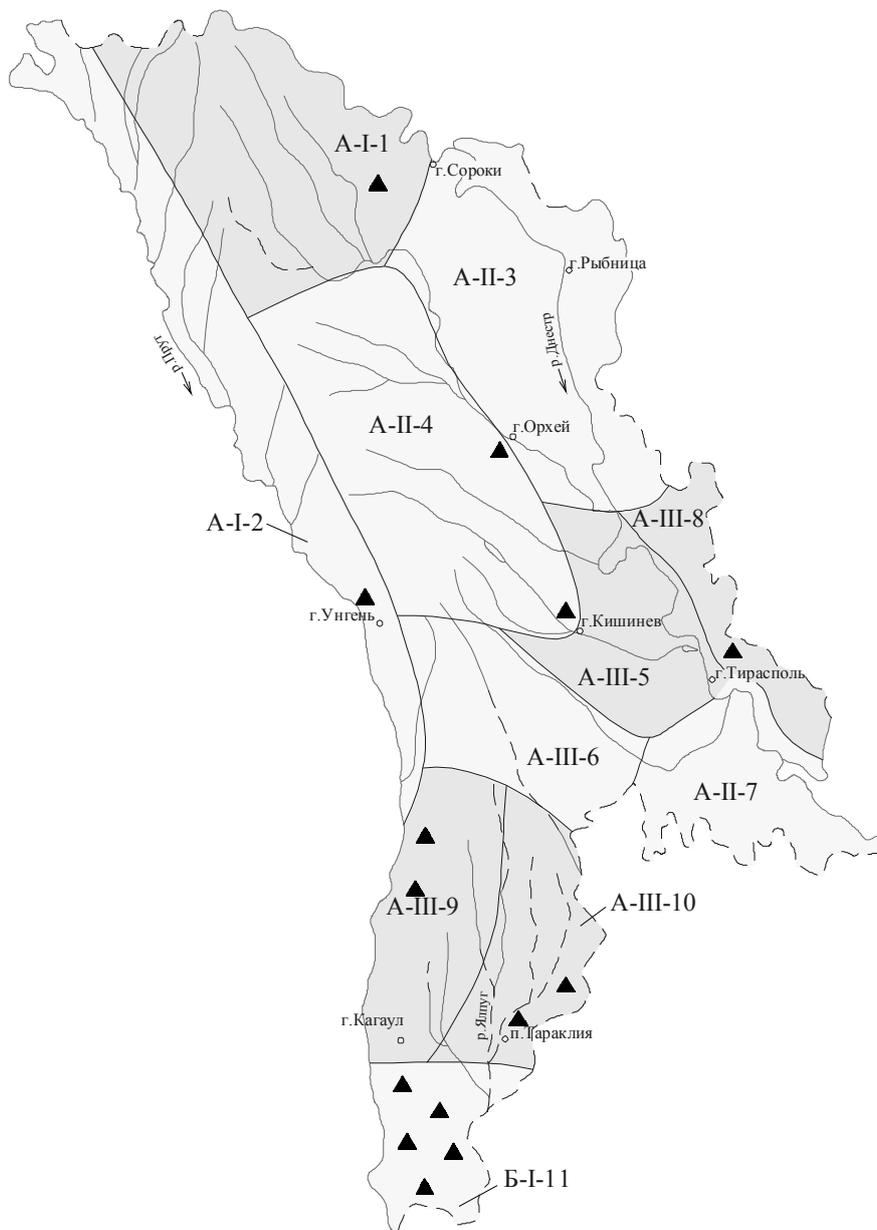


Рис. 1. Карта инженерно-геологического районирования лессовых территорий Молдовы, совмещенная с картой фактического материала:
 А – I – 2 – индекс инженерно-геологического района;
 ▲ – точка отбора образцов лессовых пород;
 Районирование лессовых территорий по величине послепросадочного уплотнения, значение коэффициента послепросадочного уплотнения лессовых пород толщи Q_3 и $Q_{3.4}$.
 □ 1,7-2,2; ■ 2,2-3,0.

Величина послепросадочного уплотнения, связанного с длительной фильтрацией воды через лессовую породу, охарактеризована по величине коэффициента послепросадочного уплотнения, впервые использованного при изучении лессовых пород Северного Кавказа [1]. Для изученных образцов его величина изменяется от 1,13 до 4,0 и более. Средние значения для выделенных лессовых толщ на территории Молдовы составляют 1,58-3,93. В результате анализа зависимости коэффициента послепросадочного уплотнения от показателей состава и свойств грунта предложена методика прогноза этой величины на основе вероятностных аналогий [3, 5]. Данная методика использована при районировании территории Молдовы по послепросадочному уплотнению. На карте (рисунок) представлена информация о послепросадочном уплотнении лессовых пород толщи $Q_{3,4}$ и Q_3 , распространенной на всей территории Молдовы, залегающей в верхней части геологического разреза. Анализ этой карты позволяет сделать вывод о том, что лессовые породы представленные супесями и легкими суглинками, распространенные на террасах рек Прут и Днестр, а так же в центральной водораздельной части междуречья, характеризуются наименьшей способностью к послепросадочному уплотнению, а более глинистые лессовые породы северной и южной частей междуречья характеризуются повышенной способностью к послепросадочному уплотнению.

Литература

1. *Ананьев В.П., Хуртин А.И.* Методика прогноза деформаций с учетом фактора длительной фильтрации // *Материалы 3-го Межведомственного совещания по мелиоративной гидрогеологии и инженерной геологии.* – М.: ВНИИГиМ, 1978. – Вып V. – С. 41-46.
2. *Олянский Ю.И.* Лессовые грунты юго-западного Причерноморья (в пределах республики Молдова). – Кишинев: Изд. Штиинца, 1992. – 130 с.
3. *Олянский Ю.И.* Опыт оценки послепросадочного уплотнения лессовых пород по лабораторным испытаниям // *Вестник ВолгГАСУ. Сер. Ест. науки.* Вып. 4 (14). – 2005. – С. 81-85.
4. *Олянский Ю.И., Богдевич О.П., Вовк В.М.* О дополнительном уплотнении некоторых типов лессовых пород Молдавии при фильтрации воды // *Известия АН МССР. Физика и техника.* – 1991. – №3(6). – С. 118-121.
5. *Олянский Ю.И., Богомолов А.Н., Оситова О.Н., Тихонова Т.М., Киселева О.В.* Опыт прогноза послепросадочного уплотнения по лабораторным испытаниям // *Модернизация и научные исследования в транспортном комплексе.* – 2012. – Т. 4. – С. 80-86.
6. *Сквалецкий Е.Н.* Инженерно-геологическое прогнозирование и охрана природной среды на примере освоения лессовых территорий Таджикистана. – Душанбе: Дониш, 1988. – 259 с.

ПРОГНОЗНАЯ МОДЕЛЬ НЕИЗОТЕРМИЧЕСКОГО ВЛАГОПЕРЕНОСА В ДИСПЕРСНЫХ ГРУНТАХ

Е.А. Федяева

МГУ им.М.В.Ломоносова, геологический ф-т, РФ, 119991, г.Москва, ГСП-1, Ленинские горы,
E-mail: elena_fedjaeva@mail.ru

Термовлагодперенос является одним из ведущих процессов перераспределения влаги в дисперсных грунтах зоны аэрации, т.е. в грунтах, находящихся в состоянии не полного водонасыщения. Эта верхняя, зачастую наиболее важная, часть грунтового массива, в пределах которой сосредоточено большинство различных инженерных сооружений вследствие наличия температурных градиентов испытывает непостоянство температуры. Подобные условия вызывают специфические механизмы массообмена, влияющие на поля влагосодержания, что ведет к изменению свойств грунтов. В этой связи возникает необходимость оценки подобного рода изменений инженерно-геологических условий и способности предсказывать эти изменения при воздействии на грунты градиентов температуры.

Поэтому целью работы является обоснование прогнозной модели для оценки изменения поля влажности в дисперсных не полностью водонасыщенных грунтах в температурном поле.

К синтезируемой модели были предъявлены следующие требования наиболее точно описывать:

- 1) эффективный перенос влаги через среднее сечение системы, имеющей некоторую исходную влажность;
- 2) динамику поля влажности в системе, то есть пространственное распределение влажности в различные моменты времени;
- 3) изменение поля влажности на любом заданном расстоянии от источника тепла.

Модель строилась на базе многочисленных экспериментов, проведенных автором с целью выявления и анализа закономерностей термовлагодпереноса в дисперсных не полностью водонасыщенных грунтах песчано-пылеватого состава [2-4].

Так как прогнозная модель, опирающаяся на опыты, проведенные в небольшом объеме грунта в лабораторных условиях, должна правильно описывать процесс, протекающий в массиве, при получении результатов необходимо учитывать различные критерии подобия [1, 5].

В процессах, изменяющихся с течением времени t , основным критерием подобия, характеризующим идентичность протекания процессов во времени, является критерий гомохронности Фурье (Fo) для определения масштаба времени при переносе вещества [1]:

$$Fo = D_1 t_1 / L_1^2 = D_2 t_2 / L_2^2 = \dots = D_n t_n / L_n^2 \quad (1)$$

где t – время от начала температурного воздействия, L – характерный размер тела, $D_{1\dots n}$ – коэффициент влагопроводности.

Для учета инерционности процесса переноса вещества по отношению к теплообмену используется критерий подобия Лыкова (Lu) [5]:

$$Lu = D/k_t \quad (2)$$

где k_t — коэффициент температуропроводности.

Для расчетов плотности потока и коэффициентов переноса используются те фазы динамики поля влажности, при которых вызываемый градиентами влажности поток влаги мал по сравнению с термовлагопереносом. Поэтому можно принять, что величину критерия гомохронности будет определять коэффициент термопереноса D_T :

$$D \approx D_T \Rightarrow Fo = D_T T_{cp} t / L^2 \quad (3)$$

где T_{cp} – величина, постоянная для всех систем с фиксированным перепадом температур на границах. Формула (3) для колонок разной длины имеет вид:

$$t_2/t_1 = L_2^2/L_1^2 \quad (4)$$

Таким образом, получив в ходе эксперимента профили влажности в колонках длиной 10 см при заданных начальной (средней) влажности W_0 и перепаде температур ΔT , а путем расчета – параметры термовлагопереноса, и применяя на практике критерий подобия (4), можно вычислить:

1) время установления стационарного профиля для любого заданного расстояния;

2) расстояние, на которое распространиться изменение влажности для любого заданного времени воздействия температурного градиента;

3) профиль влажности на требуемое расстояние для двух первых случаев.

Для этого требуется предпринять следующие шаги:

1) изучить состав и свойства грунта в массиве, прогноз поведения которого в температурном поле требуется рассчитать;

2) подобрать грунт с известными параметрами термовлагопереноса, которые были получены в ходе лабораторного эксперимента, наиболее подходящий по этим характеристикам;

3) на треугольных диаграммах фазового состава грунта [3, 4] найти значения параметров термовлагопереноса, соответствующие точке конкретного состояния грунта в массиве;

4) учитывая полученный градиент влажности (или используя имеющиеся профили влажности, полученные в ходе эксперимента) получить, применяя критерий подобия (4), новый профиль влажности для требуемого расстояния или времени его формирования по формуле:

$$W_i = W_0 + \Delta W(\chi_i - 0,5) \quad (5)$$

где ΔW – перепад влажности; W_0 – начальная влажность; χ_i – безразмерный аналог длины, вычисляемый по формуле:

$$\chi_i = x_i/L, \quad i = 0, 1, \dots, L \quad (6)$$

Полученные таким образом данные указаны в таблице. По этим профилям можно рассчитать, на сколько изменилась влажность относительно первоначальной в любой точке вблизи источника тепла при формировании стационарного профиля влажности. При этом надо учитывать, что вышеуказанный критерий подобия можно применять только при полном соответствии прогнозируемых условий заданным в эксперименте.

Таблица

Расчет сформировавшегося профиля влажности на расстоянии 1, 5 и 10 м от источника тепла

Безразмерный аналог длины (χ_i)						Время формирования полного профиля	
0	0,2	0,4	0,6	0,8	1		
Расстояние от источника тепла, см						час	сут.
0	2	4	6	8	10	20	
0	10	20	30	40	50	500	20,83
0	20	40	60	80	100	2000	83,33
Влажность, %							
6,25	8,55	10,85	13,15	15,45	17,75		

Модель, описанная выше, применима, в основном, к стационарному профилю влажности, либо, по крайней мере, к профилям, сформировавшимся в изученные промежутки времени. Однако на практике может иметь интерес распределение влажности в любой момент времени в процессе формирования стационарного профиля. С этой целью требуется изучить полученные в ходе опытов профили влажности для разных моментов времени и выявить закономерности их изменения во времени.

Если стационарный профиль близок к линейной функции, то в процессе формирования его форма далека от прямой. Применение различных функций к полученным в ходе опытов профилям влажности показало, что лучше всего их описывает логарифмическая функция:

$$W_i = \Delta W \lg(K W_0 \chi_i) + W_0 \quad (7)$$

где ΔW – перепад влажности (определяется по треугольным диаграммам) в %; χ_i – безразмерный аналог длины; W_0 – начальная влажность в %, K – безразмерный коэффициент, зависящий от W_0 . При этом свойства функции $y = \lg(x)$ таковы, что область ее определения $x > 0$. Поэтому для того, чтобы получить полный диапазон длины (для безразмерного показателя от 0 до 1) в данном случае потребовалось ввести в подлогарифмическое выражение дополнительный множитель (K), позволяющий рассчитывать значения функции в пределах $0 \leq \chi_i \leq 0,1$. Вследствие чего уравнение (7) преобразилось в следующее:

$$W_i = \Delta W \lg[K W_0 (\chi_i + 0,1(1 - \chi_i))] + W_0 \quad (7a)$$

Сравнение с профилями влажности, полученными экспериментальным путем, показало, что это уравнение удовлетворительно описывает изучаемый процесс для разных начальных условий и различных грунтов.

Удобство этого уравнения заключается, кроме всего прочего, еще и в том, что в него, помимо известных данных, входит только один независимый показатель (коэффициент K), знание которого требуется для работы модели в целом. Чтобы модель стала наиболее общей и работала во времени, требовалось изучить закономерности изменения этого коэффициента для разных грунтов и различных начальных условий.

Прежде всего, было выяснено, что изменение коэффициента K во времени можно принять как линейную функцию $K = a \cdot t + b$. Тогда, подставляя в полученные уравнения необходимое значение времени t можно сразу получить искомый коэффициент для уравнения (7а).

Кроме того, коэффициент K очень сильно зависит от начальной (средней) влажности грунта. Чтобы проанализировать эту зависимость, были построены графики зависимости коэффициентов a и b от влажности, которые были подвергнуты анализу на предмет, которая из функций описывает их наиболее правильно. Выяснилось, что коэффициент a лучше всего описывается уравнением 4-й степени, а коэффициент b – степенной функцией вида $y = 1/x$.

Рассмотрев сводные графики коэффициентов a и b для разных грунтов, было выяснено, что на них определенным образом влияет и их гранулометрический состав. Эти отличия связаны с коэффициентами уравнений 4-й степени, и степенных функций. Была предпринята попытка связать эти отличия с какими-нибудь показателями, характеризующими структуру грунтов. Так была обнаружена связь одного из коэффициентов с размером среднего радиуса пор грунтов, а другого коэффициента – с величиной удельной поверхности.

Таким образом, было показано, что используемый в уравнении (7а) коэффициент K прямо пропорционален времени протекания процесса, уменьшается с увеличением влажности в соответствии с коэффициентами a и b и зависит от типа грунта.

В уравнении (7а), помимо коэффициента K , присутствует еще одна переменная во времени – перепад влажности между источником тепла и охлажденной областью грунта ΔW . Значения этого параметра были точно известны только для 4 моментов времени: в момент начала эксперимента ($\Delta W = 0$), через 4, 7 и 20 часов с начала опыта. Поэтому было необходимо изучить закономерности изменения ΔW во времени.

Анализ формы графиков изменения ΔW во времени для различных грунтов позволил определить, что лучше всего они описываются степенной функцией со степенью в диапазоне $0 < n \leq 1$. Таким образом, зная значения ΔW даже для 2-3 моментов времени, можно получить уравнение линии тренда, по которому легко определить значение ΔW в любой другой момент времени.

Однако если данные о значениях ΔW отсутствуют, можно воспользоваться коэффициентами изотермической и неизотермической влагопроводности (D_W и D_T) и вычислить значение ΔW для стационарного состояния (его максимальная величина), используя формулу:

$$\Delta W = -D_T \cdot \Delta T / D_W \quad (8)$$

Применение этого уравнения ко всем полученным экспериментальным данным показало его работоспособность.

Для получения уравнения линии тренда необходима вторая точка, в качестве которой можно взять значение ΔW близкое к 0 (но не равное 0, в силу того, что области определения и значений степенного уравнения не равны 0), соответствующее началу опыта. наиболее близкое к началу эксперимента. Построенные таким образом графики показали, что уравнения линии тренда-1 (полученные по известным значениям ΔW) и линии тренда-2 (полученные по максимальному значению ΔW и первоначальному ΔW близкому к 0) весьма близки.

В результате проведенных исследований и расчетов алгоритм предложенной модели для построения профиля влажности для любого грунта в любой момент времени сводится к следующему.

1. *Необходимые начальные сведения*, включающие данные: о гранулометрическом составе грунта; о состоянии грунта: влажности и плотности; о перепаде влажности между нагреваемой и охлажденной областями грунта, полученные лабораторным путем (ΔW) для 2-3 моментов времени; (при отсутствии данных о ΔW) о коэффициентах D_W и D_T и времени формирования стационарного профиля; о расстоянии от источника тепла и времени, для которого требуется построить профиль влажности.

При этом необходимо учитывать, что при исследовании процесса в массиве всегда следует делать пересчет времени согласно критерию подобия (4), а также то, что перепад температур между источником тепла и температурой в массиве должен совпадать с ΔT , используемым в опытах при определении параметров термопереноса.

2. *Определение ΔW* . По имеющимся данным или по максимальному и минимальному значениям ΔW (8) строится график зависимости $\Delta W = f(t)$. По этому графику вычисляется значение ΔW в нужный момент времени.

3. *Определение коэффициента K* . Принимая во внимание тип грунта и ориентируясь на графики, полученные для данного типа, вычисляются коэффициенты a и b для нужной влажности W_0 . Далее по формуле $K = a \cdot t + b$, где t – "экспериментальное" время, соответствующее необходимому моменту времени (согласно критерию подобия) вычисляется коэффициент K .

4. *Построение профиля влажности*. Полученные (ΔW и K) и имеющиеся (W_0) данные подставляются в уравнение (7) и строится профиль влажности.

С практической точки зрения, проведенное исследование позволяет использовать предложенный алгоритм для прогноза изменения влажности грунтов с любой исходной влажностью, для любых расстояний от источника

тепла и моментов времени с начала наложения температурного поля. Разработанная математическая модель термовлагопереноса в дисперсных не полностью водонасыщенных грунтах применима для прогноза динамики поля влажности в заданных краевых и начальных условиях.

Литература

1. Глобус А.М. Физика неизотермического внутрипочвенного влагообмена. – Л.: Гидрометеоиздат, 1983.
2. Королев В. А., Федяева Е. А., Ахромеева Т. Я. Закономерности термовлагопереноса в ненасыщенных дисперсных грунтах // Инженерная геология. – 1990. – № 3. – С. 16-29.
3. Королев В.А., Федяева Е.А. Влияние фазового состава на параметры термовлагопереноса песчаных грунтов // Инженерные изыскания. – 2011. – № 10. – С. 38-46.
4. Королев В.А., Федяева Е.А. Сравнительный анализ термовлагопереноса в дисперсных грунтах разного гранулометрического состава // Инженерная геология. – 2012. – № 6. – С. 18-31.
5. Лыков А. В. Теплообмен. – М.: Энергия, 1978.

ЗАКОНОМЕРНОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ГРУНТОВ ГИДРОТЕРМАЛЬНО-МЕТАСОМАТИЧЕСКОГО ГЕНЕЗИСА

Ю.В. Фролова

Геологический факультет МГУ им. М.В.Ломоносова, 119992 Москва, Ленинские горы, д. 1.
E-mail: ju_frolova@mail.ru

1. Введение. Одной из основных теоретических задач современного грунтоведения является изучение закономерностей формирования состава, строения и свойств всего многообразия грунтов верхних горизонтов земной коры и исследование истории формирования свойств грунтов различных классов [1,7]. С этой точки зрения несомненный научный и практический интерес представляют грунты, образованные под воздействием гидротермально-метасоматических процессов. Данные грунты распространены в районах современной и древней вулканической активности, они являются вмещающими породами геотермальных месторождения горячей воды и пара, а также гидротермальных месторождений рудных и нерудных (цеолиты, бентониты) полезных ископаемых. Породы гидротермально-метасоматического генезиса достаточно полно изучены в отношении минералогии [2-5], однако сведения об их инженерно-геологических особенностях крайне немногочисленны. Между тем, их изучение актуально в связи с активным освоением нетрадиционных видов энергии, к которым относится геотермальная энергия, а также с разработкой гидротермальных месторождений полезных ископаемых. В течение более чем 20 лет на кафедре инженерной и экологической геологии геологического факультета МГУ при тесном научном сотрудничестве с лабо-

раторий геотермии ИВиС ДВО РАН ведутся комплексные исследования современных гидротермальных систем (ГТС) Курило-Камчатского региона и приуроченных к ним геотермальных месторождений горячей воды и пара [6,8,9]. При этом одним из главных аспектов изучения является вопрос о преобразовании вмещающих пород. Обобщение и анализ данных, полученных на разных ГТС (Баранского, Северо-Парамуширская, Кошелевская, Паужетская, Паратунская, Мутновская, Долина гейзеров, Эссовская), позволили выявить основные закономерности изменения свойств пород при гидротермальном процессе и показать главные факторы, контролирующие эти изменения. Полученные данные, основанные на изучении более 700 образцов гидротермально измененных пород, представляют практический интерес в связи с развитием геотермальной энергетики на территории Курило-Камчатского региона и строительством сооружений геотермальных станций.

2. Влияние гидротермальных преобразований пород на их свойства и изменение инженерно-геологических условий геотермального района. В пределах ГТС термальные воды разной температуры, состава, кислотности (щелочности) воздействуют на вмещающие породы, вызывая значительные преобразования их вещественного состава и геометрии порового пространства, в результате которых существенно меняются физические и физико-механические свойства пород. Преобразования происходят в широком спектре термодинамических и физико-химических условий, что приводит к разнообразию формирующихся пород. В результате первичные вулканогенные породы (базальты, андезиты, дациты и их туфы), превращаются в гидротермально-метасоматические породы – вторичные кварциты и монокварциты, разнообразные пропилиты, цеолитовые метасоматиты, аргиллизиты, опалиты, кварц-адуляровые метасоматиты, гидротермальные глины и т.д. (рис. 1). В зависимости от разных факторов, среди которых особенности первичной породы, РТ-условия, химический состав растворов, продолжительность взаимодействия раствор-порода, тенденция изменения свойств может быть различна. Каждая из вновь образованных гидротермальных фаций имеет свои инженерно-геологические особенности.

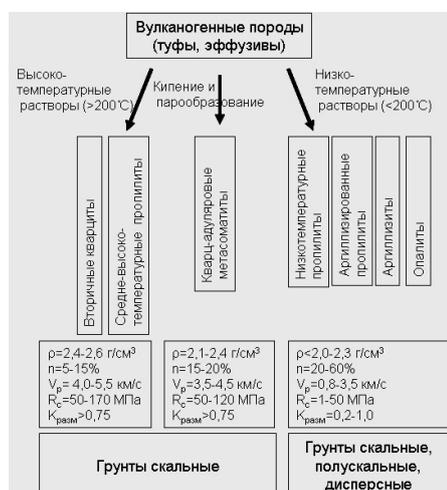


Рис. 1. Обобщенная модель формирования гидротермально-метасоматических грунтов.

Характер и масштаб гидротермальных преобразований пород во многом определяют инженерно-геологические условия геотермальных районов. Они приводят к активизации геологических процессов. В частности, на термальных полях, приуроченных к склонам вулканов, наблюдаются многочисленные оползни течения,

образующиеся во вновь сформированных увлажненных пластичных глинистых толщах, залегающих на скальном основании. Преобразование скальных грунтов вплоть до гидротермальных глин в основании склона явилось одной из причин формирования катастрофического оползня в Долине гейзеров, произошедшего в июне 2007 г. Под действием гидротермальных процессов меняются не только свойства – может измениться и класс грунтов: в приповерхностной зоне скальные вулканические массивы нередко превращаются в толщи дисперсных (глинистых) грунтов, и наоборот, рыхлые пирокластические отложения или слаболитифицированные туфы цементируются и превращаются в прочные и плотные толщи вторичных кварцитов, опалитов или высокотемпературных пропицитов. Гидротермальные преобразования изменяют гидрогеологические условия. Так, гидротермальные процессы могут сопровождаться выщелачиванием и формированием вторичной пористости или, напротив, заполнением пор и трещин вторичными минералами. В результате закрываются старые и формируются новые пути движения термальных вод, что, в свою очередь, изменяет структуру проницаемости массива и гидродинамический режим ГТС. Как показывает опыт эксплуатации многих геотермальных месторождений в результате изменения термогидродинамического режима снижается продуктивность скважин, смещается водозабор, возникает необходимость бурения новых скважин.

3. Динамика гидротермального процесса. Анализируя динамику гидротермального процесса с точки зрения изменения свойств пород можно сделать вывод, что высокотемпературные растворы ($T > 200^{\circ}\text{C}$), воздействуя на вулканогенные породы, вызывают их уплотнение, упрочнение, повышение деформационных характеристик, снижение пористости и проницаемости. Эта тенденция наблюдается для всех основных типов растворов (хлоридно-натровых, сульфатно-хлоридных, гидрокарбонатных), формирующихся в глубинных зонах ГТС. Упрочнение происходит вследствие заполнения межобломочного (межкристаллического) пространства вторичными минералами, формирования жестких, прочных кристаллизационных контактов между зёрнами, перекристаллизации стекловатого базиса во вторичный микроагрегат, состоящий из более плотных минералов, прочно сросшихся между собой. Среди вторичных минералов большая роль принадлежит кварцу, альбиту, эпидоту, прениту, серициту, адуляру. Преобразования туфов под действием средне- и высокотемпературных растворов детально исследованы на Мутновской, Паратунской, Баранского и Северо-Парамуширской ГТС. В частности, плотность туфов увеличивается от 1,1-1,7 г/см³ у неизмененных разностей до 2,3-2,6 г/см³ у переработанных пород, прочность повышается на порядок (до 100 МПа и более), скорость упругих волн V_p повышается в 2-3 раза (от 1,5-2,5 км/с до 4,5-5,5 км/с). При этом пористость снижается с 30-50% до первых процентов, существенно уменьшается водопоглощение (от 25-40% до первых процентов). Эффузивные породы под влиянием высокотемпературных растворов также испытывают уплотнение и упрочнение, хотя и в меньшей степени, по сравнению туфами. В некоторых случаях степень переработки может быть настолько высокой, что породы утрачивают свои первичные осо-

бенности: в этом случае первичная разница в свойствах между эффузивными и вулканогенно-обломочными породами исчезает.

Динамика изменений свойств пород, вызванных воздействием низкотемпературных растворов ($T < 200^\circ\text{C}$), более сложна и многообразна, хотя в целом преобладает снижение прочностных и деформационных характеристик. Изменение свойств пород во многом зависит от того, какой процесс превалирует: выщелачивание породы, залечивание пор и трещин или метасоматическое замещение первичных минералов более устойчивыми новообразованиями. *Среди низкотемпературных фаций выделяются пропилиты – цеолитовые, кальцит-гидрослюдистые и аргиллизированные, гидротермальные аргиллиты и глины, опалиты.* В целом, цеолитизация и аргиллизация способствуют снижению упруго-плотностных и прочностных показателей, а под действием сернокислотного выщелачивания формируются опалиты, обладающие повышенными упругими и прочностными характеристиками за счет жесткого кремнистого каркаса.

Наиболее сложными в инженерно-геологическом плане являются гидротермальные глины, которые слагают верхнюю часть разреза термальных полей и сопряженных с ними областей и служат основанием для инженерных сооружений, в частности строений геотермальных станций. Толщи гидротермальных глин обычно неоднородны, она наследуют первичную структуру вулканогенных пород, в них часто сохраняются реликты протолита в виде обломков разного размера. В частности, процесс превращения массива андезитов в глины детально исследован на Нижне-Кошелевском термальном поле. Преобразования начинаются по проницаемым зонам вулканогенной толщи – зонам трещиноватости, в которые термальные растворы проникают в первую очередь. В результате стенки трещин замещаются глинистыми минералами. Постепенно трещины расширяются, в зону переработки захватываются все большие участки вулканитов. Сформированная толща глин неоднородна, содержит реликтовые фрагменты андезитов – сильно трещиноватые, ожелезненные, аргиллизированные. Поскольку прочность на разрыв андезитов невысокая (в среднем она меняется в диапазоне от 2 до 10 МПа, а при переработке еще снижается), то можно предположить, что давление набухания, развиваемое увлажненными глинами, может способствовать дополнительному растрескиванию массива андезитов. Глины имеют преимущественно смектитовый состав и псевдоморфную структуру, унаследованную от андезита; также в минеральном составе присутствуют низкотемпературные модификации аморфного кремнезема. При микроскопических исследованиях в шлифах установлено, что преобразования на микроуровне начинаются с замещения вулканического стекла андезитов минералами группы смектита. Вследствие процесса выщелачивания формируются вторичные поры. Отчетливо видны стадии замещения фенокристаллов плагиоклаза: 1. Развитие смектитов по микротрещинам; 2. Замещение внутренней части кристалла; 3. Полное псевдоморфное замещение плагиоклаза смектитами. В гранулометрическом составе глинистых грунтов преобладают частицы размером менее 0,005 мм. При перерождении андезитов в глины происходит резкое снижение плотно-

сти (от 2,5–2,6 г/см³ у андезитов до 1,0–1,05 г/см³ у глин) и увеличение пористости от первых процентов до 60%. Толща пород приобретает пластические свойства ($I_p=30$), становится гигроскопичной и склонной к набуханию при увлажнении.

4. Заключение. Гидротермальные системы Курило-Камчатской островной дуги сформированы в толщах вулканогенных пород неоген-плейстоценового возраста. Термальные воды, воздействуя на вмещающие породы, приводят к существенным преобразованиям их состава, вплоть до формирования новых гидротермально-метасоматических пород (монокварциты, разнообразные пропилиты, цеолитовые породы, аргиллизиты, опалиты, кварц-адуляровые метасоматиты), обладающих иными физико-механическими характеристиками. Наиболее плотными, прочными, низкодеформируемыми являются средне- и высокотемпературные образования – высоко- и среднетемпературные пропилиты, вторичные кварциты, кварц-адуляровые метасоматиты. Они относятся к скальным грунтам: прочным и высокой прочности, низкопористым, неразмягчаемым. Цеолитовые пропилиты, аргиллизированные пропилиты, смектит-цеолитовые аргиллизиты могут относиться как к скальным, так и к полускальным грунтам. Наиболее сложными в инженерно-геологическом плане являются гидротермальные глины, слагающие пространственно-неоднородные толщи в приповерхностной зоне и представляющие собой дисперсные грунты – пластичные, гигроскопичные, повышенной сжимаемости, иногда набухающие.

Высокотемпературные глубинные растворы, практически независимо от их состава, производят уплотнение, упрочнение, повышение деформационных характеристик, снижение пористости и проницаемости. Все грунты, образованные под действием высокотемпературных вод относятся к классу скальных. Динамика изменений свойств пород, вызванных воздействием низкотемпературных растворов более сложна и многообразна, хотя в целом превалирует тенденция снижения значений физико-механических свойств. Среди низкотемпературных образований могут присутствовать грунты разных классов – скальные, полускальные и дисперсные. Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект №13-05-00530 а).

Литература

1. Грунтоведение / Под ред. В.Т. Трофимова. 6-е изд. – М.: Изд-во Моск. ун-та, 2005. – 1024 с.
2. Метасоматизм и метасоматические породы / Ред. В.А. Жариков, В.Л. Русинов. – М.: Научный мир, 1998. – 492 с.
3. *Набоко С.И.* Гидротермальный метаморфизм пород в вулканических областях. – М.: Изд-во АН СССР, 1963. – 172 с.
4. Петрография и петрология магматических, метаморфических и метасоматических горных пород / Под ред. В.С. Попова, О.А. Богатикова. – М.: Логос, 2001. – 768 с.
5. *Рычагов С.Н., Коробов А.Д., Главатских С.Ф., Гончаренко О.П., Рихтер Я.А.* Эволюция метасоматических процессов в структуре гидротермально-магматических систем островных дуг // Материалы международного полевого Курило-Камчатского семинара «Геотермаль-

ные и минеральные ресурсы областей современного вулканизма» 16 июля–6 августа 2005. – С. 207-216.

6. Рычагов С.Н., Соколов В.Н., Чернов М.С. Гидротермальные глины геотермальных полей Южной Камчатки: новый подход и результаты исследований // *Геохимия*. – № 4. – С. 378-392

7. Теоретические основы инженерной геологии. Геологические основы / Под ред. Е.М. Сергеева. – М.: Недра, 1985. – 332 с.

8. Фролова Ю.В., Голодковская Г.А., Ладыгин В.М., Рычагов С.Н. О природе инженерно-геологических свойств гидротермально-метасоматических пород Курило-Камчатского региона // *Вестник Моск. ун-та. Сер. 4. Геология*. – 1999. – № 3. – С. 36-42.

9. Фролова Ю.В., Ладыгин В.М., Рычагов С.Н. Закономерности преобразования состава и свойств вулканогенных пород в гидротермально-магматических системах Курило-Камчатской островной дуги // *Вестник Моск. ун-та. Сер. 4. Геология*. – 2011. – № 6. – С. 52-60.

МИКРООРГАНИЗМЫ ДИСПЕРСНЫХ ПОРОД КАК ПОТЕНЦИАЛЬНЫЙ ИСТОЧНИК УГРОЗЫ ЗДОРОВЬЮ ЧЕЛОВЕКА

Н.М. Хансварова

Южный федеральный университет, г. Ростов-на-Дону, ул. Зорге, д.40.
E-mail: N/Khansvarova@yandex.ru

В 1978 г в монографии «Инженерная геология» под редакцией акад. Е.М.Сергеева впервые была подчеркнута важность живого компонента грунта в формировании его свойств. Е.М. Сергеев считал, что игнорирование участия микроорганизмов в физико-химических процессах ведет к неполному представлению о грунте как многокомпонентной системе [3]. Однако, микробиологическая деятельность является не только фактором формирующим и изменяющим состав, состояние и свойства пород, но и представляет интерес с экологической точки зрения.

Анализ литературных источников и результатов микробиологических исследований, проведенных на территории г. Ростова-на-Дону показал, что некоторые микроорганизмы, выделенные из дисперсных пород, относятся к патогенным [15]. Здоровье человека во многом определяется особенностями региона, в котором он проживает. Первостепенное значение имеют геологические условия, а именно, состав, состояние и генезис пород, слагающих городские территории. Горные породы вмещают водоносные горизонты, используемые для питьевого водоснабжения; служат основанием зданий и сооружений; материнским субстратом почв, на которых произрастают сады и огороды. Человек постоянно соприкасается с горными породами в процессе производственной деятельности: при строительстве дорог и жилья; прокладке коммуникаций; разработки карьеров и т.д. Породы различных литологических типов отличаются воздушным и водным режимами, химическим соста-

вом, содержанием органических веществ, поэтому для каждого региона характерна определенная специфика населяющей микрофлоры.

Средой обитания микроорганизмов на территории Европейской части юга России являются дисперсные породы, представленные глинами, суглинками, разделенными 3-5-ю ярусами погребенных почв ниже-, средне и верхнечетвертичного возраста. Высокая пористость, наличие макропор, широкий диапазон влажности, присутствие в вещественном составе неустойчивых к выветриванию алюмосиликатов, органического вещества создают благоприятные условия для жизнедеятельности микроорганизмов. Кроме того, известно, что для большинства возбудителей заболеваний человека необходимо оптимальное значение рН среды – нейтральная и слабощелочная, что характерно для исследуемых дисперсных пород [1, 16].

Ничтожно малые размеры микроорганизмов (от долей микрона до нескольких микронов) обеспечивает им возможность с пылью растений и частицами пыли перемещаться на значительные расстояния и непосредственно контактировать с кожей и слизистыми оболочками человеческого организма.

Проведенные микробиологические исследования позволяют сделать вывод о том, что территорию г. Ростова-на-Дону можно отнести к районам с потенциально высоким уровнем развития некоторых инфекционных заболеваний, связанных с микроорганизмами, обитающими в почвах и породах. Преобладание пылевой фракции в петрографическом составе дисперсных пород обеспечивает проникновение микроорганизмов в дыхательные пути из почв, пород, и растительного покрова. Микробиоценоз дисперсных пород до глубины 20 м образуют бактерии, актиномицеты, микромицеты. Типичным представителем микромицетов являются грибы р. *Aspergillus*, р. *Mucor*, р. *Penicillium*, р. *Alternaria* и р. *Cryptococcus*. Широкое распространение получили бактерии р. *Bacillus*. Эти микроорганизмы выявлены по всему разрезу пород. Кроме того, обнаружены мелкие неспороносные палочки бактерий предположительно р. *Bacterium*; бактерии р. *Pseudomonas* и р. *Clostridium*. В актиномицетной линия преобладают р. *Streptomyces*, р. *Mycobacterium*, р. *Actinomyces*, р. *Corynebacterium*, *Nocardia* [15].

Ниже приводится краткая характеристика наиболее патогенных видов микроорганизмов в составе выделенных родов.

1. *Aspergillus* – род высших плесневых грибов. Они широко распространены в природе, очень устойчивы к воздействиям внешней среды. С деятельностью этих микроорганизмов связан аспергиллёз – широкий спектр опасных заболеваний человека. Заражение грибами рода *Aspergillus* происходит через дыхательные пути и может поражать дыхательную, центральную нервную систему, пищеварительный тракт, кожу, органы чувств. Аспергиллёзный менингит или энцефалит в большинстве случаев заканчивается летальным исходом [2].

2. В дисперсных породах могут быть распространены патогенные виды грибов рода *Penicillium*, вызывающие заболевания у человека известные под названием пенициллезозы. У больных бронхиальной астмой обнаружена вы-

сокая частота положительных внутрикожных проб с грибковыми аллергенами *Penicillium* и *Alternaria* [14].

3. В микробиологии описаны 299 видов микрогрибов в роде *Alternaria* [9, 16]. Они являются естественной частью микромицетной флоры почвы и дисперсных пород. С микроорганизмами р. *Alternaria* связаны многочисленные болезни человека. Грибковые колонии вырабатывают различные токсичные соединения, могут расти и размножаться на коже и слизистой оболочке, в том числе на глазных яблоках и в дыхательных путях [6]. *Alternaria* часто вызывает аллергию [14].

5. Грибы рода *Mucor* обитают в почве, породах и воздухе. Представители вызывают мукоромикозы легких, головного мозга и др. органов [8].

6. Криптококкоз – инфекционное заболевание, вызываемое дрожжевыми грибами р. *Cryptococcus*. Характеризуется поражением ЦНС, легких, кожи, слизистых оболочек. Возбудитель может находиться в почве, дисперсных породах. Инфекция передается воздушно-пылевым путем. Некоторые виды р. *Cryptococcus* поражают кожу и способствуют развитию системных микозов [5, 12, 18].

7. Некоторые представители р. *Bacillus* – спорообразующей почвенной бактерии, продуцируют энтеротоксины, которые вызывают токсикоинфекции у человека. *B. anthracis* является возбудителем сибирской язвы, отнесен к IV группе патогенности. Механизм передачи возбудителя контактный – от бактерий, находящихся в почве или породе, к живому организму. Сибиреязвенная бактерия вне организма при доступе кислорода образует споры, вследствие чего обладает большой устойчивостью. Споры возбудителя сибирской язвы, сохраняются в почве в течение нескольких лет [10, 16]. Обнаруженный в лессовых породах вид *Bacillus subtilis* аллергичен для человеческого организма [12].

8. Среди бактериальной флоры дисперсных пород, к категории условных патогенов относят неспороносные бактерии *Pseudomonas*. Важное значение с медицинской точки зрения имеет вид *pseudomonas aeruginosa* (синегнойная палочка) – один из основных возбудителей локальных и системных гнойно-воспалительных процессов. Пути передачи инфекции изучены недостаточно, предполагают, что источником заражения может быть окружающая среда, включая почву, породы и водоемы. Инфекционные заболевания человека могут вызывать некоторые другие виды псевдомонад, например, *pseudomonas mallei* и *pseudomonas pseudomallei*, которые могут являться причиной пневмоний, бактериемий, септиемий, заболеваний мочеполовой системы. В 6% всех случаев острого простатита, эпидидимита и орхита возбудителями являются *Pseudomonas spp.* Патогенны для человека также виды *pseudomonas maltophilia*, *pseudomonas cepacia*, *pseudomonas fluorescens*, *pseudomonas testosteroni* и *pseudomonas putida* [17].

9. Представители р. *Clostridium* – самые опасные из болезнетворных микроорганизмов. *C. botulinum* обитает в почве и уличной пыли. Наиболее распространены бактерии типа А и В, которые образуют многочисленные колонии в почвах, и водоемах. В условиях теплого климата споры в почве не

только способны длительно сохраняться, но и размножаться. При контакте с почвами и породами данные микроорганизмы проникают в раны и царапины и вызывают т.н. раневой ботулизм [7]. Кроме того, из почвы или испражнений споры возбудителя попадают на различные объекты и могут загрязнять пищевые продукты. Другие виды *Clostridium* продуцируют токсины являются возбудителями газовой гангрены, столбняка или вызывают локальные повреждения в месте заражения. Например, столбнячная палочка – грамположительная анаэробная бактерия рода *Clostridium*, является возбудителем столбняка. Токсин отнесён ко II группе патогенности. Споры обнаруживаются в почве. Больше половины заболевших трудятся в сельском хозяйстве, инфицируются в результате ранений лопатой, гвоздём или стерней во время работы на огороде, поле [10, 19].

10. *Streptomyces* – род актиномицетов является самым большим родом семейства (более 500 видов) [9]. Основными средами обитания являются почва, породы и слои морской воды. *Streptomyces* способны вызывать бактериемию человека [10].

11. К нокардиоподобным относится род аэробных актиномицетов р. *Corynebacterium*, р. *Mycobacterium*, р. *Nocardia* [9].

Род *Mycobacterium* включает более 50 видов и подвигов патогенных, условно-патогенных и сапрофитов, широко распространенных в природе [9]. Не менее 25 из них играют важную роль в патологии человека, являясь возбудителями туберкулеза, микобактериозов и проказы. Возбудителем последней является бацилла Хансена – вид актиномицетов из семейства микобактерий [4, 11]. Особой устойчивостью в окружающей среде отличается микобактерия *M. tuberculosis*. Так, при температуре 23 °С во влажном и тёмном месте она сохраняется до 7 лет. в уличной пыли микроорганизм сохраняется до 2 месяцев, в почвах – до 6 месяцев.[12, 16] Отдельные виды рода *Actinomyces* (*A. israelii*, *A. naeslundii*, *A. bovis* и др.) являются представителями нормальной микрофлоры организма человека или животных, однако в определенных условиях вызывают актиномикозы. Болезнь возникает эндогенным и экзогенным путями. Экзогенная инфекция имеет место при заражении людей аэрозольным путем из внешней среды. Установлено, что актиномицеты способны сохранять свою жизнеспособность и размножаются в окружающей среде. В клетках кожи, где образуются воспалительные очаги – актиномикомы обнаруживаются друзы актиномицетов [13].

Nocardia — род аэробных актиномицетов, включает виды, патогенные для человека, являются причиной заражения нокардиозом, который характеризуется длительным прогрессирующим течением с частым поражением легких, центральной нервной системы. Нередки летальные исходы. Из естественной средой обитания – почв, пород, растений, микроорганизмы р. *Nocardia* могут попадать в воздух в виде фрагментов мицелия или содержаться в городской пыли. Таким образом, легочные инфекции возникают, главным образом, после вдыхания зараженных частичек пыли. Иногда, микроорганизмы могут внедряться после травмы через раны и царапины при контакте с почвами и возможно, дисперсными породами [10].

На основании полученных результатов и проведенного анализа литературных источников можно дать лишь предварительную оценку степени потенциальной угрозы развития инфекций, связанных с выделенными из дисперсных пород микроорганизмами. Подобные работы крайне ограничены, а изучение микробного сообщества дисперсных пород с экологических позиций требует дальнейших трудоемких исследований. Данное сообщение является только «эколого-микробиологической рекогносцировкой» минерального компонента геологической среды городских территорий. Следующий этап исследований должен быть направлен на выявление конкретных видов патогенных микроорганизмов, описанных выше. Подтверждение или опровержение результатов предварительного анализа, позволит дать окончательную оценку возможной потенциальной угрозе здоровью человека, связанной с другим, не менее важным компонентом геологической среды – биотическим.

Литература

1. *Ананьев В.П., Коробкин В.И.* Минералы лессовых пород. – Ростов-на-Дону: Изд-во Ростовского университета, 1980. – 195 с.
2. Аспергиллус // Энциклопедический словарь Брокгауза и Ефрона: В 86 томах (82 т. и 4 доп.). – СПб., 1890–1907.
3. *Болотина И.Н., Сергеев Е.М.* Микробиологические исследования в инженерной геологии // Инженерная геология. № 5. – М.: Изд-во Наука, 1978. – С 3-17.
4. *Борисов Л. Б.* Медицинская микробиология, вирусология и иммунология. – МИА, 2005. – С. 442–443.
5. *Возианова Ж.И.* Инфекционные и паразитарные болезни. – Киев: Здоров'я. – Т. 2. – 696 с.
6. *Воробьев А. А.* Атлас по медицинской микробиологии, вирусологии и иммунологии. – МИА, 2003. – С. 75.
7. *Куценко С. А. Бутомото Н. В. Гребенюк А. Н.* Военная токсикология, радиобиология и медицинская защита / Иванов В.Б. – Фолиант, 2004. – 528 с.
8. *Мюллер Э., Леффлер В.* Микология. – М., 1995.
9. Определитель бактерий Берджи. – М., 1995.
10. *Поздеев О. К.* Медицинская микробиология. – М.: ГЭОТАР-Медиа, 2007. – 768 с.
11. *Пяткин К. Д.* Микробиология с вирусологией и иммунологией. – М.: Медицина, 1971. – С. 267–268.
12. *Стейнер Р., Эдельберг Э., Ингрэм Д.* Мир микробов. Т.3. – М.: Мир, 1979. – 486 с.
13. *Сутеев Г.О.* Актиномикоз. – Изд-во «Государственное издательство медицинской литературы», 1951. – 304 с.
14. *Фрадкин В.А.* Аллергены. – М.: Изд-во «Медицина», 1978. – 256 с.
15. *Хансварова Н.М., Гайдамакина Л.Ф.* Исследование микрофлоры лессовых пород г. Ростова-на-Дону // Сергеевские чтения. Вып. 2. Материалы годичной сессии Научного совета РАН по проблемам геоэкологии, инженерной геологии и гидрогеологии. – М.: ГЕОС, 2000.
16. *Шлегель Г.* Общая микробиология. – М., 1987.
17. *Clarke P.H., Richmond M.H. (eds.)* Genetics and Biochemistry of Pseudomonas // New York, John Wiley., 1975.
18. *Jawetz E., Melnick J.L., Adelberg E.A.* Review of Medical Microbiology, 12th ed., Los Altos, Calif., Lange Medical Publications, 1976.
19. *Sherris, John C.* Медицинская микробиология = Medical Microbiology. – 4-е изд. – McGraw-Hill Medical Publishing Division, 2004.

ОСОБЕННОСТИ СТРОЕНИЯ И ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ АРГИЛЛИТОПОДОБНЫХ ГЛИН СОЧИНСКОЙ СВИТЫ В СВЯЗИ С УСЛОВИЯМИ ИХ ОБРАЗОВАНИЯ

А. А. Хмелевцов, Ф.С. Карпенко, В.Н. Кутергин, Р.Г. Кальбергенов

Ростовский государственный строительный университет, 344022, г. Ростов-на-Дону,
ул. Социалистическая, д. 162. E-mail: geo61rus@yandex.ru
ИГЭ РАН, 101000, Москва, Уланский пер., д. 13, стр. 2, а/я 145.
E-mail: kafs08@bk.ru, vank@bk.ru

Решение о проведении зимних олимпийских игр в Сочи дало старт грандиозному строительству, которое развернулось не только в самом городе, но и за его пределами. Перед инженерами России и зарубежья стояла задача в кратчайшие сроки и максимально качественно возвести десятки уникальных сооружений, улучшить инфраструктуру города за счет расширения существующих дорог и строительства новых транспортных артерий, многоуровневых развязок и тоннелей. Были применены новейшие технологии при проведении инженерно-геологических изысканий, уникальные конструктивные решения в строительстве с учетом сложного геологического строения территории и сильной расчлененностью рельефа.

Однако избежать проблем в процессе строительства многих объектов не удалось. Часто возникали аварийные ситуации, препятствующие завершению строительства отдельных сооружений в запланированные сроки. Одной из основных причин возникновения аварийных ситуаций на объектах является недостаточная изученность инженерно-геологических свойств грунтов основания сооружений, представленных отложениями аргиллитоподобных глин сочинской (P_3sc) свиты, мощность которых достигает ста и более метров.

Ниже приведены примеры многочисленных аварийных ситуаций, возникавших на строительных объектах в местах распространения аргиллитоподобных глин сочинской свиты.

При строительстве автомобильной транспортной развязки в двух уровнях на пересечении ул. Транспортной со съездом с автомобильной дороги «Обход города Сочи» около Сочинской ТЭС были проведены работы по подрезке прилегающего склона в виде закругленных террас. В основании подрезки располагается кольцевая развязка. Высота подрезаемого склона около 30 м. Подрезаемый склон сформирован природными эрозионными процессами и до начала планирования территории не был подвержен техногенным воздействиям. Породы, из которых образованы искусственные террасы, представлены слоистой толщей аргиллитоподобных глин разной степени выветрелости. На третий день после подрезки склона, после выпадения кратковременных ливневых осадков, на подошве второй сверху ступени образовались трещины отрыва шириной раскрытия до 5–8 см, в результате чего от массива отделился оползневой блок размером 3×4 м. На четвертый

день образовались новые трещины отрыва, охватившие почти всю площадь подрезанной ступени склона. Тело оползня увеличилось в размерах до 4 м в поперечном и 8–10 м в продольном сечении.

Причиной образования оползней на склонах, сложенных аргиллитоподобными глинами, является нарушение природного сложения грунтового массива с последующим замачиванием атмосферными осадками. Усугубляет положение то, что ступени трассы сформированы из коры выветривания АПГ, наиболее активно подверженной оползневым процессам. Более того, на каждой ступени планируется строительство габионов, которые не укрепляют склон, а наоборот дополнительно нагружают его и хорошо фильтруют атмосферные осадки.

На пересечении улиц Виноградная и Фадеева ведется строительство промежуточного доступа, от которого одновременно в северном и южном направлениях намечается строительство тоннелей 8 и 8а. Укрепление стенок портала производилось с помощью сооружения шпунтового ряда свай плотно прилегающих к друг другу и заглубленных ниже поверхности планировки портала на 15 м. Дренаж грунтовых вод был организован посредством вбитых в межсвайное пространство металлических труб без отсыпки пространства между сваями и грунтовым массивом дренирующими крупнообломочными грунтами. В результате произошел подпор грунтовых вод, замачивание грунтового массива и, как следствие, набухание аргиллитоподобных глин. Это привело к деформации подпорных сооружений. После выявления наличия деформаций в телах свай возникла необходимость дополнительного укрепления конструкции четырьмя рядами горизонтально забуренных анкеров, которое временно приостановило процесс деформаций.

3 марта 2013 г. в районе пересечения улиц Виноградная и Фадеева произошел вывал в тоннеле 8а объемом около 200м³. В результате аварии пострадали два дома, находившиеся непосредственно над телом тоннеля. Трехэтажный жилой дом провалился под землю на глубину около 5 м. Высокоэтажный строящийся жилой дом устоял, но по всей конструкции образовались трещины шириной раскрытия до 2–3 см. Оба дома восстановлению не подлежат.

Грунтами основания зданий, как и вмещающими грунтами тоннеля, являются аргиллитоподобные глины сочинской свиты.

В месте вывала мощность грунтовой толщи аргиллитоподобных глин не превышала 20–25 м. При строительстве зданий природное сложение толщи было нарушено с поверхности, а при строительстве тоннеля – снизу (изнутри). Нарушение естественного залегания грунтовой толщи сверху и снизу одновременно спровоцировало процессы разуплотнения, набухания, уменьшения прочности глин и, как следствие, обрушение массива.

В июне-июле 2010 г. по улице Транспортная велись работы по реконструкции автодороги с расширением проезжей части и подрезкой прилегающих склонов, сложенных аргиллитоподобными глинами.

В процессе производства строительных работ строители столкнулись с активным осыпанием, оползанием и обвалами подрезаемого склона, что тре-

бовало дополнительных усилий по его закреплению бетонными плитами и металлической сеткой.

Подпорные сооружения были возведены на фундаменте из буроналивных свай с диаметром свай до 90 мм и глубиной заложения от 7 до 15 м (в зависимости от высоты подрезанного склона). Буроналивные сваи объединялись железобетонным ростверком, на котором возводилась монолитная железобетонная заборка с устройством деформационных швов с интервалом 5–7 м.

В ноябре-декабре 2011 г. было завершено строительство подпорных стен. В качестве засыпки пространства между подпорными стенами и подрезанным склоном использовался глинистый материал, в том числе и аргиллитоподобная глина.

Над подпорной стеной проходит автодорога. Верхняя часть засыпки с поверхности декоративно отсыпана крупным щебнем без устройства поверхностной гидроизоляции и водоотводных лотков. Поверхностные сточные воды легко проникают вглубь глинистой засыпки, увлажняя её и провоцируя процессы набухания аргиллитоподобной глины, содержащейся в засыпном грунте.

Через 5 месяцев после завершения строительства были зафиксированы деформации подпорных сооружений. Общие горизонтальные смещения по верхней части стен достигали 5–10 см, а относительные, по деформационным швам – 3–5 см. Конструкция подпорных стен не предусматривала дополнительное усиление анкерами, но после выявления многочисленных прогрессирующих деформаций конструкции, было принято решение об усилении подпорных сооружений двойным рядом анкеров, забуренных под углом 30° в грунтовый массив. Устройство двойного ряда анкеров замедлило процессы деформаций подпорных стен, но не устранило причину.

В промежутках между подпорными стенами вдоль ул. Транспортная остались незакрепленные склоны. Эрозионные процессы на подрезанных и незакрепленных склонах, сложенных аргиллитоподобными глинами протекают с большой скоростью. Верхний элювиальный слой, разрушенный до состояния дресвы и щебня с глинистым заполнителем, смывается поверхностными потоками к основанию склона, обнажая менее выветрелые слои аргиллитоподобных глин, которые вновь подвергаются активному выветриванию. Поверхностные потоки образуют глубокие эрозионные врезы, что увеличивает площадь выветривания.

Приведенные примеры показывают, что аргиллитоподобные глины сочинской свиты обладают особыми свойствами, отличающими их от обычных аргиллитов. Свойства этих глин, главным образом их гидрофильность и, вызванное этим резкое снижение устойчивости при насыщении водой, не были учтены при строительстве описанных объектов, что и привело к многочисленным аварийным ситуациям.

Свойства аргиллитоподобных глин определяются особенностями их микроструктурного строения и контактных взаимодействий между мине-

ральными частицами, обусловленными историко-геологическими особенностями их формирования [2, 7–10].

Накопление отложений сочинской свиты происходило в верхнем палеогене (олигоцене) за счет поверхностного смыва терригенного материала горных сооружений Кавказа и его отложения в опресненных лагунах и мелководном шельфе, после чего они испытывали диагенетические и катагенетические преобразования на глубинах до 1.5 км при температурах около 60°C [1]. В результате этих преобразований глинистые отложения сочинской свиты приобрели свойства, характерные для обычных аргиллитов, формирование которых происходило в аналогичных условиях. В естественном залегании они имеют высокую плотность ($\rho=2.45\text{--}2.50\text{ г/см}^3$, $\rho_d=2.35\text{--}2.38\text{ г/см}^3$) и прочность ($\varphi=70\text{--}80^\circ$, $C=150\text{--}170\text{ кПа}$), влажность грунтов составляет 7–9%, число пластичности (I_p)=13–22%, показатель текучести (I_L) = –1.

Особенности состава отложений сочинской свиты и условий их накопления в опресненных бассейнах обусловили то, в процессе начальной стадии катагенеза цементации частиц не происходило и фазовые (цементационные) контакты, характерные для этой стадии литогенетических преобразований глинистых пород [4], не сформировались. В результате изменения микроструктуры глинистых отложений сочинской свиты под воздействием высокого геостатического давления и температуры происходило продавливание гидратных пленок, переориентация минеральных частиц, уменьшение угла, под которым частицы расположены друг к другу, и соответственное увеличение площади их взаимодействия. При этом между частицами возникают дополнительные ионно-электростатические связи [3,5,6], которые и обуславливают описанные выше физические и механические свойства этих пород. В отличие от цементационных, ионно-электростатические связи являются обратимыми. Поэтому при вскрытии отложений сочинской свиты и их контакте с водой происходит разрушение данных связей и восстановление гидратных пленок минеральных частиц. За счет этого происходит изменение микроструктуры глин, угол, под которым частицы расположены друг к другу, увеличивается, вследствие чего формируются переходные (точечные), а при достаточно долгом водонасыщении и коагуляционные контакты между глинистыми частицами [4, 6]. В результате отложения сочинской свиты, в естественном состоянии обладающие физическими и механическими свойствами, характерными для аргиллитов, приобретают свойства твердых, полутвердых и даже пластичных глин. Именно эта особенность отложений сочинской свиты позволяет характеризовать их как аргиллитоподобные глины.

На различных стадиях водонасыщения свойства глин сочинской серии меняются следующим образом. При увеличении влажности до 20–22% они приобретают свойства твердых глин – величина показателя текучести (I_L) повышается до –0,1, плотности (ρ) – снижается до 2,10–2,15 г/см³, плотности сухого грунта (ρ_d) до 1,70–1,80 г/см³. Прочность глин также понижается ($\varphi=40^\circ$, $C=130\text{ кПа}$). При увеличении влажности до 25–30% и выше отложения приобретают свойства пластичных глин. Величина показателя текучести (I_L) увеличивается до 0,05–0,35, плотности (ρ) – снижается до 2,00–1,90 г/см³,

плотности сухого грунта (ρ_d) до 1,60–1,45 г/см³. Значительно понижаются при этом прочностные свойства глин (φ до 40–45°, C до 25–35 кПа). При этом процесс водонасыщения глин развивается очень быстро, в течение менее 1–2 суток, давление набухания достигает величин 0,15–0,17 МПа. Именно такое изменение свойств аргиллитоподобных глин сочинской свиты и приводит к многочисленным авариям при их вскрытии в процессе строительства различных объектов.

Приведенные данные свидетельствуют о том, что аргиллитоподобные глины сочинской свиты, служащие основанием для строительства многочисленных объектов в районе г. Сочи, в том числе связанных с олимпийскими играми 2014 г., обладают рядом специфических особенностей, существенно изменяющих их свойства по сравнению с обычными аргиллитами. Эти особенности определяются внутренним строением и микроструктурой глин и обусловлены условиями их накопления и последующих литогенетических преобразований. Изменение свойств аргиллитоподобных глин крайне важно учитывать при проектировании и строительстве. Определение этих изменений возможно лишь на основе генетического подхода к изучению свойств грунтов и исследования их физико-химических свойств, основы которых были заложены и развивались Е.М. Сергеевым.

Литература

1. Астахов С. М. Оценка углеводородного потенциала Туапсинского прогиба на основе методик бассейнового моделирования: Автореф. дис. ... канд. геол.-мин. наук / С.М. Астахов. – Ростов н/Д., 2011. – 23 с.
2. Ипатов П.П. Региональная инженерная геология: учебное пособие. – Томск: Изд-во ТПУ, 2007. – 140 с.
3. Осипов В.И., Соколов В.Н. Роль ионно-электростатических сил в формировании структурных связей глин // Вестник Московского университета. – 1974. – № 1. – С. 16–32.
4. Осипов В.И. Природа прочностных и деформационных свойств глинистых пород. – М.: Изд-во Московского университета, 1979. – 232 с.
5. Осипов В.И. Физико-химическая теория эффективных напряжений в грунтах. – М.: Учреждение ИГЭ РАН, 2012. – 74 с.
6. Осипов В.И., Соколов В.Н. Глины и их свойства. Состав, строение и формирование фвойств – М.: ГЕОС. 2013. – 576 с.
7. Сергеев Е.М. Грунтоведение. – М.: МГУ, 1959. – 334 с.
8. Сергеев Е.М. Инженерная геология. – М.: Изд-во Московского университета, 1978. – 384 с.
9. Сергеев Е.М. Теоретические основы и проблемы инженерной геологии // Докл. 27-го Международного геологического конгресса, секция С 17, т. 17. – М.: Наука, 1984. – С. 15-21.
10. Сергеев Е.М., Трофимов В.Т., Фадеев П.И. и др. Теоретические основы и проблемы инженерной геологии / Под ред. Е.М. Сергеева // Геологические основы. – М.: Недра, 1985.

ВЛИЯНИЕ МЕЛКОДИСПЕРСНОГО ПИРИТА НА УСТОЙЧИВОСТЬ К ОБВОДНЕНИЮ НЕЗАСОЛЕННЫХ САРМАТСКИХ ГЛИН

С.А. Чарыкова

Волгоградский государственный архитектурно-строительный университет,
400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1. E-mail: info@vgasu.ru

Изучались сарматские глины, распространенные в междуречье Прут-Днестр, содержащие менее 0,3% водорастворимых солей, 0,12-0,15% гипса, до 20% карбонатов, средне и сильно набухающие с коэффициентом естественной уплотненности около 1 [1]. Методика лабораторных исследований подробно изложена ранее [2] и заключалась в моделировании процессов диффузионного выщелачивания в специальной диффузионной установке. Анализ результатов осуществлялся отдельно для образцов сарматских глин, не содержащих пирит, и образцов, имеющих в своем составе включения мелкодисперсного пирита.

На рис.1 приведены графики выщелачивания образцов сарматских не имеющих в своем составе пирита обр.1, 221, 306 и образцов с пиритом обр. 104, 115, 236, 247 построенные по результатам изменения химического состава фильтрата при диффузионном выщелачивании. Анализ кривых показывает, что химические процессы, сопровождаемые диффузионное выщелачивание глин у образцов, не имеющих в своем составе пирита, и у образцов, у которых он есть, протекают по-разному.

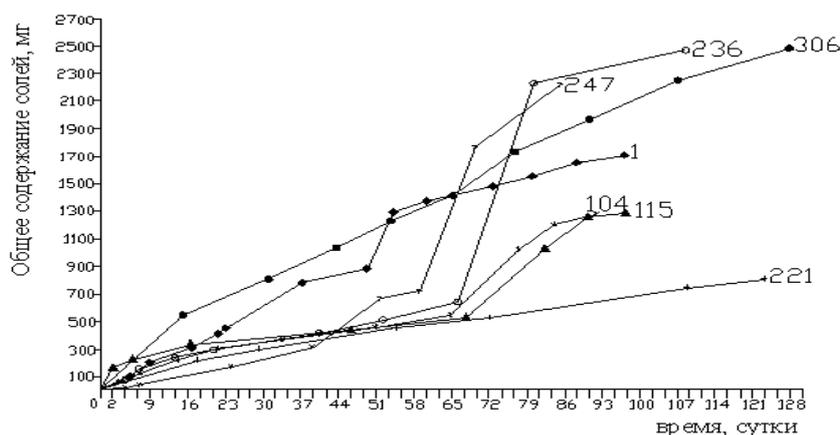


Рис. 1. Кривые выщелачивания незасоленных сарматских глин, вынос водорастворимых солей. Цифры – лабораторные номера образцов глин

У первых количество выносимых солей увеличивается прямо пропорционально времени выщелачивания по линейному закону с очень высокими значениями коэффициента корреляции $r=0,98-0,99$; у вторых количество выносимых водорастворимых солей так же прямо пропорционально времени выщелачивания, однако кривые регрессии имеют более сложный характер с коэффициентом корреляции $r=0,77-0,79$. Например, для образца 236 уравнение регрессии имеет вид:

$$c=(27,01 \lg t + 16,57)^2, r=0,77;$$

где c – количество вынесенных солей, мг; t – время, сут.

Выполненные исследования по характеру химических процессов, сопровождаемых диффузионное выщелачивание незасоленных сарматских глин, обуславливающих изменение их состава и свойств, позволили сделать следующие основные выводы.

1. Направленность химических процессов, сопровождающих выщелачивание незасоленных сарматских глин, в значительной степени зависит от наличия или отсутствия в их составе пирита, окисление которого обуславливает глубокие химические преобразования в ионно-солевом комплексе глин, следствием чего является увеличение содержания в породе гипса, карбонатов, аморфного кремнезема других химических соединений, способствующих вторичной агрегации грунтовых частиц.

2. У глин, не имеющих в своем составе пирита, при выщелачивании происходит понижение содержания водорастворимых солей в среднем на 20%: уменьшение содержания карбонатов на 10-20%, гипса – в 1,5-2,0 раза. Это способствует разрушению структурных связей между грунтовыми частицами, увеличению дисперсности (содержание глинистой фракции повышается в среднем в 1,5 раза), порода разуплотняется до $\rho_d=1,20-1,30$ г/см³, ее влажность увеличивается в 1,5-2,0 раза; прочность существенно уменьшается: по углу внутреннего трения на 1-2 градуса, по удельному сцеплению – в 4-5 раз.

3. У глин, имеющих в своем составе пирит, при выщелачивании содержание водорастворимых солей уменьшается в среднем на 40%; содержание карбонатов увеличивается на 10-30%, гипса – в несколько раз; дисперсность глин практически не изменяется, т.к. наряду с разрушением уже существующих структурных связей, между грунтовыми частицами, происходит образование других за счет появления новых химических соединений: карбонатов, гипса, аморфного кремнезема, окислов железа и др. Глина значительно разуплотняется до $\rho_d=1,05-1,25$ г/см³, увлажняется в 1,2-1,5 раза, прочность ее изменяется в меньшей степени, чем у глин, не содержащих пирит: по углу внутреннего трения – незначительно, по удельному сцеплению – в 2-3 раза.

Важнейшим показателем, позволяющим прогнозировать изменение показателей прочности грунтов после их взаимодействия с водой, является коэффициент устойчивости к обводнению, как отношение показателя прочности грунта после обводнения к этому же показателю до обводнения [2,4]. Для каждого образца, подвергнувшегося диффузионному выщелачиванию, расчи-

таны показатели прочности двух видов: по удельному сцеплению K_c и по углу внутреннего трения K_ϕ .

Таблица

Коэффициент устойчивости сарматских глин к обводнению

Показатели	Коэффициенты устойчивости			
	глины не содержащие пирит		глины содержащие пирит	
	K_c	K_ϕ	K_c	K_ϕ
Среднее значение	0,32	0,61	0,51	0,74
Пределы колебания	0,16-0,60	0,33-0,80	0,24-0,92	0,41-1,00
Стандартное отклонение	0,14	0,18	0,24	0,22
Коэффициент вариации	0,44	0,30	0,47	0,30
Количество определений	20	20	10	10

Анализ данных показывает, что в целом прочность всех изученных образцов сарматских глин при выщелачивании уменьшается: по углу внутреннего трения – от незначительного до 2 раз; по удельному сцеплению – в 1,5 – 5,0 раз. Сарматские незасоленные глины, содержащие пирит, более устойчивые к обводнению, т.к. значения коэффициентов устойчивости к обводнению K_c и K_ϕ у них больше, чем у глин не содержащих пирит.

Данный факт вполне объясним, т.к. прочность глинистых пород при прочих равных условиях (влажности и плотности) в значительной степени зависит от характера структурных связей между грунтовыми частицами и степени агрегированности грунта. У глин, не содержащих пирит, при выщелачивании происходит диспергация грунта и уменьшение его коэффициента агрегированности. А у образцов глин, содержащих в своем составе пирит, при выщелачивании образуются новые химические соединения: гипс, аморфный кремнезем, окислы железа и др., способствующие агрегатизации грунтовых частиц.

Так, как непосредственное определение коэффициентов устойчивости сопряжено с выполнением дорогостоящих и продолжительных лабораторных экспериментов, была проанализирована корреляционная зависимость указанных коэффициентов от показателей физических свойств глин, ионно-солевого комплекса и набухаемости отдельно для образцов содержащих и не содержащих пирит. Наибольшие значения коэффициентов корреляции K_c и K_ϕ зафиксированы с пористостью n , величиной свободного набухания ε_{sw} и содержания в грунте обменного Na^+ . Точечные графики и регрессионные зависимости приведены на рис.2. Следует отметить, что наибольшие значения коэффициентов корреляции у графика функции $K_c=f(lg \varepsilon_{sw})$, что хорошо коррелирует с данными других авторов для сарматских глин [3].

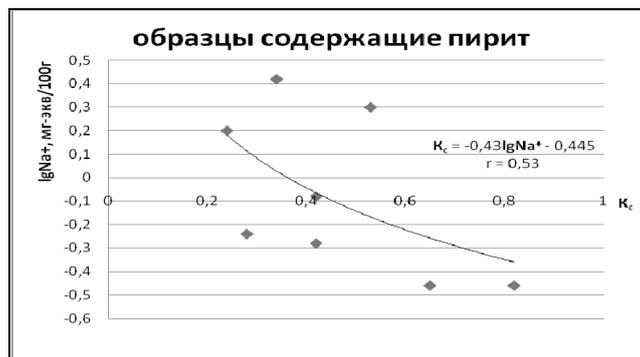
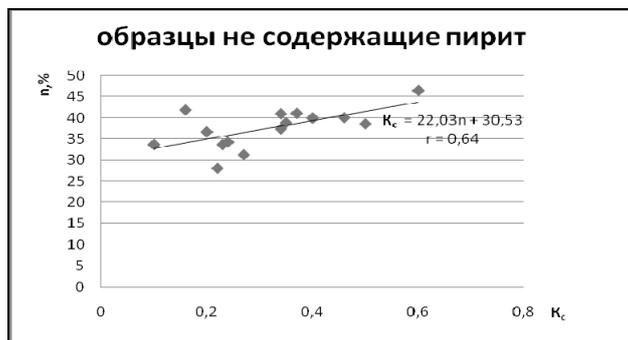
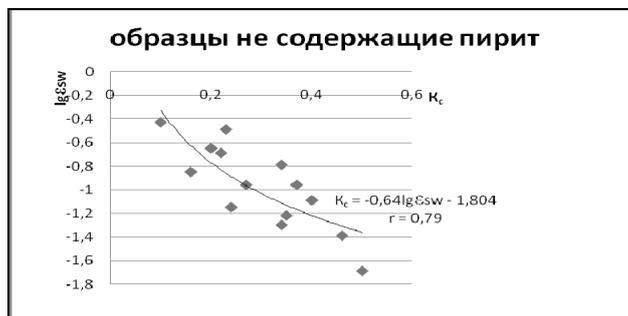


Рис. 2. Графики зависимости коэффициентов устойчивости незасоленных сарматских глин к обводнению K_c и K_ϕ от показателей состава и свойств n , ϵ_{sw} , Na^+ .

Тем не менее, абсолютные значения коэффициентов корреляции небольшие и составляют $r=0,53-0,79$. Это свидетельствует о том, что прогноз коэффициентов устойчивости к обводнению незасоленных сарматских глин по косвенным показателям состава и свойств с высокой долей вероятности не возможен для инженерно-геологического прогнозирования прочности указанных глин в основаниях инженерных сооружений, подвергающихся длительному обводнению при подтоплении урбанизованных территорий, следует использовать другие методы.

Литература

1. Олянский Ю.И., Богомолов А.Н., Тихонова Т.М. Сарматские глины. Состав, физико-механические свойства, типизация по устойчивости к обводнению. – Германия: Изд. Palmarium academic publishing, 2013. – 239 с.
2. Основные закономерности изменения состава и свойств сарматских глин при диффузионном выщелачивании / А.Н. Богомолов, Ю.И. Олянский, О.А. Богомолова, И.Ю. Кузьменко, С.А. Чарыкова. – Волгоградский архитектурно-строительный университет: ВолгГАСУ, 2013. – 127с.
3. Оценка устойчивости сармат – меотических глин к длительному обводнению / Ю.И. Олянский и др. // Геоэкология. – 2009. – № 1. – С. 62-68.
4. Пахомов С.И. Монюшко А.Н. Инженерно-геологические аспекты изменения свойств глин. – М.: Наука, 1988. – 119 с.
5. Щекочихина Е.В., Чарыкова С.А., Кузьменко И.Ю. Изменение состава и свойств незасоленных сарматских глин при диффузионном выщелачивании. Сергеевские чтения. Выпуск 15. – М.: РУДН, 2013. – С. 90-95.

НОВЫЙ МЕТОД АНАЛИЗА СТРУКТУРЫ ГРУНТОВ КОМПЛЕКСОМ РЭМ – μ КТ

**М.С. Чернов, Л.Г. Булыгина, О.В. Разгулина,
В.Н. Соколов, Д.И. Юрковец**

Геологический факультет МГУ имени М.В. Ломоносова, 119991,
Москва, ГСП-1, Ленинские горы, д. 1. E-mail: chernov@geol.msu.ru

Для получения корректной информации о строении грунтов необходимо её исследование на разных масштабных уровнях.

Наиболее информативным методом изучения микроструктуры грунтов на современном этапе является растровая электронная микроскопия (РЭМ). Для получения количественной информации о микроструктуре глинистых грунтов авторами было разработано ПО «СТИМАН», позволяющее учитывать полидисперсность грунтов, анализируя серию разномасштабных изображений. В результате могут быть получены данные о размере, форме и ориентации структурных элементов (пор и частиц), построены кривые распределение структурных элементов по размеру, форме, площадям и т.д., а также оценен ряд других характеристик [1]. При таком анализе учитываются различные категории пор от ультратонких ($<0,1$ мкм) до крупных микропор (10-100 мкм).

При меньших увеличениях, в том числе на макроуровне, проведение количественного анализа становится затруднительным. РЭМ позволяет исследовать лишь небольшие участки поверхности (до 5×5 мм²), что может быть недостаточным при изучении грубодисперсных грунтов и грунтов с неоднородным строением. Для таких грунтов требуется увеличение выборки

анализируемых участков для исследования в разных точках монолита. Однако эта методика сильно затрудняет исследования и не позволяет оценивать вклад более крупных структурных элементов, играющих существенную роль при деформационных воздействиях на грунт. Помимо этого, так как для РЭМ-исследований выбирается наименее нарушенный фрагмент образца (обычно заключенный между трещинами или более крупными гравелистыми зернами), полученные данные часто характеризуют участок образца с заведомо более однородной микроструктурой.

В последние годы в практике изучения строения твердых тел появился метод рентгеновской компьютерной микротомографии (или μ КТ) – неразрушающий метод получения трехмерной реконструкции структуры образца. Микротомография позволяет изучать образцы большего размера и различать внутри образца крупные структурные элементы, такие как макропоры, трещины, различные по плотности и составу участки образца, а так же различные включения и их скопления. К сожалению, разрешающая способность современных томографов много ниже чем у РЭМ и не превышает нескольких микрон. Контраст на полутоновых изображениях срезов образца, полученных с помощью микротомографии (μ КТ-изображения), определяется поглощением рентгеновского излучения структурными элементами, которое зависит от их химического состава и плотности. Поэтому трехмерные реконструкции, полученные по результатам изучения образцов, дают возможность увидеть и количественно оценить структуру порового пространства на макроуровне. На рисунке 1 приведены трехмерные модели структуры порового пространства образцов глинистых грунтов при увеличении 32 раза, на которых хорошо видны поры крупнее 30 мкм.

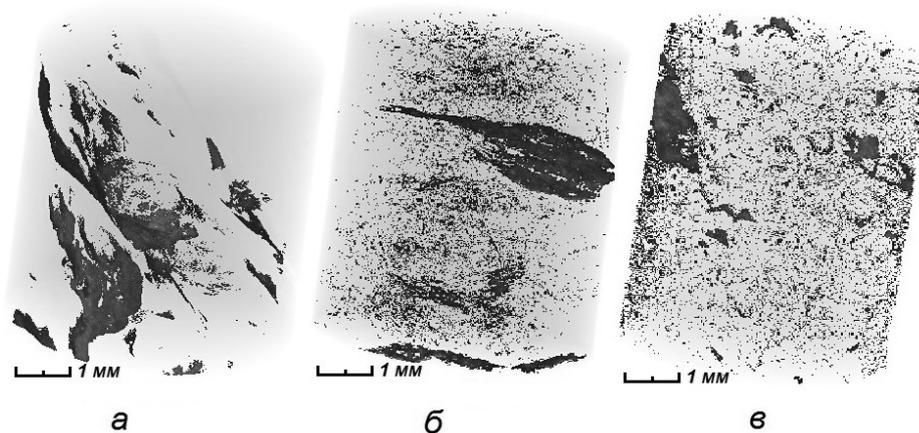


Рис. 1. Трехмерные модели структуры порового пространства глинистых грунтов:

а – глина тяжелая C_3k ; б – глина тяжелая J_3ox ; в – суглинок тяжелый gId

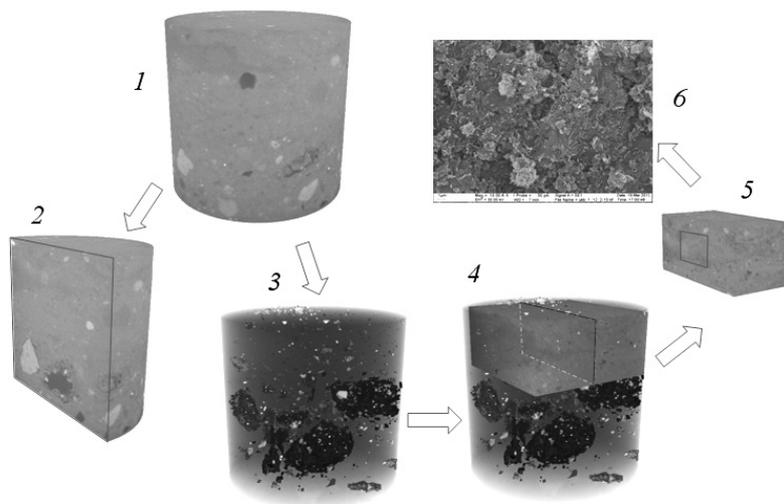


Рис. 2. Методика проведения анализа структуры грунта комплексом РЭМ+ μКТ:

1 – образец диаметром до 4-5 см для съемки в μКТ; 2 – серия полутоновых μКТ-изображений для количественный анализ макроструктуры; 3 – анализ пространственного строения образца; 4 – выделение наиболее однородной области для дальнейшего изучения в РЭМ; 5 – подготовка поверхности скола образца для изучения в РЭМ; 6 – количественный анализ микроструктуры по РЭМ-изображениям

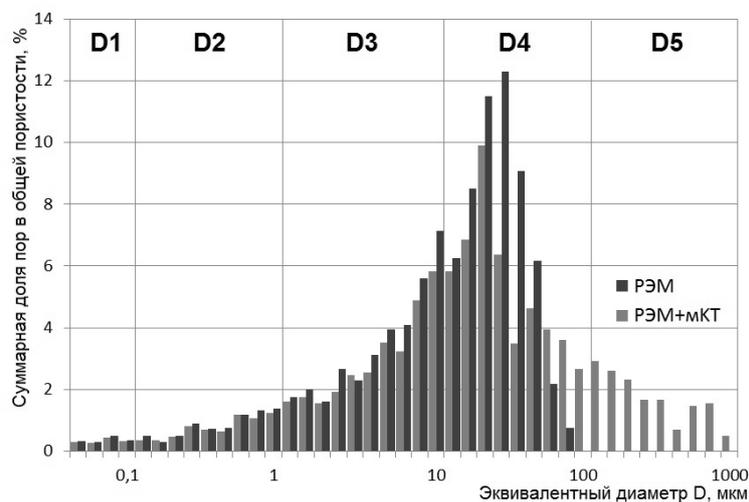


Рис. 3. Итоговые результаты количественного анализа структуры образца тяжелой глины (J_{3ox}), по данным РЭМ и по данным комплекса РЭМ-μКТ. Выделены отдельные категории пор: D1 – ультратонкие микропоры; D2 – тонкие микропоры; D3 – мелкие микропоры; D4 – крупные микропоры; D5 – макропоры

Авторы предложили новую методику изучения структуры образца, позволяющую учесть как микро-, так макроструктурные особенности грунта. Макроструктурные особенности исследуются с помощью рентгеновского компьютерного микротомографа (μ КТ) при увеличениях от 5 до 100 крат. При этом изучаются представительные образцы (размером до $5 \times 5 \times 10 \text{ см}^3$). В результате анализа образца с помощью μ КТ получают количественные данные о крупных структурных элементах (0,1–10 мм) и намечаются участки с более однородной тонкодисперсной микроструктурой, которые будут исследоваться с помощью РЭМ (рис. 2).

ПО «СТИМАН» позволяет объединять результаты, полученные с помощью РЭМ и μ КТ и проводить количественный анализ структуры по суммарному массиву данных. Таким образом, в ходе исследования могут быть получены количественные данные о всей структуре образца, включающей как макро-, так и микроструктурные элементы. На рис. 3 приведена гистограмма распределения пор, показывающая доленое участие пор разных эквивалентных диаметров в общей пористости. Как видно на рисунке, новая комплексная методика позволяет выделить пятую категорию пор (крупнее 100 мкм), которая относится к макропорам и вносит значительный вклад в общую пористость образца.

Разработанный метод количественного анализа структуры порового пространства комплексом РЭМ+ μ КТ был опробован на глинистых грунтах разного возраста и генезиса, отобранных в районе города Москвы. В таблице 1 представлены результаты количественного анализа, проведенного двумя способами: традиционным методом количественного анализа микроструктуры по РЭМ-изображениям и с помощью новой комплексной методики, объединяющей данные РЭМ и μ КТ. Как видно из таблицы, на долю макропор может приходиться до 17 % от общей пористости. Учет данной категории пор позволяет получать значения общей пористости более близкие к величинам, определенным по стандартной грунтоведческой методике, и, следовательно, более полно характеризует поровое пространство глинистых грунтов.

Применение данной методики позволяет значительно повысить достоверность исследований структуры глинистых пород в широком диапазоне размеров структурных элементов от нескольких сантиметров, до десятков нанометров.

Таблица 1

Результаты количественного анализа структуры порового пространства образцов глинистых грунтов, полученных по РЭМ-изображениям и по комплексной методике РЭМ+μКТ

Образец	Метод анализа	Долевое участие пор разных категорий, %					Максимальный диаметр пор, мкм	Общая пористость, %
		D1 (<0,1 мкм)	D2 (0,1-1 мкм)	D3 (1-10 мкм)	D4 (10-100 мкм)	D5 (>100 мкм)		
Тяжелая глина C _{3k} , Москва, гл. 12,1-12,5	РЭМ	0,4	3,5	38,4	57,8	0,0	75,2	30,8
	РЭМ+μКТ	0,4	3,4	36,3	56,6	3,4	387,3	38,0
Тяжелая глина J _{3ox} , Лыткарино, гл. 15,4-15,6	РЭМ	0,8	6,6	25,5	67,1	0,0	98,0	29,5
	РЭМ+μКТ	0,7	6,2	23,4	52,9	16,8	725,3	41,8
Тяжелый суглинок gId, Химки, гл. 20,0-20,4	РЭМ	0,3	4,6	28,6	66,4	0,0	80,9	22,6
	РЭМ+μКТ	0,3	4,1	24,8	66,0	4,8	601,1	31,3

Литература

1. Соколов В.Н., Юрковец Д.И., Разгулина О.В. Исследование микроструктуры грунтов с помощью компьютерного анализа РЭМ-изображений // Геозкология. Инженерная геология. Гидрогеология. Геокриология. – 2008. – № 4. – С. 1-6.

СТРУКТУРНАЯ ПРОЧНОСТЬ КАК КРИТЕРИЙ ОЦЕНКИ ДЕФОРМИРУЕМОСТИ ЛЕССОВЫХ ГРУНТОВ ПРИБСКОГО ПЛАТО

Г.И. Швецов, М.А. Осипова

ФГБОУ ВПО Алтайский Государственный Технический Университет им. И.И. Ползунова,
656038, г. Барнаул, пр-т Ленина, 46. E-mail: stf-ofigig@mail.ru

В дисперсных материалах, к которым относятся и лессовые грунты, физические и механические свойства в значительной степени зависят от прочности связей между отдельными минеральными частицами. Природа этих связей сложна, многообразна и определяется по Н.А. Цытовичу «комплексом действующих в грунтах внешних и внутренних энергетических полей, в основе которых лежат молекулярные силы электромагнитной природы. Структурные связи рассматриваются специалистами в области инженерной геологии как неотъемлемая часть структуры, без которой практически невозможно рассматривать вопросы природы прочностных и деформационных свойств, разрабатывать физические модели грунтов и описывать их поведение под нагрузкой.

Любой грунт рассматривается как состоящий из отдельных структурных элементов, связанных между собой через контакты силами различной природы. При этом прочность самих структурных элементов на много выше прочности контактов между этими элементами, поэтому прочность и другие свойства грунтов определяются, в основном, прочностью контактов или энергией структуры грунта. При приложении нагрузки в лессовых грунтах наряду с уменьшением межагрегатной пористости происходит дробление глобул и агрегатов со значительным уменьшением их размеров. Поэтому деформируемость лессовых пород в процессе передачи нагрузки обусловлена как сближением структурных элементов между собой, так и их разрушением. Следовательно, для более объективного подхода к изучению деформируемости лессовых грунтов, для определения осадок и просадок фундаментов зданий и сооружений, необходимо разработать более достоверный метод определения их структурной прочности.

Первые расчеты осадок при проектировании зданий и сооружений велись на основании учета грунта как «истинно упругого тела». Затем стали учитывать слоистое строение массива грунта, но даже это не позволяет максимально точно определять границу сжимаемой зоны толщи грунта под подошвой фундамента. В настоящее время эти расчеты ведут по СНиП 2.02.01-83* «Основания зданий и сооружений». По нашему мнению, именно учет структурной прочности грунтов основания позволит провести определение границы сжимаемой толщи грунта наиболее точно.

При изучении структурной прочности лессовых грунтов территории г. Барнаула свойства грунтов оценивались их физическими и механическими

характеристиками, которые зависят от качественного и количественного соотношения компонентов грунта. Исследование физико-механических свойств глинистых грунтов в лабораторных условиях производилось на образцах ненарушенной структуры (монолитах), отбор и хранение которых соответствует ГОСТ 12071-2000. Величина структурной прочности исследуемых грунтов определена на основе компрессионных кривых, в качестве критерия оценки использовалось значение давления, при котором происходит резкое увеличение развития деформаций образца грунта (точка перегиба компрессионной кривой). Для более точного построения компрессионных кривых все ступени давления принимались равными 0,0025 МПа.

Анализу подверглось более 250 компрессионных кривых лессовых суглинков и супесей при различных коэффициентах пористости.

Анализ изменения структурной прочности лессовых супесей и суглинков от их физико-механических свойств позволил выявить закономерности изменения структурной прочности лессовых грунтов от таких факторов как плотность сложения грунта (пористость) и от физического состояния грунта при определенной влажности (показатель текучести). Пористость исследуемых пород изменяется в довольно широких пределах в суглинках от 0,50 до 0,84, в супесях от 0,44 до 0,91. Как известно, при инженерно-геологической оценке глинистых пород большое значение имеет пористость, так как она характеризует их естественную уплотненность и склонность к деформациям.

Несомненное влияние на структурную прочность лессовых грунтов оказывает показатель текучести, который отражает влияние на структурную прочность исследуемых пород не только влажности грунта в естественном состоянии, но и таких производных физических характеристик как влажности на границе раскатывания и текучести, а так же числа пластичности. В результате проведенных исследований были получены корреляционные зависимости для структурной прочности исследуемых грунтов региона:

для суглинка

$$R_{стр} = -0,2003 \cdot W + 0,0516,$$

$$R_{стр} = -0,0653 \cdot e + 0,0717,$$

$$R_{стр} = -0,0702 \cdot I_L - 0,0335;$$

для супеси

$$R_{стр} = -0,5143 \cdot W + 0,0932,$$

$$R_{стр} = -0,0984 \cdot e + 0,1076,$$

$$R_{стр} = -0,0227 \cdot I_L + 0,0066,$$

$$R_{стр} = 0,0066 \cdot I_p - 0,0023.$$

В общей сложности для статистического обобщения зависимости структурной прочности от коэффициента пористости и удельного сцепления при различных показателях текучести лессовых супесей и суглинков было отобрано 154 значения структурной прочности лессовых суглинков и супесей. Статистическое обобщение производилось отысканием уравнений регрессии при помощи программы «Microcal Origin. Version: 3,5» Microcal Software. Inc.

Результаты расчетов по программе приведены ниже:

Суглинки твердые

$$R_{стр} = 0,1262 - 0,1171 \cdot e_0$$

$$R_{стр} = 4,0243 \cdot C - 0,0792$$

Суглинки полутвердые

$$R_{стр} = 0,0697 - 0,0600 \cdot e_0$$

$$R_{стр} = 1,5948 \cdot C - 0,0173$$

Суглинки тугопластичные

$$R_{стр} = 0,1162 - 0,1171 \cdot e_0$$

$$R_{стр} = 1,3072 \cdot C - 0,0103$$

Супесь твердая

$$R_{стр} = 0,1115 - 0,1005 \cdot e_0$$

$$R_{стр} = 4,4197 \cdot C - 0,0517$$

Супесь пластичная

$$R_{стр} = 0,1074 - 0,0995 \cdot e_0$$

$$R_{стр} = 4,9312 \cdot C - 0,053$$

Полученные результаты исследований структурной прочности лессовых грунтов позволяют рекомендовать данный показатель использовать для региональной инженерно-геологической классификации лессовых грунтов, что позволит значительно уменьшить объем инженерно-геологических изысканий. В ее основу положены следующие принципы: генезис, состав, состояние и структурная прочность.

Выполненные исследования позволяют сделать вывод, что между структурной прочностью и физическими свойствами лессового грунта существует тесная взаимосвязь. Это позволяет по комплексу структурных показателей оценивать и прогнозировать прочностное и деформационное поведение лессовых оснований.

Практическое применение учета структурной прочности при проектировании оснований зданий и сооружений заключается в определении нижней границы сжимаемой толщи грунтового основания из условия равенства значения напряжения от дополнительной нагрузки и величины структурной прочности. В этом случае расчетная модель достаточно полно отражает реальные свойства грунтов и явления, происходящие в грунтовых основаниях при воздействии внешних нагрузок (рис. 1).

Таким образом, при использовании предложенной нами методики в расчете оснований зданий и сооружений размер сжимаемой толщи грунта уменьшается на 15–25 %, в зависимости от показателя текучести лессовых супесей и суглинков. В результате снижается расчетная осадка оснований, что приводит к снижению себестоимости строительно-монтажных работ, а именно к снижению расходов материалов, снижению трудозатрат, объемов земляных работ и, соответственно, сроков строительства.

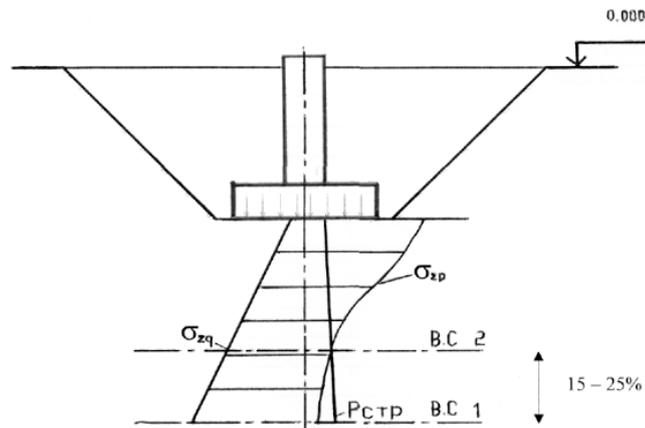


Рис. 1. Схема распределения вертикальных напряжений:

BC1 – граница сжимаемой толщи грунта основания по СНиП 2.02.01-83* «Основания зданий и сооружений»; BC 2 – граница сжимаемой толщи грунта основания с учетом структурной прочности лессового грунта $P_{стр}$

Так же необходимо отметить, что на основании полученных результатов можно увеличивать нагрузку на существующие фундаменты без их усиления, что весьма актуально в настоящее время при реконструкции зданий и сооружений.

ТЕХНОГЕННЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ СВОЙСТВ ДИСПЕРСНЫХ ГРУНТОВ РАЗНОГО МИНЕРАЛЬНОГО СОСТАВА

Н.Л. Шешеня

ОАО «Производственный и научно-исследовательский институт инженерных изысканий
в строительстве», 105187, Москва, Окружной пр-д, 18.

E-mail: sheshenya@mail.ru

Инженерно-геологические изыскания на площадках проектируемых зданий, сооружений и на участках оползнеопасных склонов в состав своих работ должны включать определения минерального состава грунтов (что не регламентировано существующими нормативными документами). Такие определения необходимы для корректных определений деформационных и сдвиговых значений данных грунтов, их состояния. При этом следует руко-

водствоваться следующими эмпирически подтвержденными закономерностями.

1. Глинистые грунты *Na*-монтмориллонитового состава твердой консистенции в природных условиях при техногенном взаимодействии с водой сильно набухают (давление набухания может колебаться в пределах $0,48 \div 2,5$ МПа) и приобретают свойство незатухающей ползучести. На склонах, откосах, бортах оврагов и строительных котлованов высотой ≥ 7 м и крутизной $\geq 4^0$ образуются оползни выдавливания (незатухающей ползучести). Основным мероприятием защиты в этих случаях является исключение обводнения грунтов до достижения ими влажности набухания. Если грунты приобрели эту влажность, тогда в качестве защитных мероприятий могут быть запроектированы удерживающие сооружения – контрбанкеты. Подпорные стенки, буронабивные напряженные сваи с их заглублением ниже поверхности смещения на 5,0 м применяются при отсутствии свободных площадей для укладки контрбанкета. В природных условиях модуль деформации данных грунтов в интервале нагрузок 0,1–0,2 МПа равен 16 МПа, а при техногенном обводнении снижается до 3,5 МПа.

2. При взаимодействии с водой в глинистых грунтах монтмориллонит-гидрослюдистого состава твердой консистенции в природных условиях, содержащих более 5% примесей пирита, гипса или хорошо разложившегося органического вещества, развиваются деформации вязкопластического течения. На склонах и откосах, вскрывающих данные грунты, крутизной 6^0 , высотой ≥ 7 м образуются оползни вязкопластического течения. Здесь также необходимо исключить условия обводнения грунтов. В противном случае в верхней части склонов (откосов) выполняется полукольцевой дренаж или с помощью скважин, или в виде верховой нагорной канавы для перехвата подземных и поверхностных вод и их сброса за пределы склонов (откосов). Следует помнить, что если воды имеют резкую анизотропию в содержании карбонатных, сульфатных и железистых соединений, что характерно для городов, то при их выходе на поверхность или в однослойные дренажи эти соединения выпадают в осадок в виде геля, который кольматирует породы в приповерхностных частях массивов (или дрен). Такие зоны способствуют образованию в массивах грунтов «водяных мешков» с эпизодическими прорывами грязевых потоков на склонах, бортах оврагов и откосах строительных выемок крутизной $\geq 2^0$ даже при движении легковых автомашин. В подобных случаях должны быть запроектированы дренажи, работающие по типу «обратного фильтра». Таким фильтром может быть геокомпозитный дренажный мат «Славрос дренаж» [1]. Это высокоэффективная и экономичная альтернатива традиционным дренажным системам из щебня, которые для данных условий не приемлемы из-за выпадения сульфатных, карбонатных и железистых соединений в виде геля, который резко активизирует оползневые смещения грунтов со склонов, бортов оврага и откосов строительных выемок. Дренажный мат состоит из объемной геосетки «Славрос-дренаж» и скрепленного с 2-х сторон фильтрующего нетканого геотекстильного материала. Коэффициент фильтрации в плоскости композита при нагрузке 20 кПа составляет

500 м/сут, что эквивалентно слою щебня в 10-15см. Преимущества дренажных матов «Славрос»:

- при больших нагрузках в грунте происходит незначительная деформация материала и мало меняется водопропускная способность,
- высокая химическая стойкость,
- значительная экономия средств на затратах по выемке грунта и укладке щебня,
- небольшой вес – 1 рулон дренажного мата весит 45кг, а заменяет 25 т щебня,
- простота работы с матами.

Области применения дренажных матов «Славрос»:

- водоотводящий, фильтрующий и разделительный слой на склонах,
- водоотводящий и укрепляющий слой при защите склонов (откосов), возможно применение в сочетании с засевом трав.
- дренирующий слой для защиты подземной части сооружений (фундаментов). В вертикальных дренажах используется односторонний дренажный мат с одним слоем геотекстиля. Помимо отвода воды дренажный мат служит защитой гидроизоляции.

Геосетка «Славрос – дренаж» применяется также для:

- защиты изоляции трубопроводов;
- балластировки трубопроводов;
- армирующих прослоек в фильтрующих системах.

3. При техногенном взаимодействии с водой моренных суглинков днепровской стадии оледенения твердой консистенции в природных условиях и повышении их естественной влажности на 10-20% в их массиве формируются зоны низких значений показателей модуля деформаций и сдвига (модуль деформации снижается до 10МПа против расчетного 21МПа, угол внутреннего трения – до 8° против расчетного 16° , сцепление – до 0,006МПа против расчетного – 0,25МПа); на склонах, откосах строительных выемок эти зоны являются наиболее вероятными поверхностями смещения пакетов и слоев грунтов с образованием оползней блокового типа.

4. Супеси твердой консистенции в природных условиях при дополнительном техногенном увеличении их естественной влажности всего на 4-6% приобретают текучую консистенцию, способны вытекать из под фундаментов зданий, со склонов и откосов с образованием оползней вязкопластического течения при углах внутреннего трения $\geq 12^{\circ}$, сцеплении 0,002МПа. Такое увеличение влажности может произойти так же при изменении плотностного режима грунтов основания под воздействием веса проектируемого здания и его теневого эффекта.

5. Водонасыщенные тонкозернистые и пылеватые пески, содержащие более 5% глинистых частиц монтмориллонитового состава или органического вещества, при статических и динамических нагрузках обладают плавучими свойствами. На склонах, откосах и бортах оврагов высотой ≥ 7 м и крутизной $\geq 12^{\circ}$ образуются оползни течения. Аналогичные свойства имеют обводненные дисперсные грунты с заземленными газообразными соединения-

ми, продуктами жизнедеятельности микроорганизмов, которые могут создавать давление в поровой воде до 0,4МПа.

6. Дисперсные грунты с большой пористостью, со слабыми структурными связями, малой влажностью и малой гидрофильностью, с малым содержанием глинистых частиц, но с высоким содержанием крупной пыли, при техногенном взаимодействии с водой легко размываются, обладают просадочными свойствами.

7. Дисперсные грунты с сульфатными, карбонатными и железистыми соединениями при взаимодействии с техногенными водами выщелачиваются, а в приконтактных с грунтовыми или подземными водами зонах образуются ослабленные прослои, к которым могут быть приурочены поверхности смещения вязкопластических оползней. Защита подобных склонов (откосов) с помощью различного типа свай не эффективна, поскольку грунты оползня будут обтекать сваи.

8. Сыпучие слюдистые разнозернистые пески являются суффозионно-неустойчивыми, легко размываются поверхностными водами с образованием на склонах, откосах строительных выемок, бортах оврагов высотой ≥ 7 м и крутизной $\geq 14^{\circ}$ оползней течения. Для этих склонов также будут не эффективными любые типы свай.

9. Разнозернистые пылеватые пески являются суффозионно-неустойчивыми (с выносом мелких и пылеватых фракций в зону разгрузки подземных вод на поверхности склонов – откосов строительных выемок) при градиентах их потока $\geq 0,01$ и скорости потока $\geq 1,0$ м/сут. Такие градиенты на склонах (откосах) возникают в периоды водообильных дождей или сбросов техногенных поверхностных вод, аварийных утечек воды из водонесущих коммуникаций и т.п. Следствием этого процесса в данных грунтах является формирование зон разуплотнения и, как результат, дополнительные осадки грунтов оснований зданий.

10. Супеси и глинистые элювиальные образования в флишеидных породах красноцветных терригенных формаций, включающие 20-40% глинистых частиц монтмориллонитового состава с числом пластичности 7 при техногенном увеличении естественной влажности с 0,15–0,16 до 0,20-0,24 изменяют прочность на раздавливание с 0,25 до 0,005МПа и из устойчивого твердого состояния способны переходить в неустойчивое текучее, что всегда происходит при динамических нагрузках на грунты оснований любой природы, в том числе и от землетрясений.

Подобные изменения установлены для элювия терригенных флишевых пород таврической серии черноморского побережья, нижнего ордовика нижеустькутской, верхнего, среднего кембрия илгинской и верхоленской свит Приангарья, мела и палеогена о. Сахалин, флиша нижнего карбона Пермской обл. и др. Столь резкие изменения стали возможными потому, что у сильно выветрелых аргиллитов гидрослюды замещаются монтмориллонитом, резко уменьшается засоленность, а содержание карбонатов у них не превышает 1-2%; величина рН, равная 5-6, показывает кислую среду за счет разложения пирита.

11. Глинистые грунты, содержащие более 5% примесей пирита, или хорошо разложившейся органики при воздействии на них динамических нагрузок в сочетании с техногенным обводнением приобретают повышенную способность к проявлению свойств тиксотропии с мгновенной потерей несущих свойств. Такими же свойствами обладают каолиновые мало гидрофильные глины, которые также разжижаются под воздействием динамических нагрузок. При прекращении таких воздействий грунты медленно восстанавливают свое состояние и прочность.

Некоторые примеры, подтверждающие некоторые закономерности [2].

Результаты исследования глинистых грунтов на ряде объектов Западной части Кавказа, в том числе на объектах «Альпика-Сервис» и строительство домов «Горная Карусель», а также оползневых склонов, примыкающих к ним, показали, что грунты, залегающие в основаниях указанных зданий, сооружений и слагающие оползневые склоны, сложены, в основном, делювиальными, делювиально-пролювиальными и элювиальными образованиями, представленными обломочными породами с супесчано-суглинистыми заполнителем – продукт выветривания слагающих склоны аргиллитов с прослоями песчаников и алевролитов. Содержание обломочных фракций в них колеблется от 10 до 70%.

При изучении их деформационных свойств основную нагрузку при сжатии несет заполнитель, где и проявляются особенности минерального состава глин и суглинков, представленного, в основном, монтмориллонитом. В этом случае обращает на себя внимание то, что, например, щебнистый грунт с содержанием обломочного материала до 65 % является по заполнителю полутвердым, но по степени влажности, равным 1 (ГОСТ) полностью водонасыщенным, с высоким модулем деформации при природной влажности (с обломочным материалом), равным 30,3МПа. Коэффициент их пористости при техногенном водонасыщении увеличивается от 0,70 до 1,03, а модуль деформации резко падает до 5МПа, то есть в 6 раз.

Такие особенности грунтов с монтмориллонитовым составом представляют существенную опасность при техногенном обводнении оснований зданий, вызывающим подъем уровня грунтовых вод, что может вызвать их неравномерные осадки и, как следствие, разрушение, и потребует дополнительные мероприятия по защите от техногенного обводнения. Существенная потеря деформационных свойств указанных выше пород в пределах оползневых склонов в результате техногенного воздействия воды также способствует резкому снижению их показателей сдвига и, как следствие, резкой активизации оползней вязкопластического течения.

Для получения перечисленной информации целесообразно ведение систем мониторинга за состоянием процессов, зданий, сооружений и работой систем инженерной защиты. Набор мероприятий этих систем будет разным (индивидуальным) для разных участков и набора процессов, их состояния, минерального состава грунтов и их примесей, видов строительного освоения (типа зданий, их этажности, фундирования и вида освоения подземного пространства). Поэтому он должен разрабатываться для каждого случая индиви-

дуально после получения вышеназванной информации и сведений функционального профиля деятельности человек в пределах этих территорий.

При соблюдении названных условий, территории любого осваиваемого участка будут иметь оптимально необходимую и достаточную площадь для выбора строго определенного вида хозяйственного ее освоения и мероприятий защиты. Она зависит от величины различных видов риска техногенного изменения несущих свойств грунтов оснований и проявления в их массивах опасных процессов, величин экономических, социальных, моральных, экологических ущербов и задач дальнейшего хозяйственного освоения городских территорий.

Литература

1. Журнал «Дорожная держава». «Геосинтетические материалы». Миакон // Санкт-Петербург, 2008.
2. *Шешеня Н. Л.* Основные принципы инженерной защиты Черноморских побережий России // Материалы седьмой Общероссийской конференции изыскательских организаций. 16-17 декабря 2011 г. – М.: ПНИИИС. – С. 87-89.

2. ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ КЛАССИФИКАЦИИ ГРУНТОВ

ЗАКОНОМЕРНОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ МОРФОЛОГИИ ПОВЕРХНОСТИ ТРЕЩИН В СКАЛЬНЫХ ПОРОДАХ НЕКОТОРЫХ РАЙОНОВ УЗБЕКИСТАНА

Б.М. Абдурахманов¹, М.Ш. Шерматов²

¹Государственное предприятие «Институт ГИДРОИНГЕО»

²Институт сейсмологии АН РУз., г. Ташкент, ул. Олимлар, 64. E-mail: hydrouz@olam.uz

Под морфологией понимается совокупность неровностей (рельеф) на поверхности трещины (стенке трещины). Морфология поверхности количественно характеризуется линейными параметрами, которые определяются по профилограмме ее поверхности. Результаты проведенных исследований свидетельствуют о сложных закономерностях сдвига по трещинам и широком диапазоне изменения параметров даже в пределах одного участка основания. Необходимо отметить, что морфология поверхности трещин в большинстве случаев количественно не изучалась и не учитывалась.

В связи со сформировавшимся представлением о скальных породах как о дискретных средах в начале 1970-х гг. проявился интерес к исследованиям сопротивления сдвигу по трещинам с учетом морфологии их поверхности. основополагающими работами для сомкнутых трещин явились исследования Ф.Паттона (1966) и М.Н.Гольштейна, а для трещин с заполнителем – работы Д.Крисмановича (1964) и Г.Л.Фисенко. В 1970-1980-е гг. внимание к рассматриваемой проблеме усилилось. Значительный интерес представили исследования, выполненные на искусственных сомкнутых трещинах в материалах и породах, а также аналитические и экспериментальные исследования процесса сдвига по природным трещинам в скальных породах, которые позволили вскрыть некоторые его особенности (Н.Н.Маслов, С.Б.Ухов, Э.Г.Газиев, Ю.А.Фишман, Н.Бартон, Шоуби, Б.Куюджич, Х.Куттер, Н.Хорн, Д.Диер, Е.Хоскинс, К.Розенгрэн, Т.Целестино, Р.Гудман, С.Бандис, С.Браун, П.Дайт, Р.Девис, Р.Пик, М.Риверс и др.). Выполнялись также исследования по трещинам с заполнителем, позволившие изучить влияние отдельных факторов на закономерности сдвига (Гудман, Б.Ладаньи и Д.Арчемболт,

М.Канджа, Р.Саммерс, Р.Лейли, Н.Куттер, М.Ридер, И.Байерли, Ц.Морроу, И.Ши и др). Эти исследования, выполненные преимущественно на искусственных, идеализированных поверхностях трещин в различных материалах, или единичные эксперименты на природных трещинах, не сопровождавшиеся в большинстве случаев количественным изучением неровностей различных порядков, качественно подтвердили влияние морфологии, но не вскрыли общих количественных закономерностей влияния отдельных параметров или интегрального параметра морфологии поверхности сомкнутых природных трещин и трещин с заполнителем на сопротивление по ним сдвигу. Не были вскрыты основные количественные закономерности совместного влияния параметров морфологии поверхности трещин и свойств заполнителя, не изучен механизм сдвига и не описаны его закономерности с учетом влияния различных геологических факторов.

Несмотря на очевидное существенное влияние морфологии поверхности трещин на сопротивление по ним сдвигу, в отечественной и зарубежной литературе отсутствовали количественные характеристики различных порядков неровностей на поверхности трещин, развитых в осадочных, магматических и других типах пород. Систематического, комплексного и целенаправленного изучения основных параметров морфологии поверхности различных типов трещин на генетической основе не проводилось. Не были изучены особенности строения морфологии поверхности и закономерности ее формирования. Отсутствовала комплексная методика изучения неровностей различных порядков и необходимые технические средства, позволяющие с достаточной точностью при минимальных затратах средств и времени изучать рельеф поверхности трещин в полевых условиях.

В связи с этим исследования морфологии поверхности трещин в терригенных, карбонатных, магматических и метаморфических породах проводились в разнообразных структурно-фациальных зонах и различных географических районах в Республике Узбекистан. В том числе были выполнены исследования на участках горно-складчатых областей, характерных для Южно-Узбекистанского и Нурата-Зарафшанского горнорудных районов.

Исследования поверхностей трещин в натуральных условиях выполнялись на трещинах и разрывных нарушениях различного генезиса и масштаба (порядка) как первичных, так и испытавших наложенные смещения. В том числе изучались трещины литогенетические, тектонические различной кинематики, а также гипергенные (экзогенные), развитые в породах разного возраста (от докембрия до палеогена) и в различных геолого-структурных условиях.

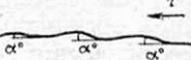
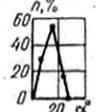
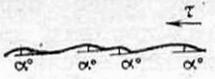
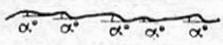
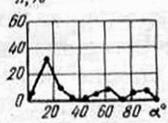
Классифицированы порядки неровностей. Установлено, что морфология поверхности любых генетических и кинематических типов разрывов сложная и характеризуется наличием следующих основных порядков неровностей: меганеровности (I), мезонеровности (II), макронеровности (III) и микронеровности (IV). Эти неровности последовательно наложены друг на друга и осложняют неровности более высокого порядка, различающиеся высотой выступов и длиной волны. Высота выступов перечисленных порядков неровностей соответственно измеряется метрами, дециметрами, сантиметрами

ми и миллиметрами. Трещины малой протяженности (первые метры) как правило, имеют на поверхности макро- и микронеровности. Разрывные нарушения большой протяженности (протяженные трещины и разломы) наряду с макро- и микронеровностями могут иметь неровности других порядков.

Классифицирована морфология поверхности трещин по морфологическим типам (морфотипам), отличающимися по сочетанию выступов различной формы и размеров. В том числе выделены: ровный ($\alpha=0$), волнистый ($0<\alpha\leq 30^\circ$) и ступенчатый ($30^\circ<\alpha\leq 90^\circ$) морфотипы. Широко распространены смешанные морфотипы поверхности, например, волнисто-ступенчатый ($0^\circ<\alpha\leq 90^\circ$) (табл. 1).

Таблица 1

Морфотипы поверхности трещин скальных пород Узбекистана по сочетанию выступов различных формы и размеров

Название морфотипа	Типичная профилограмма макронеровностей поверхности трещин	Типичная кривая распределение и (α) макронеровностей
Ровный		$a = 0$ (100%)
Волнистый		
Волнисто-ступенчатый		
Ступенчатый		

Разработаны также классификации по форме профиля трещины (симметричная, асимметричная, изотропная, анизотропная); по степени однородности (однородная, неоднородная), по типу микрорельефа (полированная, гладкая, слабошероховатая и грубошероховатая) и другие.

Численные параметры морфологии поверхности различных генетических типов трещин – литогенетических и тектонических – в осадочных, магматических и метаморфических породах в конкретных геологических условиях различных структурно-фациальных зон свидетельствуют о широком

диапазоне изменений α , h , l (α – угол наклона, h – высота выступа, l – длина волны) различных порядков неровностей.

Установлено, что особенности строения неровностей различных порядков поверхностей трещин формируются при их образовании и видоизменяются в ходе естественно-исторического развития скальных пород. Направленность и интенсивность проявления тех или иных геологических факторов, формирующих и преобразующих морфологию поверхности трещин, зависит от конкретной геолого-структурной обстановки.

Исследовано влияние геологических факторов на формирование макрорельефа поверхности неровностей, имеющего преимущественно практическое значение при оценке сопротивления сдвигу. Установлено, что главным фактором, влияющим на формирование первичной морфологии поверхности трещин в горных породах, является генетический. Основные генетические и кинематические типы трещин – литогенетические, тектонические (скола и отрыва) и экзогенные, различаются по механизму и условиям их образования и характеризуются отличающейся морфологией поверхности. Этот фактор предопределяет развитие морфотипов поверхности трещин, количественные параметры, их характеризующие, а также закономерности изменчивости параметров морфологии поверхности по падению и простиранию трещин.

Определены количественные параметры макрорельефа поверхности трещин и особенности его строения для основных генетических и кинематических типов первичных трещин.

Исследовано влияние наложенных процессов на преобразование морфологии поверхности трещин. Установлено, что главным фактором, влияющим на преобразование морфологии поверхности трещин, являются тектонические подвижки. Наложённые тектонические деформации скола – сдвига могут существенно изменить первичный рельеф поверхности трещин различных генетических типов.

При наложении тектонических деформаций скола без смещений либо с весьма малыми амплитудами смещений, когда основные напряжения приводят только к сколу скальных перемычек («мостиков») между трещинами, волнистый рельеф преобразуется в волнисто-ступенчатый, причем волнистая часть, как правило, не претерпевает существенных изменений

При повторных, а тем более многочисленных и разнонаправленных подвижках под воздействием касательных напряжений по разрывным нарушениям различных порядков, сопровождающихся значительными смещениями, происходит существенное преобразование всех морфологических типов поверхности различных порядков неровностей. Разрывные нарушения утрачивают первичные, специфические черты рельефа, отражающие особенности генезиса и кинематики образования, так как в результате подвижек происходит разрушение и притирание неровностей. В зависимости от активности тектонической деятельности, обуславливающей интенсивность и направленность подвижек, первоначальный рельеф может полностью нивелироваться и преобразовываться.

Проанализирована изменчивость параметров, характеризующих морфологию поверхности трещин. Установлено, что α , h , l всех порядков неровностей в пределах одной трещины могут изменяться в значительном диапазоне по ее простираению и падению. Полученные данные свидетельствуют, что существенная изменчивость параметров морфологии поверхности трещин присуща всем генетическим типам трещин, развитых в осадочных, магматических и метаморфических породах.

Рассмотрен также вопрос о масштабном факторе. Установлено, что в пределах одного порядка (масштаба) неровностей, например, макронеровностей, определенного морфотипа поверхности, например, волнистого, средние углы наклона выступов сохраняются приблизительно одинаковыми при изменении базы измерений в широком диапазоне. При переходе к большим базам измерений, превышающим первые метры, наряду с макронеровностями дополнительно могут фиксироваться неровности другого порядка.

Весь накопленный для различных геолого-структурных условий фактический материал свидетельствует о следующем. Особенности строения поверхности трещин (и в первую очередь изменчивость α) по их падению и простираению в пределах эталонной площадки, отдельной трещины, различных трещин одной системы и трещин различных систем определяются в первую очередь генезисом и кинематикой образования трещин и воздействием последующих тектонических процессов и в различных геолого-структурных условиях проявляются неодинаково. Формирование и преобразование морфологии поверхности трещин подчиняется определенным закономерностям; параметры неровностей могут быть количественно изучены с необходимой точностью и надежностью, а их изменение может прогнозироваться. Параметры неровностей, в первую очередь углы наклона выступов, являются устойчивым показателем и сохраняются на значительной площади в плане и на глубину постоянными (при замерах в определенном направлении), если геолого-структурные условия участка не изменяются.

Установленные закономерности формирования и преобразования неровностей поверхности трещин учтены при разработке методологии изучения морфологии трещин в скальных породах.

Литература

1. Газиев Э.Г., Тиден Е.Н. Определение параметров систем трещин вероятностным методом // Инженерная геология. – Наука, 1979. – № 4. – С. 99-105.
2. Голодковская Г.А., Шаумян Л.В. Влияние геологических факторов на свойства и состояние массивов скальных пород. – Кольский фил. АН СССР. – С.5 3-60.
3. Количко А.В. Сопrotивление растяжению массива трещиноватых скальных пород // Труды Гидропроекта. Вып. 33. – 1974. – С. 93-104.
4. Рекомендации по изучению морфологии поверхности трещин в скальных породах в полевых лабораторных условиях. – Л.: изд. Внииг, 1980.

ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ КЛАССИФИКАЦИЯ ГРУНТОВ ОПОЛЗНЕОПАСНЫХ СКЛОНОВ ДЛЯ ЭКСПРЕСС-ОЦЕНКИ ИХ УСТОЙЧИВОСТИ ПО ГЕОФИЗИЧЕСКИМ ПРИЗНАКАМ

Ю.Г. Алёшин, И.А. Торгоев

Институт геомеханики и освоения недр НАН КР
720017, г. Бишкек, ул. О. Медерова, 98. E-mail: yuri.aleshin@gmail.com

При изучении оползнеопасных склонов назначение изысканий состоит в получении геолого-геофизической информации, позволяющей дать оценку устойчивости горного склона. Эта информация в сжатом виде может быть закодирована в совокупности апостериорных физико-геологических моделей локальных участков горного массива по ортогональным профилям: по простиранию и по падению горного склона. Оценка устойчивости подобного локального участка может быть произведена по критерию [3]:

$$v_0 = \sin \alpha - \cos \alpha \cdot \operatorname{tg} \varphi_0 - c/p_0 H > 0$$

где α , H – геометрические, φ , c , p – геотехнические параметры оползневой системы. При $v_0 < 0$ горный склон следует признать устойчивым, при $v_0 \rightarrow 0$ он находится на границе устойчивости с вероятностью обрушения $PF \rightarrow 0.5$.

Введём следующие обозначения: Γ – глинистость грунтов в % ($\Gamma > 40\%$ – глины; Γ от 20 до 40% – суглинки; Γ от 10 до 20% – супеси, $\Gamma < 10\%$ – пески средне-мелкозернистые); K – консистенция грунтов ($K = 1 + 5J$, где J – показатель консистенции по [3]). Воспользовавшись известными соотношениями между прочностными характеристиками грунтов различного литотипа и их консистенцией, после проведения факторного эксперимента получим критерий устойчивости горного склона в следующем виде:

$$f(H_1 \alpha, \Gamma, K) = \sin \alpha - \cos \alpha (0.8155 - 0.1774 \cdot 10^{-1} \cdot \Gamma + 0.2395 \cdot 10^{-3} \cdot \Gamma^2 - 0.4509 \cdot 10^{-1} \cdot K^2 - 0.733 \cdot 10^{-3} \cdot \Gamma \cdot K) - \frac{1}{H(0.14 + 0.01K)} \cdot (0.232 + 0.2273 \cdot 10^{-1} \cdot \Gamma - 0.9538 \cdot 10^{-4} \cdot \Gamma^2 - 0.1222 \cdot K + 0.1418 \cdot 10^{-1} \cdot K^2 - 0.3083 \cdot 10^{-2} \cdot \Gamma \cdot K) < 0$$

На основании априорной информации, например, могут быть сделаны следующие предположения: (1) – геолого-литологический разрез изучаемого участка горного склона неоднороден либо по составу пород, либо по состоянию пород (в том числе их обводнённости, нарушенности и т. д.), либо по прочностным характеристикам, либо по тем и другим вместе; (2) – граница между относительно однородными слоями, относящимися к различным геолого-структурным классам пород, залегает на глубине $H_{\text{апр}}$ с углом падения $\alpha_{\text{апр}}$ с координатными признаками, характеризующими достоверность апри-

орной информации: $M\{H_{\text{апр}}\} = H_{\text{апр}}^*$ – математическое ожидание (среднее значение), $\sigma\{H_{\text{апр}}\} = \sigma^* H_{\text{апр}}$ – среднеквадратичное отклонение оценки $H_{\text{апр}}^*$; $M\{\alpha_{\text{апр}}\} = \alpha_{\text{апр}}^*$ математическое ожидание, $\sigma\{\alpha_{\text{апр}}\} = \sigma^*_{\text{апр}}$ – среднеквадратичное отклонение оценки $\alpha_{\text{апр}}$; (3) – глинистость $L_{\text{апр}}$ и консистенция грунтов $K_{\text{апр}}$, залегающих в разрезе в тонком прослое на границе раздела слоёв, точно не известны, кроме общих характеристик: литотип (в классах от тяжёлых глин до лёгких супесей) и консистенцией от полутвёрдой до текучепластичной с различной их вероятностью; (4) – литотип грунтов налегающей толщи с большой вероятностью ($P_{H.T.\text{апр.}} \rightarrow 1$) может быть отнесён к суглинкам средним полутвёрдой консистенции. В условиях подобной, в достаточной мере неопределённой, априорной информации о структуре, состоянии и свойствах массива горного слона необходимо дать оценку его устойчивости и вероятности обрушения, а также условиям, когда эта вероятность может превысить некоторую фиксированную величину PF^* . В том случае, если на основании априорной информации будет установлена $PF_{\text{апр}} > PF^*$, необходимо разработать процедуру инженерно-геологических изысканий с выбором геофизических комплексов, методов классификации и распознаванием для более достоверного суждения о показателях устойчивости склона.

Сформулированная задача является типичной, наиболее общей задачей инженерных изысканий на оползнеопасных горных склонах. Её решение распадается на ряд частных задач оценки классификации и распознавания: общей структурной характеристики геологической среды: однородная; градиентная; неоднородная слоисто-градиентная; хаотического беспорядка; описания геологической среды в координатных признаках: мощности структурных образований; глубины заложения границ раздела и углов их падения; идентификация литотипов грунтов, налегающих и подстилающих границу слоистой толщи, оценка консистенции грунтов, в которых может развиваться плоскость скольжения налегающей толщи; определение уровня подземных вод относительно границ раздела слоёв и /или потенциальной плоскости скольжения налегающей толщи. Идентификация общей структуры горного массива легко осуществляется применением 2D-технологии геофизической разведки в комплексе электро- и сейсмозондирования пород с дневной поверхности по разведочным профилям с выделением структурных образований [2]. Решение принимается на основании изучения контрастности ($\Delta Q/Q$) геофизических свойств горного массива в его разрезе. Критерием является различие геофизических показателей, превышающих погрешности (εQ) их оценки и возможность выделения связных областей на плоскости разреза со стабильными (в пределах погрешностей измерения) геофизическими показателями. Определение литотипов грунтов, залегающих на изучаемом горном склоне, осуществляется по комплексу геофизических показателей структурных образований (рис. 1), выделенных на предыдущем этапе идентификации. Процедуру рекомендуется начинать с наиболее глубоко залегающего слоя, который с большой вероятностью может быть отнесён к классу коренных мезокайназойских пород в отличие от грунтов глинистых, рыхлосвязанных и рыхлых четвертичного покрова.

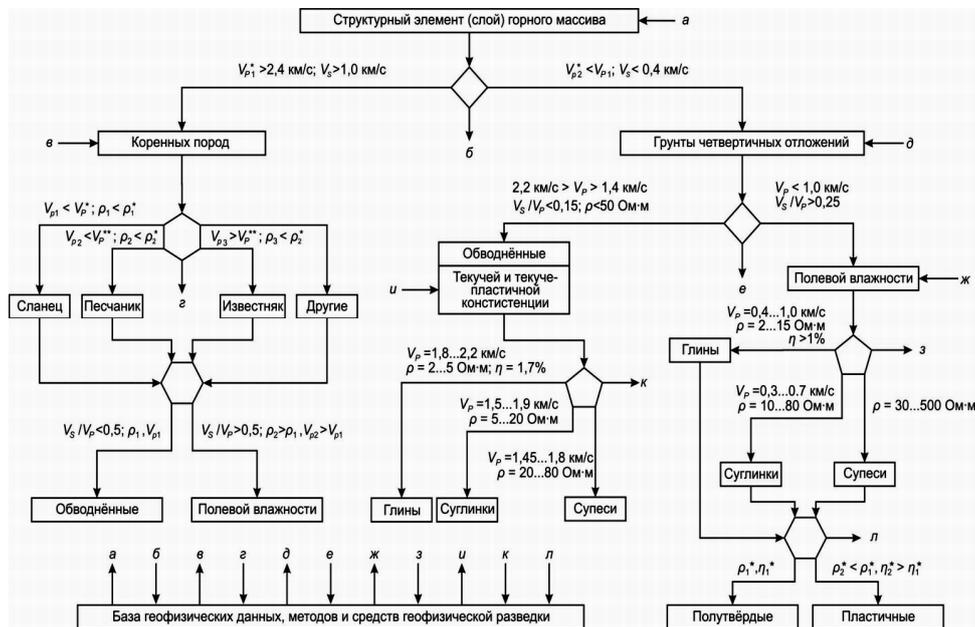


Рис. 1. Рациональная инженерно-геологическая классификация горных пород, вписанная в систему геофизического распознавания

Эта схема наряду с другими [1] реализует инженерный способ построения программы структурной идентификации горного массива по иерархическому принципу. Подобная программа применима для различных структурно-сложных горных массивов и не накладывает каких-либо ограничений на информативные параметры и методы идентификации, обладает элементами адаптации к реальной ситуации, складывающейся на оползневом склоне, когда результат идентификации не может быть однозначно интерпретирован. В этом случае схема обращает исследователя к выбору дополнительных или иных информативных геофизических параметров с тем, чтобы было принято конкретное решение.

Возвращаясь теперь к решению общей типовой задачи инженерных изысканий на оползнеопасном горном склоне, можно показать пути использования полученной геофизической информации для экспресс-оценки показателей его устойчивости. В качестве примера рассмотрим результаты геофизических исследований на оползнеопасном горном склоне в пос. Кок-Жангак (южный борт хребта Сюрен-Тюбе в горном обрамлении Ферганской долины). На основании априорной информации и по результатам визуального осмотра горного склона, на дневной поверхности которого в весенний период 1994 года появились трещины, специалистами МЧС были высказаны следующие предположения: кровля коренных пород залегает на глубине $H_{\text{апр}}^* = 10 \pm 2$ м, с углом падения $\alpha_{\text{апр}}^* = 17,5 \pm 2,0^\circ$ согласно падению склона;

грунтовая толща, залегающая на коренных породах, представлена суглинками лёссовидными средними (глинистость $\Gamma^* < 30\%$), тугопластичной консистенции ($K^* = 3$).

Априорная классификация была проанализирована с помощью диаграммы $H = f(\alpha, \Gamma, K)$. При этом было показано (рис. 2), что горный склон при априорных показателях устойчив и появление трещин оползневой зоны не может быть объяснено развитием оползневой процесса: граничная линия $H(\Gamma^*, K^*, \alpha_{\text{апр}})$ располагается правее и выше зоны координатных признаков склона $H_{\text{апр}}, \alpha_{\text{апр}}$, т.е. целиком расположена в зоне устойчивости склона.

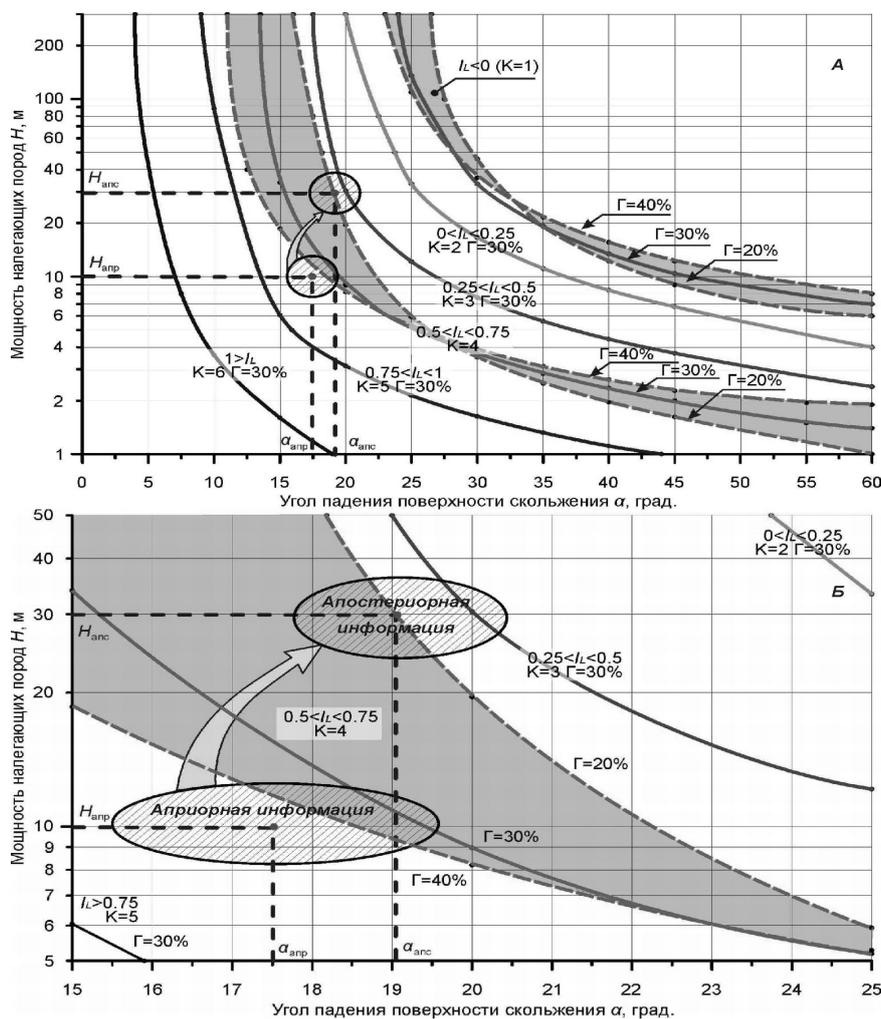


Рис. 2. Изменение оценки устойчивости горного склона (оползень «Интернациональный» в пос. Кок-Жангак) в связи с получением апостериорной информации по данным геофизической разведки (А); то же увеличено (Б)

Поскольку причины и перспективы развития деструктивных процессов не были ясными, а риск поражения жилой застройки у подножья склона в случае оползневого смещения грунтов склона достаточно высок, возникла необходимость получения дополнительной информации о структуре склона и состоянии слагающих его грунтов. Изучение склона было проведено с использованием методов геофизической разведки. При этом была использована иерархическая процедура классификации и распознавания [1] и установлено следующее: геологическая структура горного массива однородная слоистая с наличием в разрезе коренных пород нижнего мела ($V_P \geq 2,0$ км/с, $\bar{\rho} \approx 50$ Ом·м); на участке горного склона прослежено крупное тектоническое нарушение; кровля коренных пород залегает на глубине $H_{\text{анс}}$ от 25 до 33 м с углом падения $\alpha_{\text{анс}}$ от 18 до 22° согласно падению склона, что превышает показатели априорной информации; в грунтовой толще не обнаружено водоносных горизонтов (верховодки), а лёссовидные суглинки на контакте с коренными породами обладают консистенцией от туго- до мягкопластичной (V_P от 0,6 до 0,9 км/с, $V_S^*/V_P^* \approx 0.3$, $\rho \approx 30$ Ом·м).

Данные экспериментальных исследований совершенно определённо указывали на критическое значение запаса устойчивости горного склона, в отличие от оценок, которые даны на основании априорной информации, когда склон терял бы устойчивость при переходе грунтов в состояние мягкотекучепластичной консистенции. Потеря устойчивости горного склона могла быть связана с крайне небольшим изменением влажности грунтов на контакте с коренными породами (в пределах от 1 до 2%). Это условие и было реализовано путём проникновения влаги (талых и ливневых вод) через глубокие трещины, сформированные на поверхности горного склона к началу зимне-весеннего периода 1995 г. Все стадии оползневого процесса с катастрофическим смещением пород в объёме ~ 0.6 млн. м³ и продвижение их по тальвегу сая на расстояние $\sim 1,2$ км были завершены в конце марта этого года.

Имея в виду невысокую глинистость грунтов, залегающих на коренных породах склона, как это видно из рис. 2Б, по апостериорным данным можно сделать вывод о высокой вероятности обрушения горного склона ($PF \approx 0,25$) даже в условиях их мягкопластичной консистенции ($K^* = 3$) грунтов плоскости скольжения на контакте с коренными породами.

Литература

1. Алёшин Ю.Г. Геолого-структурная классификация грунтов в процедурах геофизического распознавания: иерархический принцип // Современные проблемы механики сплошных сред. Вып. 15 – Бишкек, 2012 – С. 76-84.
2. Ляховицкий Ф.М., Хмеловской В.К., Яценко З.Г. Инженерная геофизика – М.: Недра, 1989. – 252 с.
3. Маслов Н.Н. Основы инженерной геологии и механики грунтов – М.: Высшая школа, 1982. – 511 с.

ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ КЛАССИФИКАЦИИ МИКРОСТРОЕНИЯ ЛЁССОВЫХ ПОРОД ПРИ ИССЛЕДОВАНИИ ЧЕТВЕРТИЧНЫХ ОТЛОЖЕНИЙ ТАМАНСКОГО ПОЛУОСТРОВА

И.Ю. Григорьева, М.Н. Щербакова

Геологический факультет МГУ имени М.В.Ломоносова, Воробьёвы горы, Москва, Россия
E-mail: ikagrigrig@inbox.ru

Классифицированием микростроения глинистых и лессовых пород занимались многие исследователи: Е.М.Сергеев, А.К.Ларионов, В.И.Осипов, В.Н.Соколов, Н.В.Воляник, В.В.Севостьянов, А.В.Гридневский и другие. Большинство классификаций, как правило, не учитывало всех признаков микростроения.

Например, гранулометрическая классификация основывается на морфометрических признаках, т.е. размере частиц и их соотношении. Модели микроструктур глинистых пород [5] были выделены, исходя из морфометрических и геометрических особенностей. В этой классификации ячеистая, матричная и скелетная микроструктуры выделены по морфометрическим особенностям, а турбулентная и ламинарная – по степени ориентации структурных элементов. Необходимость же комплексного подхода достаточно очевидна, и отмечалась многими исследователями. Комплексный подход к классифицированию микростроения был реализован В.Н.Соколовым применительно к глинистым грунтам [4], и эта классификация не позволила детально отразить особенности микростроения лёссовых пород.

Первая комплексная классификация микростроения применительно к лёссовым породам была предложена в 1957 г. А.К.Ларионовым [3]. Оценка микростроения в ней проводилась на основе учета морфометрических (размер частиц) и энергетических (структурные связи) признаков. Однако в силу того, что эта классификация была составлена в 1950-1960-х годах, методы, предложенные для определения тех или иных таксономических категорий пород, основывались на существовавшей в то время аппаратурно-методической базе. И, поэтому, даже количественные характеристики давались на основе приближенных косвенных, либо оценочных определений. Хотя эти определения довольно просты, они отличаются большой трудоемкостью.

Другая схема типизации микростроения лессовых пород была разработана в 1978 г. В.В.Севостьяновым. Им на основе учета характера взаиморасположения пылеватых обломочных зерен и агрегатов, а так же морфологии и состава цемента между ними было выделено четыре типа микростроения. Выделение типов микростроения В.В. Севостьяновым, к сожалению, проводилось без учета геометрических и энергетических признаков, и в рассмотрение были взяты лишь лессовые породы Средней Азии и северной части Восточно-Европейской платформы [2].

Существующая аппаратная база, широкое внедрение в практику исследований растровых электронных микроскопов и анализаторов изображений, позволяющих получать некоторые количественные морфологические показатели, создали хорошую основу для всестороннего исследования микростроения лессовых пород.

На основе комплексного экспериментального исследования образцов из наиболее типичных опорных разрезов [6] лессовых пород (Афонино, Бабурка, Отказное, Волгодонск, Тирасполь, Большая Салба, Володарка Чарвак, Келес, Орловка, Адырный) И.Ю.Григорьевой была разработана инженерно-геологическая классификация микростроения и установлена взаимосвязь между параметрами микростроения и просадочностью лессовых пород (табл. 1). Идея создания подобной классификации принадлежала В.Т.Трофимову, а её реализация стала возможна благодаря огромной работе, проведенной ВМНТК «Лесс» при участии и под руководством академика Е.М.Сергеева.

Это однорядная классификация с тремя признаками-основаниями, количественно выражающими размер и форму твердых структурных элементов, размер и количество пор, изменяющихся при просадке, а так же характер распределения пор.

Классы микростроения выделены на основании морфометрического признака, который количественно характеризуется параметром Y (расчетной поверхностью пор), получаемом с помощью анализа РЭМ-изображений. Этот параметр имеет тесную взаимосвязь с коэффициентом K_I , предложенным Н.В.Воляником [1], который определяется по данным гранулометрического анализа как отношение содержания фракций размером более 50 мкм к содержанию фракций размером менее 50 мкм.

Группы микростроения выделяются по величине активной пористости породы, полученной в ходе анализа РЭМ-изображений поверхности образца. Этот показатель хорошо соотносится с величинами общей пористости, определяемой по стандартным методикам, и величиной активной пористости, рассчитываемой по формуле Н.В.Воляника. Подгруппы микростроения выделяются по морфометрическому признаку – характеру распределения пор по размерам, который отражает энергетический признак структуры. Количественно этот показатель оценивается по вкладу наиболее характерных категорий пор в общую пористость лессовых пород, определяемому по данным анализа РЭМ-изображений. Характер распределения пор тесно взаимосвязан с величиной прочности индивидуального контакта и степенью влажности породы.

Индекс типа слагается из индексов класса, группы и подгруппы. Например, микростроение зернистое, высокопористое с преобладанием межаггатных и межзернистых пор I-B-1.

Одним из основных преимуществ составленной классификации явилось установление взаимосвязи между параметрами микростроения и просадочностью лёссовых пород [2]. Проверка составленной классификации на основе образцов, не вошедших в анализ при классификационных построени-

ях, подтвердила возможность её применения для прогноза деформационного поведения лессовых пород.

Таблица 1

Классификационные признаки микростроения лёссовых пород

Класс микростроения	Расчетная удельная поверхность пор, Y , мкм ⁻¹	Коэффициент дисперсности, K_1
I. Зернистое	>2,7	>0,3
II. Зернисто-агрегативное	1,6-2,7	0,1-0,3
III. Агрегативное	<1,6	<0,3
Группа микростроения	Активная пористость, %	
A. Низкопористое	<30	
B. Среднепористое	30-37	
B. Высокопористое	>37	
Подгруппа микростроения с преобладанием:	Вклад пор в общую пористость (%), ($d_2:d_3:d_4$): d_2 – мелких (0,2-1,0 мкм), d_3 – крупных внутриагрегатных (1,0-10 мкм), d_4 – межагрегатных и межзернистых (10-110 мкм)	
1. Межагрегатных пор	10:20:70	
2. Межагрегатных и крупных межагрегатных пор	15:35:50	
3. Крупных и мелких внутриагрегатных пор	25:40:35	

В настоящее время в связи с развернувшимся строительством на Черноморском побережье перевалочного комплекса «Тольяттиазот» в районе поселка «Волна» Темрюкского района возникла необходимость детального изучения грунтов, являющихся основанием возводимых инженерных сооружений. С инженерно-геологической точки зрения особый интерес вызывает толща лёссовых пород, венчающая разрез четвертичных отложений в пределах территории строительства.

Для характеристики исследуемой толщи лёссовых пород под руководством М.Н.Щербаковой было проведено детальное опробование и выполнен необходимый спектр лабораторных исследований. Для части образцов в кабинете электронной микроскопии кафедры инженерной и экологической геологии МГУ имени М.В.Ломоносова В.Н.Соколовым сделан количественный анализ РЭМ-изображений.

Согласно представленной выше классификации, изученные образцы относятся к типам: I-B-1, II-B-1 и III-B-1. Значения относительной просадочности, определенные методом одной кривой при нагрузке 0,3 МПа, соответствуют полученным по характеристике выделенных микроструктурных типов величинам. Так, для образцов, имеющих тип I-B-1, значения относительной просадочности, полученные при компрессионных испытаниях в среднем составляют 4%, тогда как по характеристике данного типа микростроения соот-

ответствующая величина лежит в пределах 2-3%; для образцов типа II-B-1 соответственно составила 13%, в то время как классификационные значения лежат в пределах от 5 до 11%; для образцов типа III-B-1 соответственно составила 5%, а классификационные значения составляют 4-5%. Небольшие превышения экспериментальных значений просадочности над классификационными могут быть объяснены небольшим подсушиванием образцов лессовых пород Таманского полуострова, допущенным при транспортировке. Это позволяет нам в дальнейшем на основе детального изучения разреза четвертичных отложений Таманского полуострова дать прогноз деформационного поведения лессовых пород в основании строящихся сооружений. Полученные высокие значения просадочных деформаций позволяют рекомендовать учесть подобное обстоятельство, как при строительстве, так и при эксплуатации сооружений нового морского порта на Черноморском побережье.

Литература

1. *Воляник Н.В.* Классификация лёссовых грунтов // Инженерная геология лёссовых пород. Кн. 1. Тезисы докладов Всесоюзного совещания. – Ростов-на-Дону, 1989. – С. 4-6.
2. *Григорьева И.Ю.* Микростроение лессовых пород. – М.: Наука/Интерпериодика, 2001. – 147 с.
3. *Ларионов А.К.* Вопросы инженерно-геологической классификации лёссовых пород. – М.: Наука, 1966. – 286 с.
4. *Осипов В.И., Соколов В.Н., Румянцева Н.А.* Микроструктура глинистых пород. – М.: Недра, 1989. – 211 с.
5. *Сергеев Е.М.* Проблема классификаций в грунтоведении // Вопросы инженерной геологии и грунтоведения. – М.: Изд-во МГУ, 1978. – № 4. – С. 5-15.
6. *Трофимов В.Т., Балькова С.Д., Андреева Т.В., Еришова А.В., Шаевич Я.Е.* Опорные инженерно-геологические разрезы лессовых пород Северной Евразии. – М.: КДУ, 2008. – 608 с.

ТАКСОНОМИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ КЛАССИФИКАЦИИ ГРУНТОВ

В.В. Дмитриев

Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе,
Москва, ул. Миклухо-Маклая, 23, E-mail: v.v.dmitriev@mail.ru

Проблема классифицирования грунтов в инженерной геологии является одной из основных. Большинство инженерно-геологических задач: оценка строения и состояния геологической среды, прогнозные расчеты, управляющие решения, требуют отнесения исследуемых грунтов к определенным таксономическим единицам: классу, типу, виду, разновидности.

Под грунтом понимается часть литосферы, моделью (предметом) которой является органоминеральная трехфазная, четырехкомпонентная, иерархическая система, эмерджентным свойством которой является определенный тип поведения при внешних и внутренних взаимодействиях. Теоретически внешних и внутренних взаимодействий бесконечное множество. Ограничением анализа их видов и числа является, прежде всего, практическая целесообразность, заложенная в условия решаемых с их помощью задач. Поэтому идеальной (в смысле нематериальной) моделью (предметом) грунта (объекта) является совокупность признаков, отражающих особенности его основных, с точки зрения поставленной цели, взаимодействий и качеств, определяемых условиями формирования и, как следствие, составом, структурой, состоянием, свойствами.

Общая классификация грунтов должна охватывать полное множество частных представителей. Выбор структуры классификации, определение того, что считать таксонами разных иерархических уровней, диапазоны возможных изменений показателей разных качеств грунтов в пределах таксонов и состав признаков в пределах таксонов, составляющих полное множество, остается за инженер-геологом. Он же руководствуется имеющимися представлениями об объекте и задачами, вытекающими из поставленной цели.

Без расчленения изучаемой области литосферы на разновидности грунтов, имеющих, исходя из определения, различные типы поведения при взаимодействиях, нельзя представить инженерно-геологические условия строительства сооружения. Набор свойств и их показателей, используемый при классифицировании грунтов, дает возможность расшифровать условия формирования и преобразования грунтов, выявить структуру полей показателей свойств, решать другие поставленные задачи. В соответствии с таксономическими правилами, термину «Классификация грунтов» можно дать следующее определение: «Классификация грунтов является системой деления совокупности, объем которой – все грунты, соподчиненных таксонов (классов, типов, видов, разновидностей и др.) объекта «грунт», используемая для установления между ними связей, необходимых для достижения поставленной цели» [1].

В 2012 г. был опубликован ГОСТ 25100 -2011. «Грунты. Классификация». Его изданию предшествовала бурная дискуссия между авторами, участвовавшими в разработке. Около семисот замечаний и предложений получило Национальное объединение изыскателей – организатор разработки и соавтор стандарта. Множество мнений, идей, предложений было вызвано желанием включить в классификацию все имеющиеся к моменту разработки сведения о грунтах, все известные результаты исследований свойств, состава, состояния, структуры различных генетических типов скальных, дисперсных, мерзлых грунтов. Однако были и прямо противоположные предложения, направленные на максимальное сокращение разнообразия видов и разновидно-

стей грунтов, приведение их в соответствие с требованиями, предъявляемыми действующими строительными нормами и правилами (СНиП), сводами правил (СП), стандартами предприятий (СТО) и другими нормативами.

Обе стороны можно понять. В рассматриваемом стандарте область применения формулируется следующим образом: «Настоящий стандарт распространяется на все грунты и устанавливает их классификацию, применяемую при производстве инженерно-геологических изысканий, проектировании и строительстве зданий и сооружений» [4].

Распространение стандарта «на все грунты» позволяет считать необходимостью создание иерархической структуры таксонов, включающей все сведения обо всех грунтах. А «применяемость классификации при производстве инженерно-геологических изысканий» указывает на то, что классификация должна состоять из таксонов имеющих свойства, необходимые для принятия проектных решений. Инженер-геологи – исследователи грунтов настаивают на исключительно полной детализации множества «грунт» и увеличении числа и разнообразия таксонов. Инженер-геологи – изыскатели, ориентируясь на указания нормативных документов, условия заказчика (проектировщика), минимизацию трудозатрат, сокращают объем получаемой в процессе инженерно-геологических изысканий инженерно-геологической информации, до минимально необходимого. По этому принципу построены также исключительно лаконичные классификации грунтов, используемые в системах стандартов ISO 14688-2-2004 и ASTM D 2487-2000.

Второй существенной особенностью современного классифицирования по ГОСТ 52100-2011 является отсутствие учета качества показателей. Несмотря на наличие Государственной системы обеспечения единства измерений, предписывающей необходимость указания точности производимых измерений любых физических величин, в том числе и характеристик грунтов, и предлагающей виды показателей точности измерений, в ГОСТах подсистемы «Грунты» в лучшем случае приводится характеристика инструментальной погрешности или допустимое расхождение между параллельными определениями.

Сегодня, имеется много типов российского и зарубежного лабораторного и полевого оборудования, методов определения показателей неизвестного качества. Используются совместно, параллельно или последовательно органолептические и количественные показатели без оценки и учета их качества. При выделении таксономических единиц нами используются все пять шкал: абсолютная, отношений, интервалов, порядка и наименований. Однако качество определения таксономических единиц при классифицировании по разным шкалам принципиально отличается.

В производстве инженерно-геологических изысканий, несмотря на имеющиеся возможности и опыт, не выполняется объективный контроль качества инженерно-геологической информации, отсутствует корректная атте-

стация результатов полевых исследований и инженерно-геологических лабораторий.

Нет обоснования границ многих таксонов, учитывающих случайный, а не детерминированный характер определяемых признаков, Нет обоснования количества и границ отдельных таксономических единиц. В разных классах некоторых показателей имеют место одинаковые численные значения. Исследования показали наличие значительных внутрिलाбораторных и межлабораторных погрешностей при определении многих показателей, входящих в состав 44 таблиц ГОСТа 25100-2011, наличие разнообразных видов зависимостей погрешностей от значений измеряемых показателей[3]. При классифицировании глинистых грунтов по степени текучести, песчаных грунтов по гранулометрическому составу, мы не учитываем тот факт, что рассчитываем их по результатам лабораторных анализов с погрешностью иногда более, чем в одну разновидность, а оценку временного сопротивления скальных и полускальных грунтов одноосному сжатию (R) с погрешностью более 30%. Следствием, например, являются многочисленные недоразумения с экспертным сообществом.

В правилах классифицирования не учитываются различные размеры исследуемых образцов грунта. Государственные стандарты предполагают лабораторные или полевые методы оценки показателей свойств образцов грунта разного объема или веса. Исследуется крошечный шлиф, с объемом образца в $0,1 \text{ см}^3$. Около 15 см^3 необходимо для определения влажности грунта. Не менее 64 см^3 грунта используется при определении R, и более 150 см^3 при проведении компрессионных, стабилметрических испытаний. Минимум 6000 см^3 составляет объем грунта, исследуемый при проведении полевых испытаний грунтов статическими нагрузками или «на сдвиг». Таким образом, при каждом отдельном испытании мы имеем дело с новым представителем литосферы или грунтового массива, с новым объектом. В ГОСТе 25100 – 2011 предпринята попытка учесть свойства массивов скальных грунтов. Однако для дисперсных грунтов, учет влияния на свойства объема исследуемого грунта, учет влияния на результат классифицирования масштабного эффекта отсутствует. Многочисленные исследования показали существенные различия между значениями показателей свойств образца дисперсного грунта (элемента классифицируемого множества) и грунтового массива глинистого грунта разного объема.

Качество имеющихся в науке «Инженерная геология» общей и частных классификаций объекта отражает уровень ее развития как научного направления. Необходимый и достаточный для достижения цели и решения теоретических и практических задач уровень качества классификаций обеспечивается оптимальным качеством, количеством и составом единиц классифицируемого множества и признаков-оснований, соблюдением при классифицировании правил таксономического анализа. Каждый класс анализируемого

множества представляется необходимым и достаточным количеством частных элементов. При классифицировании должны указываться четкие таксономические правила разделения множества на таксоны и значения параметров, по которым будет устанавливаться принадлежность частного представителя, например, образца грунта к определенной таксономической единице, например, классу грунтов.

Настоящими «бледными поганками» для компьютерных баз данных, автоматизированного компьютерного классифицирования грунтов по результатам лабораторных и полевых анализов являются некоторые частные классификации ГОСТа 25100-2011 (Таблицы Б-2, Г-3, Г-5 и др.).

Классификации дисперсных грунтов, принятые в странах Западной Европы и США, основаны на тех же принципах, что и в России. Используются те же или близкие наборы признаков и в основном аналогичные или близкие по сути методы анализа. Редко, например, при определении влажности на границе текучести, методы определения отличаются полностью. По числу таксономических единиц они упрощены и, как правило, ограничиваются выделением двух, трех уровней. Очень простые классификации используются для скальных грунтов. Как правило, они дополняются некоторым числом частных классификаций, рассчитанных на решение частных задач.

Сходство в наименованиях, принципах построения и составе используемых показателей общих классификаций грунтов в России и за рубежом позволило на основе большого объема экспериментальных исследований авторам ГОСТа 25100-2011 предложить переходные коэффициенты между значениями показателей, и, соответствующими таксонами, получаемыми при использовании методов анализа и классифицировании, принятыми в России и за рубежом. В ряде случаев это позволяет избежать дублирования лабораторных или полевых работ, выполняемых в разных странах. Однако, как показали исследования, эта зависимость не является линейной [3].

В настоящее время следует учитывать широкое внедрение в инженерно-геологическое производство компьютерной техники, в том числе для классифицирования грунтов на основе результатов различных видов многомерного анализа, со строго, формально сформулированной задачей. Большое значение при решении геотехнических задач, приобретает математическое моделирование. И здесь в основе должны лежать обоснованные целью: необходимый и достаточный объем показателей свойств грунтов, учитывающих все особенности не определений, а измерений показателей свойств (в широком смысле – качеств) грунтов, погрешности их измерений, объективность границ таксонов и т. д. Вычисления осадки сооружения или устойчивости оползневого склона с точностью до сотого знака, при использовании для этих расчетов исходных показателей свойств грунтов, варьирующих вследствие природной неоднородности и погрешности измерений на 10 – 35%, бессмысленно.

Совершенствуется стратегия изысканий. Нормативы становятся менее жесткими, преобладают рекомендации, максимально сокращаются объемы и продолжительность работ, необходимые для получения требуемой инженерно-геологической информации. Представляется, что таксономические аспекты классифицировании грунтов по-прежнему требуют постоянного широкого обсуждения.

Литература

1. Дмитриев В. В., Комаров И. С. Классифицирование грунтов в инженерной геологии // Геозкология. – 2005. – № 2. – С. 171-177.
2. Дмитриев В. В. О корреляции некоторых классификационных наименований не- скальных грунтов, принятых в СССР и США // Инженерная геология. – 1981. – № 4. – С. 80-97.
3. Дмитриев В. В., Ярг Л. А. Методы и качество лабораторного изучения грунтов. – Изд-во «КДУ», 2008. – 544 стр.
4. ГОСТ 25100-2011. Грунты. Классификация. – М.: Стандартинформ, 2012. – 38 с.

О КЛАССИФИКАЦИИ ГЛИНИСТЫХ ГРУНТОВ ПО НАБУХАНИЮ И УСАДКЕ

Ю.К. Егоров

Мосгосэкспертиза, 125047, г. Москва, ул. 2-я Брестская, д. 8.
E-mail: Egorov.YK@mge.mos.ru

Процессы набухания-усадки взаимосвязаны, взаимозависимы, до определенных величин – обратимы. Классифицировать водонасыщенные глинистые грунты по возможности развития объемных деформаций, связанных с набуханием и усадкой, следует с учетом тесной взаимосвязи этих разнонаправленных процессов.

К набухающим грунтам по ГОСТ 25100-2011 «Грунты. Классификация» [1], относятся грунты, увеличивающие свой объем при замачивании водой и имеющие относительную деформацию набухания большую либо равную 0,04 (в условиях свободного набухания) или развивающие давление набухания (в условиях ограниченного набухания).

По относительной деформации набухания без нагрузки, то есть, по отношению увеличения высоты образца глинистого грунта при замачивании после свободного набухания в условиях невозможности бокового расширения к начальной высоте образца природной влажности (см. ГОСТ 12248), глинистые грунты подразделяют на разновидности в соответствии с табл. 1 Б.20. ГОСТ 25100-2011.

Данная классификация не учитывает природу глинистых минералов, образующих грунт. В группу ненабухающих грунтов, например, могут быть

отнесены и супеси, совершенно не содержащие набухающих минералов, и тяжёлые глины монтмориллонитового состава, если они находятся в предельно набухом состоянии. Многие грунты также переходят из одной классификационной группы в другую, даже при незначительных изменениях их влажности, например, при сезонных колебаниях уровня подземных (грунтовых) вод.

Таблица 1

(Таблица Б.20 ГОСТ 25100-2011)

Разновидность глинистых грунтов	Относительная деформация набухания без нагрузки, д.е.
Ненабухающий	менее 0,04
Слабонабухающий	0,04 – 0,08
Средненабухающий	0,08 – 0,12
Сильнонабухающий	более 0,12

В этом же ГОСТ 25100-2011 «Грунты. Классификация» какая-либо классификация (градация) грунтов по их способности к усадке, определение термина «усадка» не приведены.

Предлагается использовать в качестве классификационного обобщённый показатель, учитывающий максимально возможные для грунта набухание и усадку, т.е. его потенциал набухания-усадки Δe_{ny} . Классификация грунтов по такому показателю будет лишена указанных выше недостатков и позволит однозначно классифицировать глинистые грунты, не зависимо от того, насколько данный грунт реализовал свою способность к набуханию или усадке в данный момент, так как величина потенциала набухания-усадки Δe_{ny} не зависит от состояния грунта в данный момент.

Потенциал набухания-усадки (Δe_{ny}) представляет собой разность между коэффициентами пористости грунта в предельно набухом состоянии и после завершения процесса усадки:

$$\Delta e_{ny} = e_n - e_y \quad (1)$$

Потенциал набухания-усадки Δe_{ny} зависит от содержания глинистых минералов в грунте, их гидрофильности и способности их к набуханию-усадке. На его величину влияет степень литификации грунта, которая снижает этот показатель.

Показатель Δe_{ny} определяет не только интервал возможных значений пористости грунта, но также и ряда других его характеристик: влажности, плотности, консистенции.

Разграничивая диапазоны возможных изменений потенциала набухания-усадки для классификации целесообразно перейти от двенадцатеричной к десятичной системе исчисления. Предлагается следующая классификация глинистых грунтов по объёмным деформациям, связанным с процессами набухания-усадки (табл. 2).

Таблица 2

Классификация глинистых грунтов по объемным деформациям

Разновидность глинистого грунта по возможным деформациям набухания-усадки	Потенциал набухания-усадки, д.е.
Малонабухающий	до 0,05
Средненабухающий	от 0,05 до 0,25
Сильнонабухающий	более 0,25

Сложно выполнить количественный прогноз изменения свойств набухающих грунтов при строительстве и эксплуатации объектов, оперируя только дискретной (точечной) характеристикой свойства грунта в данный момент и в данном состоянии.

Для оценки уже реализованного набухания, для данного глинистого грунта в данный момент, в качестве классификационного показателя предлагается использовать степень набухания S_n (%):

$$S_n = (e - e_y) * 100 / (e_n - e_y) \quad (2)$$

Степень набухания грунта указывает, на сколько процентов уже реализована способность грунта к набуханию в данный момент, что позволяет прогнозировать и оставшуюся величину потенциально возможного набухания для данного грунта.

Существующие технологии позволяют уже сейчас перейти от определения дискретных (точечных) свойств грунтов в данном состоянии к анализу всех возможных изменений этих свойств в заданном диапазоне изменений состояния грунта (например, использовать математические описания функций изменения прочностных и деформационных свойств в зависимости от изменения влажности и плотности).

Использование математического описания функции вместо точечной характеристики деформационного процесса, позволит дать обоснованный количественный прогноз возможных изменений свойств грунтов при изменении их состава и состояния. Расчетные параметры такой функции будут лучше характеризовать грунт и, в дальнейшем, могут служить основой для классификаций свойств грунтов.

Литература

1. ГОСТ 25100-2011 «Грунты. Классификация».

ГРУНТОВЫЙ МАССИВ – СРЕДА И ОСНОВАНИЕ ИНЖЕНЕРНЫХ СООРУЖЕНИЙ

В.В. Михайлов, С.Н. Чернышев

МГСУ, Ярославское шоссе д. 26, E-mail: geolog305@yandex.ru

Отечественное грунтоведение преимущественно занято изучением грунтов на уровне или в объёме геологического тела, получившего название инженерно-геологический элемент и аббревиатуру ИГЭ. Внутри ИГЭ характеристики грунтов изменяются случайным образом и могут быть обобщены статистически. Соединение ИГЭ это массив грунтов. ИГЭ в массиве располагаются и чередуются не случайно, но по законам формирования генетического типа отложений. Потому массив представляет собой закономерно построенное природное сооружение. Природная конструкция его может быть принципиально установлена до проведения исследований и использована в виде рабочей гипотезы для создания программы инженерно-геологических изысканий. Инженерно-геологические исследования в таком случае являются проверкой гипотезы, что позволяет спланировать их по составу и объёму работ.

Грунт состоит из минеральных зёрен, они избирательно объединены в горную породу, имеющую структурные и текстурные особенности только ей присущие. В природе имеется ограниченное количество горных пород при практически неограниченном количестве возможных сочетаний минералов. Следовательно, в природе существует система отбора сочетаний, которая формирует ограниченный набор горных пород. Это позволяет на уровне грунтоведения описать наиболее распространенные горные породы или грунты. На уровне формирования минеральных зёрен, кристаллов, также существует механизм отбора, который формирует около 30 продуобразующих минералов, а вместе с акцессорными около 6000 минералов. Это упрощает нам изучение грунтов, как тел состоящих из ограниченного набора минералов со строго постоянными химическими и физическими свойствами. Грунтоведение имеет большие успехи в изучении минерального состава, структур, текстур физических и механических свойств горных пород, как грунтов.

Объединение горных пород в земной коре происходит также не случайно. Если минералы считать первым уровнем организации материи в геологическом пространстве, горные породы, построенные закономерно из минералов считать вторым уровнем в том же пространстве, то соединения горных пород это третий уровень организации геологической среды [2]. Г.К. Бондарик рассматривает и другие уровни геологической среды. Изучение их актуально для региональных инженерно-геологических исследований.

Мы же останавливаемся на уровне исследования оснований и среды инженерных сооружений, который, по нашему мнению, востребован в современной народно-хозяйственной ситуации, когда строительство часто идёт на застроенных территориях. На третьем уровне существуют закономерно построенные парагенетические ассоциации горных пород. В геологии они называются массивами, применительно к магматическим и метаморфическим горным породам, и слоистыми толщами, применительно к осадочным слоистым отложениям. Среди осадочных отложений встречаются образования лишенные слоистости. Тогда и к ним применяется термин массив. Например, массив лёссового грунта, массивный песчаник, массив коралловых известняков. Так что термин массив в геологии применяется к магматическим, метаморфическим и осадочным образованиям.

В геомеханике, являющейся потребителем инженерно-геологической информации, утвердился термин массив основания.

В инженерной геологии применяются термины грунтовый массив и массив грунта, которые, согласно справочнику [5], равнозначны: это часть геологического пространства сложенная грунтами, вовлечёнными во взаимодействие с сооружением. Напомним, что согласно последнему выпуску ГОСТ «Грунты» [3] грунтом называется всякая горная порода, почва, осадок, изучаемые в целях инженерно-хозяйственной деятельности и рассматриваемые, как многокомпонентные динамичные системы. В соответствии с таким определением, грунты обязательно находятся не только в основании, но и в прилежащем к нему пространстве. Данное в [5] определение термина грунтовый массив не согласовано с геологическими представлениями о иерархичности геологического строения земной коры. Оказалось не согласованным оно и с уточнённым определением понятия грунт. Факт иерархичности установлен в литологии и петрологии неоспоримо. Он лежит в основе инженерной геологии, как науки, основанной на генетическом анализе среды сооружений.

Предлагаем в рамках генетического подхода в инженерной геологии грунтовым массивом называть генетически обособленное соединение грунтов. Грунтовый массив отличается от соседних массивов породным составом, формой и размерами геологических тел, его слагающих, для всех скальных и многих дисперсных массивов трещиноватостью. Грунтовый массив может быть частью основания или среды подземного сооружения, но может быть и значительно больше зоны влияния сооружения на грунты. Например, под Московским кремлём имеются два грунтовых массива: грунтовый массив аллювиальных отложений Кремлёвской (3-тней надпойменной) террасы и грунтовый массив карбонатной формации среднего карбона. Оба массива простираются далеко за пределы Кремля. Основания большинства, если не всех сооружений Кремля захватывает только грунтовый массив аллювия. Но грунтовый массив карбонатной формации играет важную роль в формировании инженерно-геологических условий Кремлёвского холма. Он дренирует

аллювий, и тем защищает территорию от подтопления. Одновременно он создаёт карстовую и суффозионно-карстовую опасности.

Для осадочных отложений наряду с термином массив можно допустить термин грунтовая слоистая толща, делая уступку геологам, которым непривычно слоистую толщу называть массивом. Однако это временная уступка. За унификацию термина в форме «грунтовый массив» следующие соображения: во-первых, термин массив короче, чем термин слоистая толща, во-вторых, он утвердился в геомеханике в сочетании массив основания, в-третьих, в геологии он применяется к магматическим, метаморфическим и части осадочных горных пород. В истории отечественной инженерной геологии была аналогичная ситуация при введении термина грунт применительно к скальным породам. Одно-два поколения специалистов с трудом воспринимали это нововведение. Сейчас оно утвердилось и не вызывает возражений. Объединение горных пород и отложений в инженерной геологии под термином грунт чрезвычайно удобно при рассмотрении объекта на уровне массивов, так как в природе имеются переходные разности между литифицированными горными породами и нелитифицированными осадками, между горными породами и элювиальными дисперсными образованиями. Потому наблюдается чередование в массиве дисперсных и скальных грунтов. Объединение всех горных пород в термине грунт позволяет независимо от состава именовать соединение грунтов массивами. Мы должны быть благодарны ушедшему поколению наших учителей во главе с Е.М. Сергеевым, которые вопреки мировой системе терминологии утвердили в отечественном техническом языке термин грунт в современном [3] понимании.

Теоретическое осмысление среды сооружений в объёме массива актуально в настоящее время потому, что: 1) характеристики грунтов в массиве, в объёме ИГЭ, существенно отличаются от свойств в образце [7], 2) характеристики массива существенно отличаются от характеристик ИГЭ в силу структурных особенностей массива, 3) современные методы расчёта ПТС «сооружение – грунтовый массив» требуют от изыскателя дать подробно параметры структуры грунтового массива.

Если в прошлом расчёт основания выполнялся на одномерной модели основания, то сейчас он выполняется на двумерной модели и есть программы на объёмной модели 3D. Точность решений на объёмных моделях на много больше точности решений на плоских моделях.

Современные средства оценки надежности и устойчивости различных сооружений (транспортные тоннели, фундаменты высотного здания, плотины и т.д.) позволяют использовать с очень высокой степенью детализации предоставляемую изыскателями исходную информацию. В большинстве случаев, при определении основных показателей прочности и надежности конструкции сооружений пользуются математическими методами расчета, основанными на замене непрерывной функции (например, функции перемеще-

ний) дискретной, строящейся на множестве кусочно-непрерывных функций, отвечающим граничным условиям непрерывности. Данный подход удачно реализован в методе конечных элементов (МКЭ), методе дискретных элементах (МДЭ) и т.д. Современные программно-вычислительные комплексы, основанные на таких методах, а также имеющиеся на данный момент технические возможности электронно-вычислительных машин, позволяют моделировать мельчайшие структурные детали грунтовых массивов, работающих с возводимым сооружением, а также оценивать при этом взаимное влияние строящегося здания на грунтовый массив и массива на конструкцию здания (сооружения).

Особенно актуально это для грунтовых массивов, сложенных скальными грунтами. Многочисленные исследования показывают, что деформирование трещиноватых скальных массивов характеризуется существенной нелинейностью. При этом прослеживаются как минимум три участка деформирования, обусловленные деформациями межблочных швов, смыканием и сдвигом блоков; закрытием трещин; и сдвигами по межблочным швам, а так же образование микротрещин в блоках. Одним из путей решения и учета нелинейности является моделирование процессов деформирования скальных массивов с помощью соответствующего алгоритма вычислений на ЭВМ. Учитывая всё возрастающее использование в исследованиях численных методов, такой путь является очень перспективным, поскольку он позволяет получить комплексное решение проблемы изучения деформирования и разрушения скальных массивов.

При расчёте взаимодействия инженерных сооружений со скальным массивом приходится сталкиваться с проблемой определения эффективных упругих характеристик массива. Наличие масштабного фактора, вызываемого структурной неоднородностью скальных пород, ограничивает использование экспериментальных методов исследования, особенно в случаях, когда в работу вовлекаются области скального массива, имеющие большие размеры (высокие плотины, крупнопролётные выработки подземных машзалов ГЭС и станционные залы метрополитенов). В этих случаях при условии, если объём исследуемой области массива может рассматриваться как представительный, возможно использование аналитических методов определения деформационных свойств массива. При этом целесообразно проведение двухэтапного моделирования. На первом этапе моделируется штамповое или прессиометрическое испытание грунта в массиве, при котором используются деформационные и прочностные характеристики лабораторного образца скального грунта и точная зарисовка сети трещин в малом моделируемом объёме массива. На втором этапе моделируется в натуральную величину среда (основание) и сооружение, с учетом при этом всех структурных неоднородностей, а также физических и геометрических показателей данных неоднородностей. Применительно к сети трещин это направление, ширина раскрытия и шоро-

ховатость стенок, прочностные и деформационные характеристики заполнителя. Моделируются прослои, зоны дробления, крупные каверны.

Перед инженер-геологами стоит задача распространить грунтоведение на третью иерархическую ступень геологической среды, на грунтовый массив. Задача эта была сформулирована П.Н. Панюковым [4] применительно к большим объемам горных пород, вовлекаемых в зону влияния горных разработок и Л.Д. Белым [1] применительно к основаниям больших плотин, которые по своему объёму также охватывают большие объёмы. Сегодня она как никогда ранее актуальна в связи с упомянутой развитостью расчётного аппарата для расчёта взаимодействия сооружений с геологической средой. Первый шаг на этом пути – создание классификации грунтовых массивов. Мы предложили [8, 9, 10] в основание классификации положить тот же принцип, который принят для классификации грунтов, а именно разделить массивы на классы по типу связей в грунтах. При этом выделяются 4 класса грунтовых массивов: 1) скальный грунтовый массив, 2) дисперсный грунтовый массив, 3) грунтовый массив, состоящий из скальных и дисперсных грунтов, которые переслаиваются или сложно сочетаются между собой, 4) вечномёрзлый грунтовый массив. Последний разделяем на два подкласса – вечномёрзлый массив без таликов и вечномёрзлый массив с таликом или таликами. Обсуждение и принятие классификаций позволит разделить работу между исследователями, сосредоточить её на изучении грунтовых массивов отдельных генетических типов. Целью этой работы будет создание типовых структурных моделей для генетических типов массивов. Модели лягут в основу рабочих гипотез при организации изысканий и позволят создать типовые расчётные модели геологической среды для расчёта ПТС «сооружение – грунтовый массив».

Литература

1. *Белый Л.Д.* Общие принципиальные положения // Геология и плотины. – М.-Л.: Госэнергоиздат, 1959. – С. 9-19.
2. *Бондарик Г.К.* Теория геологического поля. – М.: МИМС, 2002. – 129 с.
3. ГОСТ 25100-2011. Грунты. Классификация. Межгосударственный стандарт. – М., 2013. – 60 с.
4. *Панюков П.Н.* Инженерная геология. – М.: Госгортехиздат, 1962. – 296 с.
5. *Пашкин Е.М., Каган А.А., Кривоногова Н.Ф.* / Под ред. Е.М. Пашкина. Терминологический справочник по инженерной геологии. – М.: КДУ, 2011. – 952 с.
6. *Перельмутер М.Н.* Анализ напряженного состояния в концевой области трещины на границе раздела материалов методом граничных элементов // Вычислительная механика сплошных сред. – 2012. – Т. 5. – № 4. – С. 415-426.
7. *Рац М.В.* Неоднородность горных пород и их физических свойств. – М.: Наука, 1967. – 105 с.
8. *Чернышев С.Н.* Принципы классификации грунтовых массивов для строительства // Вестник МГСУ. – 2013. – № 9. – С. 41-46.
9. *Чернышев С.Н.* Подход к классификации дисперсных и скальных грунтовых массивов для строительства // Вестник МГСУ. – 2013. – № 10.
10. *Чернышев С.Н.* Опыт классификации грунтовых массивов зоны вечной мерзлоты для строительства // Вестник МГСУ. – 2013. – № 11.

КЛАССИФИКАЦИИ ТЕХНОГЕННЫХ ГРУНТОВ

Е.Н. Огородникова¹, С.К. Николаева²

¹Экологический факультет Российского университета дружбы народов,
115093, Москва, Подольское ш., д. 8/5

²Геологический факультет МГУ им. М.В.Ломоносова, 119899, Москва, Ленинские горы,
МГУ, Геологический факультет, E-mail: sk.niko@geol.msu.ru

Под техногенными, согласно действующим нормативным документам [3], понимают грунты, измененные, перемещенные или образованные в результате инженерно-хозяйственной деятельности человека. Они уже стали широко распространены на селитебных территориях, местах добычи и переработки полезных ископаемых, вдоль линейных сооружений различного назначения, сельскохозяйственных землях и др.

Техногенные грунты относятся к специфическим грунтам, как правило, имеющим локальное распространение. Они характеризуются неоднородным составом и строением, высокой изменчивостью свойств в пространстве и во времени. Массивы техногенных грунтов образуют специфические формы техногенного рельефа. Составление прогноза взаимоотношений массивов техногенных грунтов с окружающей природной средой представляется сложной задачей. Специальные исследования техногенных грунтов при инженерно-геологических изысканиях практически не проводятся; нормативно-методическая база не разработана из-за существующего многообразия техногенных грунтов и, главное, их малой изученности.

Идея необходимости изучения техногенных грунтов была высказана Е.М. Сергеевым в конце 70-х – начале 80-х годов прошлого столетия в связи с решением задач, связанных с охраной геологической среды. С тех пор она развивается его учениками и последователями.

За последние несколько десятилетий (а именно к этому отрезку времени относятся основные исследования техногенных образований) на суд научного сообщества и изыскателей-практиков было представлено довольно много разнообразных частных, региональных и общих классификаций техногенных грунтов. В подтверждение сказанного выше приведем несколько наиболее известных по опубликованной литературе примеров.

По-видимому, одной из первых отечественных стала частная классификация планомерно возведенных насыпных грунтов Ю.М. Абелева и В.Н. Крутова (1962 г.) [1]. В опубликованной через двадцать лет Ю.М. Лычко классификации техногенных грунтов как оснований сооружений показано значение однородности состава и строения, важным следствием чего является постоянство (или, наоборот, изменчивость) физико-механических свойств грунтов. Автором выделены планомерно возведенные насыпи, отвалы грунтов и отходов производств, а также свалки грунтов, отходов производств и бытовых отходов. В составе техногенных грунтов помимо природных дис-

персных разностей присутствуют шлаки, золы, хвосты и пр. Давность отсыпки указывает на завершенность (или, наоборот, развитие) литогенетических преобразований в насыпных грунтах (слежавшиеся, не слежавшиеся) [6].

Разработаны частные классификации техногенных месторождений (К.Н.Трубецкой и др.) [10], техногенных видов минерального строительного сырья (Б.Х. Насыров, 1991 г.), в которых техногенные грунты в отвалах промышленных и строительных отходов представляются в качестве техногенного сырья, и даже указываются возможные направления его «вторичного» использования [7].

К региональным классификациям техногенных грунтов можно отнести классификацию антропогенных отложений г.Ташкента (А.М.Худайбергенов, 1980 г.) [12], классификацию техногенных отложений Западного КАТЭКа (Д.В. Спиридонов, 1986 г.) [9] и др. Их появление обусловлено освоением территорий, где техногенные грунты приобрели широкое и площадное распространение. Можно предположить появление в будущем новых региональных классификаций, составленных для интенсивно осваиваемых человеком территорий.

Наиболее высокому уровню теоретического обобщения накопленного материала соответствуют, как известно, общие классификации. Первой стала классификация антропогенных отложений Ф.В. Котлова (1963 г.). В ней всего четыре таксона: *группы* выделяются по условиям образования – наземные, подводные, подземные; *генетический комплекс* связан с технологией образования – насыпные, намывные, искусственно преобразованные и т.д.; *надкласс* определяется видом деятельности – строительные, горные, промышленные и др.; *класс* содержит краткую характеристику отложений. Несмотря на некоторую нечеткость в таксономических признаках деления и их соблюдении, классификация Ф.В. Котлова была безусловным достижением в науке. Важно, что она наглядно показывала специфику отложений, обязанных своим происхождением человеку. Автором были выделены почти 40 классов антропогенных отложений, среди которых земляные сооружения, строительные свалки, курганы и могильники, гидроотвалы вскрышных пород, грунты необратимо мелиорированные, засыпанные дороги, скопления металлических средств поражения и др. [5].

Общая классификация искусственных грунтов М.И. Хазанова (1975 г.) состоит из двух частей (таблиц) – типизации по условиям образования и классификации по составу и инженерно-геологическим свойствам. В первой по условиям формирования искусственных грунтов выделены три таксона: *подгруппы* по способу образования – намытые, отсыпанные, измененные на месте, грунты культурного слоя; *типы* по технологии образования – организованный намыв, неплановая отсыпка и пр.; *подтип* по источнику накопления – различным видам деятельности (инженерной, бытовой, военной и др.). Во второй таблице *вид* обусловлен составом грунта (крупнообломочным, преимущественно песчаным или глинистым, смешанным); *подвид* определяется крупностью материала (в соответствии с составом), а далее выделяются 5 *разновидностей* (порядков) по особенностям строения, состояния, свойств,

способности к упрочнению. При этом один и тот же критерий, например, плотность сложения, может иметь разный «порядок» – от I для песчаных грунтов до III для глинистых в зависимости от своей значимости. Для нескольких разновидностей искусственных грунтов автором даны численные значения критериев, что является достоинством [11]. Очевидно, что перед М.И. Хазановым стояла трудно решаемая задача – как соединить генетическую часть общей классификации техногенных (у автора «искусственных») грунтов с собственно инженерно-геологической? В итоге эти две части остались самостоятельными. В разработках М.И.Хазанова имеются полезные идеи, которые в будущем еще будут использованы.

В 1990 году в академическом журнале «Инженерная геология» коллективом авторов (А.П.Афонин, И.С.Дудлер, Р.С.Зиангиров, Ю.М.Лычко, Е.Н. Огородникова, Д.В.Спиридонов) была опубликована новая для того времени общая классификация техногенных грунтов. В ней *классы* выделялись по способу формирования – техногенно образованные, переотложенные и измененные; *группы* – по виду деятельности (источнику формирования); *подгруппы* – по технологии образования – насыпные, намывные, измененные физическим или физико-химическим воздействием (здесь же указывались формируемые массивы грунтов – свалки, отвалы, гидроотвалы и др., непосредственно связанные с типом грунтов). Центральным звеном классификации стал *тип* грунтов. Всего выделено было 26 типов, среди них шлаки металлургические, золы, шламы, грунты намывных территорий, химически модифицированные и др. Тип грунтов связывал генетическую часть классификации с более мелкими таксонами – *подтипом* (обусловленным строением, дисперсностью), *видом* (наиболее важными особенностями при литогенетических преобразованиях – химически активные, свежееотсыпанные, упрочненные и пр.) и *разновидностью* (по показателям вещественного состава и физико-механических свойств, которые в самой классификации не были прописаны). Несмотря на ряд недостатков (например, в названиях типов грунтов, необходимости добавить новые виды, регламентировать показатели состава и свойств), эта классификация 1990 года стала новым достижением в обобщении знаний о техногенных грунтах [2].

На ее основе авторы составили генетическую классификацию техногенных грунтов [8]. Наиболее крупные таксоны сохранены почти без изменений. *Подгруппы* характеризуют массивы грунтов, тесно связанные с технологией их образования. В классах техногенно образованных и техногенно переотложенных грунтов, в которых грунты формируются способами отсыпки и намыва, подгруппы выделяются по условиям залегания грунтов в массиве: планомерно образованные, отвалы, свалки. Последовательность размещения подгрупп в классификации отражает различия в неоднородности состава и строения формируемых в геологической среде тел (массивов), изменчивость их свойств. Свалки – это наиболее неупорядоченные отложения. Планомерно образованные грунты характеризуются определенными, заранее заданными свойствами, достижение которых обеспечивается комплексом организационных и технологических мероприятий. Отвалы занимают промежуточное по-

ложение между свалками и планомерно образованными сооружениями из природных материалов.

В классе техногенно измененных грунтов подгруппы выделяются по признаку целенаправленности формирования массивов грунтов: он либо присутствует, либо нет. В большинстве случаев человек специально меняет состав, строение и свойства грунтов, добываясь нужного их качества (управляет свойствами). Примером могут служить массивы скальных грунтов с цементированными или тампонируемыми трещинами. В других случаях массивы грунтов формируются нецеленаправленно – в основаниях золоотвалов и хвостохранилищ, в зонах влияния горных выработок и др.

Наиболее важным таксоном является *тип* техногенных грунтов, неразрывно связанный с их генезисом и определяемый составом и строением. Приведенный в классификации перечень типов грунтов [8] можно пополнять, он безусловно не охватывает всего многообразия техногенных грунтов, но дает о них представление.

Дальнейшее подразделение техногенных грунтов должно быть уже инженерно-геологическим по содержанию, учитывать строение, состояние, свойства грунтов. Так, структурные особенности техногенных грунтов в основном определяют их *подтипы*: массивные, блочные, крупнообломочные, песчаные, пылеватые, глинистые. Среди подтипов блочные грунты (химически закрепленные, некоторые виды металлургических шлаков и др.) представлены отдельными блоками или глыбами разного размера, причем блоки и глыбы часто трещиноваты. Нижней границей выделения этого подтипа можно принять размер 100 см при условии, что блоков и глыб крупнее 100 см в общей массе грунта более 50%. Если глыб и блоков меньше, то грунт считается крупнообломочным. Все остальные границы деления подтипов устанавливаются согласно Государственному стандарту [3].

В учебной литературе, например, в учебниках по грунтоведению, подготовленных в МГУ имени М.В.Ломоносова и выдержавших 6 изданий, каждый раз перерабатывающихся с учетом новых знаний о грунтах, искусственные (или техногенные) грунты занимали отведенное им место в общей классификации грунтов. В последнем издании 2005 г. техногенные (искусственные, антропогенные) грунты отнесены к отдельному царству и подразделяются на *классы* (по общему характеру структурных связей), *группы* (по характеру структурных связей с учетом их прочности), *подгруппы* (по происхождению и условиям образования), *типы* (по вещественному составу), *виды* (по наименованию грунтов) [4]. «Типы» и «виды» (друг другу соответствуют) даны в обобщенном виде, почти без конкретных названий.

В современных нормативных документах (ГОСТ 25100-2011. Грунты. Классификация) техногенные грунты выделяются на уровне *типов* в классах скальных, дисперсных и мерзлых грунтов. Их подразделение на *виды* почти не регламентировано. *Разновидности* выделяются те же, что и для природных грунтов [3].

Несмотря на понятную логику строения общей классификации грунтов, ею неудобно пользоваться применительно к техногенным грунтам. Легко

можно найти место техногенным скальным, дисперсным или мерзлым грунтам, техногенно измененным, перемещенным или образованным. А далее техногенные грунты «теряются» среди природных грунтов.

По мнению авторов данной публикации названия (типы) техногенных грунтов следует «узаконить». Грунты культурного слоя, обратных засыпок, гидроотвалов, золы, хвосты и т.п. должны иметь свое определенное место, по крайней мере, в общей классификации техногенных грунтов. Должны составляться и обсуждаться частные классификации техногенных грунтов, регламентирующие выделение видов и разновидностей грунтов по показателям, не учтенным в действующем ГОСТе, или в тех случаях, когда существующее для природных грунтов деление не годится для техногенных. Так, например, некоторые пылеватые хвосты нельзя классифицировать ни по гранулометрическому составу (в них песчаных частиц менее 50%), ни по числу пластичности (ею не обладают). Для грунтов свалок бытовых или смешанного состава отходов необходимо подразделение по составу газового компонента и газогенерирующей способности, степени и характеру преобразования органического вещества. Существуют и другие примеры.

Постоянно происходящее накопление техногенных грунтов, расширение их многообразия и неизбежное вовлечение в сферу хозяйственной деятельности человека диктуют необходимость дальнейшего детального исследования их массивов, сбора и анализа фактического материала, его обобщения в виде частных, региональных, общих классификаций техногенных грунтов, совершенствования существующей нормативной базы.

Литература

1. *Абелев Ю.М., Крутов В.И.* Строительство зданий и сооружений на насыпных грунтах. – М.: Госстройиздат, 1962.
2. *Афонин А.П., Дудлер И.В., Зиангиров Р.С.* и др. Классификация техногенных грунтов // Инженерная геология. – 1990. – № 1. – С. 115-121.
3. ГОСТ 25100-2011. Грунты. Классификация. – М.: Стандартинформ, 2013.
4. Грунтоведение / Под ред. В.Т.Трофимова. – М.: Наука, МГУ, 2005.
5. *Котлов Ф.В.* Изменение геологической среды под влиянием деятельности человека. – М.: Недра, 1978.
6. *Лычко Ю.М.* Инженерно-геологическая характеристика некоторых типов техногенных грунтов // Инженерная геология. – 1983. – №1.
7. *Огородникова Е.Н., Николаева С.К.* Техногенные грунты. – М.: МГУ, 2004.
8. *Огородникова Е.Н., Николаева С.К.* Формирование современных отложений в условиях техногенного литогенеза // Тез. VII Всерос. совещ. по изуч. четв. периода. – Апатиты, Санкт-Петербург, 2011. – Т. 2. – С. 119-121.
9. *Огородникова Е.Н., Спиридонов Д.В.* Инженерно-геологическая характеристика техногенных отложений Западного КАТЭКа // Инженерная геология. – 1987. – № 6.
10. *Трубецкой К.Н., Уманец В.Н., Никитин М.Б.* Классификация техногенных месторождений, основные категории и понятия // Горный журнал. – 1986. – № 2. – С. 6.
11. *Хазанов М.И.* Искусственные грунты, их образование и свойства. – М.: Наука, 1975.
12. *Худайберганов А.М.* Инженерная геология городов правобережья р. Чирчика (Ташкент, Чирчик, Янгиюль). – Ташкент: ФАН, 1980.

ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ КЛАССИФИКАЦИЯ ГОРНЫХ ПОРОД УГОЛЬНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ КУЗБАССА

В.Е. Ольховатенко, Г.И. Трофимова, И.С. Филимонова

Томский государственный архитектурно-строительный университет,
кафедра инженерной геологии и геоэкологии, 634003, пл. Соляная 2, кор.2.
E-mail: igg@tsuab.ru

Инженерно-геологическое классифицирование горных пород является логическим следствием любых инженерно-геологических исследований. Решению данного вопроса в инженерной геологии были посвящены многочисленные исследования.

Анализ существующих инженерно-геологических классификаций показал, что одни авторы при их создании стремились дать общие, генетические классификации, другие – частные (отраслевые) и третьи – региональные. В 1957 г. на совещании по инженерно-геологическим свойствам горных пород и методам их изучения была предложена общая инженерно-геологическая классификация горных пород и почв (общая классификация грунтов), разработанная рабочей комиссией в составе Е.М. Сергеева, В.А. Приклонского, П.Н. Панюкова и Л.Д. Белого. В этой классификации горные породы, прежде всего, разделены на два больших класса: с жесткими связями и без жестких связей.

Классы пород объединяют пять основных групп, подразделяющихся на 16 подгрупп. Внутри подгрупп выделены типы и виды. Эта классификация с незначительными изменениями была принята в мае 1962 г. в Берлине на совещании временной геологической группы Совета экономической взаимопомощи (СЭВ). В последнее время рядом авторов делаются попытки использования математического аппарата для построения инженерно-геологических классификаций. Наряду с этим ведется разработка теории классифицирования геологических объектов с применением математического аппарата. Работы данного направления заслуживают самого пристального внимания и в будущем позволят приблизиться к решению очень важного для инженерной геологии вопроса – построения инженерно-геологических классификаций по всем правилам формальной логики и математики.

Построение инженерно-геологической классификации горных пород Кузбасса применительно к оценке условий строительства карьеров имеет свои особенности, обусловленные необходимостью учета многообразия природных факторов, оказывающих влияние на устойчивость бортов карьеров. Такие классификации были разработаны ранее для бурогольных месторождений Канско-Ачинского бассейна: Итатского – Ф.П. Нифантовым и В.Е. Ольховатенко, Березовского – В.Н. Пуляевым, Абанского, Назаровского и Березовского – Н.С. Роговой. Из всех ранее разработанных классификаций, в том числе и для месторождений Канско-Ачинского бассейна, ни одна не

могла быть перенесена на месторождения Кузнецкого бассейна. В связи с этим на основании многочисленных исследований впервые для Кузнецкого угольного бассейна была разработана инженерно-геологическая классификация пород. Построение инженерно-геологической классификации горных пород Кузбасса на основании полученной в процессе исследований инженерно-геологической информации проводилось в два этапа. На первом этапе произведена свертка инженерно-геологической информации, дано обоснование выделения инженерно-геологических объектов или таксономических единиц по набору признаков, произведено сопоставление между собой выделенных объектов и установлена связь между признаками последних. На втором этапе разработки классификации, учитывая ее назначение (для прогнозирования инженерно-геологических условий строительства карьеров), были выявлены косвенные признаки, которые были положены в основу классификации, а затем установлена связь между последними и прямыми признаками, используемыми для оценки устойчивости бортов карьеров. Разработка инженерно-геологической классификации горных пород Кузбасса выполнена на геолого-генетической основе, как наиболее полно отражающей условия формирования и катагенетические изменения горных пород и их свойств.

Фрагмент инженерно-геологической классификации приведен в табл. 1.

В разработанной инженерно-геологической классификации самыми крупными таксономическими единицами являются геолого-генетические комплексы горных пород, отличающиеся по условиям своего образования, текстурно-структурным особенностям, а, следовательно, и физико-механическим свойствам [1]. Всего на территории Кузбасса выделено 4 геолого-генетических комплекса: 1) лагунно-континентальных отложений балахонской серии; 2) континентальных отложений кольчугинской серии; 3) континентальных отложений мезозоя; 4) покровных четвертичных отложений.

Кроме перечисленных геолого-генетических комплексов на территории бассейна развиты не угленосные отложения девона, карбона и перми, а также комплекс магматических пород. Так как перечисленные группы пород не окажутся в бортах карьеров, и не будут влиять на их устойчивость, то при разработке инженерно-геологической классификации они не учитываются. Вместе с этим на территории бассейна развиты породы особого состава и состояния, характеризующиеся и особыми физико-механическими свойствами. К ним относятся горелые породы, породы зон тектонических нарушений и отвальные породы, которые выделяются в отдельный комплекс. В основу выделения групп в инженерно-геологической классификации положены генетические и литологические признаки, позволившие выделить в каждом комплексе по 3 группы пород: обломочные сцементированные, глинистые отвердевшие и органогенные.

Таблица 1

Инженерно-геологическая классификация горных пород угленосных месторождений Кузбасса

ком-плексы	группы	типы	Инженерно-геологические			Физико-механические свойства пород									
			подтипы	виды	разновидности	плотность частиц, ρ_s , г/см ³	плотность, ρ_0 , г/см ³	влажность, %	пористость, %	$\sigma_{сж}$, МПа	σ_r , МПа	ϕ , град	C , МПа		
Лагуно-континентальные отложения Балхонской сени (C_{2-3} -P _{1b})	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14		
						2.65	2.46	2.58	9.13	2.70	0.38	44	0.60		
		3В	С глинистым цементом	НЗВ	2.64	2.38	4.02	13.02	2.06	0.35	45	0.41			
		НЗВ	С глинисто-карбонатным цементом	НЗВ	2.64	2.46	2.28	8.63	5.07	0.79	43	1.11			
		3В	С глинисто-карбонатным цементом	НЗВ	2.65	2.45	3.18	9.98	4.26	0.69	44	0.93			
		НЗВ	С карбонатным цементом	3В	2.63	2.48	2.03	7.20	7.55	1.63	38	1.91			
		3В	С карбонатным цементом	НЗВ	2.63	2.48	3.07	8.33	5.91	1.06	44	1.20			
		НЗВ	С глинистым цементом	НЗВ	2.68	2.41	2.57	11.26	2.13	0.38	44	0.45			
		НЗВ	С глинисто-карбонатным цементом	НЗВ	2.66	2.50	2.05	8.07	4.09	0.82	40	0.99			
		3В	С карбонатным цементом	НЗВ	2.65	2.29	2.83	16.6	-	-	-	-			
		НЗВ	С карбонатным цементом	НЗВ	2.67	2.52	2.03	6.71	7.33	1.29	42	1.66			
		НЗВ	С глинистым цементом	НЗВ	2.65	2.54	1.53	6.57	5.89	0.99	41	1.35			
		3В	С глинистым цементом	НЗВ	2.66	2.49	1.95	7.92	5.30	0.91	42	1.26			
		НЗВ	С глинисто-карбонатным цементом	НЗВ	2.63	2.51	1.27	5.33	8.46	1.86	38	2.18			
		НЗВ	С карбонатным цементом	НЗВ	2.65	2.52	1.21	5.26	10.52	2.63	34	2.69			
		3В	С карбонатным цементом	НЗВ	2.66	2.52	1.11	5.19	9.72	2.09	36	2.51			
	НЗВ	С глинистым цементом	НЗВ	2.65	2.50	1.49	6.57	6.01	0.99	42	1.32				
	НЗВ	С глинисто-карбонатным цементом	НЗВ	2.66	2.51	1.27	5.33	8.56	1.89	39	2.10				
	3В	С глинисто-карбонатным цементом	НЗВ	2.67	2.49	1.70	7.14	7.49	1.75	38	1.83				
	НЗВ	С карбонатным цементом	НЗВ	2.64	2.52	1.22	6.26	10.53	2.65	34	2.79				
	НЗВ	С глинисто-карбонатным цементом	НЗВ	2.66	2.52	1.96	6.61	6.06	1.09	38	1.65				
	НЗВ	С карбонатным цементом	НЗВ	2.71	2.56	1.02	6.60	7.57	2.10	40	2.25				
	НЗВ	С глинистым цементом	НЗВ	2.67	2.54	1.09	5.82	3.42	1.06	33	1.00				
	НЗВ	С глинисто-карбонатным цементом	НЗВ	2.66	2.57	0.78	4.59	5.23	1.42	33	1.34				
	3В	С глинисто-карбонатным цементом	НЗВ	2.63	2.42	1.43	8.59	2.48	0.40	36	0.61				
	НЗВ	С карбонатным цементом	НЗВ	2.67	2.63	0.59	4.04	7.57	1.93	38	1.88				

Продолжение табл. 1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Лагунно-континентальные отложения Бадахонской серии (С ₂₋₃ -Р1b)	Оломочные цементировавшиеся породы	Алевриты	Алевриты, вмещающие газово-жирные угли	С глинистым цементом	НЗВ ЗВ	2.61 2.55	2.43 2.39	2.63 3.31	9.52 11.82	2.63 2.26	0.34 0.28	39 38	0.51 0.44
				С глинисто-карбонатным цементом	НЗВ ЗВ	2.69 2.62	2.44 2.39	2.59 2.63	9.43 10.96	4.62 -	0.77 -	41 -	0.33 -
				С карбонатным цементом	НЗВ	2.66	2.47	2.46	9.35	6.75	0.83	40	1.31
				С глинистым цементом	НЗВ	2.66	2.30	3.81	12.10	0.76	-	-	
				С глинисто-карбонатным цементом	НЗВ ЗВ	2.63 2.65	2.40 2.35	3.16 3.35	12.20 19.85	2.59 2.09	0.53 -	37 -	0.60 -
				С карбонатным цементом	НЗВ	2.66	2.48	3.05	9.72	2.78	0.58	43	0.61
				С глинистым цементом	НЗВ ЗВ	2.64 2.61	2.43 2.51	1.40 1.57	5.83 5.44	5.20 2.49	- -	- -	
				С глинисто-карбонатным цементом	НЗВ ЗВ	2.64 2.60	2.44 2.56	1.07 1.26	3.93 3.08	11.295 .57	- -	- -	
				С карбонатным цементом	НЗВ	2.67	2.52	1.02	3.91	11.47	-	-	
				С глинистым цементом	НЗВ ЗВ	2.66 2.68	2.48 2.47	1.25 1.56	5.22 8.95	6.02 3.47	1.24 1.22	38 36	1.76 0.99
			С глинисто-карбонатным цементом	НЗВ	2.69	2.50	1.36	3.50	11.67	1.87	38	2.07	
			С глинистым цементом	НЗВ	2.68	2.48	1.63	8.90	4.48	0.48	39	1.05	
			С глинисто-карбонатным цементом	НЗВ	2.69	2.53	1.34	5.06	5.89	0.81	37	1.27	
			С карбонатным цементом	НЗВ	2.69	2.52	1.45	5.00	8.31	0.97	39	1.39	
			С глинистым цементом	НЗВ	2.61	2.49	1.22	5.63	2.09	0.66	31	0.62	
			С глинисто-карбонатным цементом	НЗВ ЗВ	2.60 2.63	2.51 2.39	0.92 2.10	4.21 10.68	3.50 1.28	1.01 0.26	41 33	1.05 0.33	
			С карбонатным цементом	НЗВ	2.63	2.51	1.03	6.22	6.23	1.58	35	1.58	

Окончание табл. 1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	
Лагунно-континентальные отложения Багахонской серии (C ₂₋₃ -P _{1bl})	Глинистые отвердевшие	Аргиллиты	Аргиллиты, вмещающие угли ГЖ	Не выделяются	НЗВ	2.54	2.32	2.77	10.45	3.91	0.35	38	0.75	
			Аргиллиты, вмещающие коксовые угли	Не выделяются	НЗВ	2.63	2.42	1.88	9.20	-	-	-	-	-
			Аргиллиты, вмещающие отощенно-спекающиеся угли	Не выделяются	НЗВ	2.60	2.45	1.81	7.90	-	-	-	-	-
	Органогенные	Угли каменные	Аргиллиты, вмещающие полуантрациты и антрациты	Не выделяются	НЗВ	2.61	2.48	1.22	5.57	2.29	0.30	33	0.52	
			Угли марки КЖ	Не выделяются	НЗВ ЗВ	1.43 1.46	1.27 1.22	1.31 5.01	17.12 19.31	- -	- -	34 33	0.49 0.47	
			Угли марки ПА-А	Не выделяются	НЗВ	1.55	1.43	4.65	12.73	-	-	32	0.35	

Внутри перечисленных групп выделены литологические типы пород, отличающиеся по своему гранулометрическому составу, характеру структурных связей и физико-механическим свойствам. Учитывая большое значение катагенетических процессов в формировании свойств горных пород Кузбасса, выделение подтипов пород в инженерно – геологической классификации дано с учетом стадий их катагенетических преобразований. Дальнейшее деление пород производится по составу их цемента. Для пород Кузбасса состав цемента является отражением условий осадконакопления и вторичных изменений, происходящих в стадию катагенеза, и оказывает большое влияние на их прочность, что наглядно видно из приведенной классификации. Инженерно-геологическая классификация горных пород Кузбасса была бы неполной и не отражала бы особенностей инженерно-геологического строения бассейна, если бы в ней не учитывалось влияние процессов регрессивного литогенеза и геотектонического строения бассейна на физико-механические свойства пород. Учет этих факторов при построении инженерно-геологической классификации оказался возможным благодаря выделению инженерно-геологических разновидностей пород по степени их выветрелости, а также в результате установления принадлежности выделенных категорий пород к различным геолого-тектоническим зонам. Разработанная инженерно-геологическая классификация может быть использована при прогнозной оценке условий строительства и устойчивости бортов крупных карьеров, а также при разработке методики инженерно-геологических исследований в период разведки угольных месторождений.

Литература

1. *Ольховатенко В.Е.* Инженерно-геологическая типизация угольных месторождений Кузнецкого бассейна. Международный год планета Земля: проблемы геоэкологии, инженерной геологии и гидрогеологии: материалы научной конференции по проблемам геоэкологии, инженерной геологии и гидрогеологии 23-24 декабря 2008 года г. Томск. – Томск: Изд-во ТГАСУ, 2008. – С. 165-170.

РАЙОНИРОВАНИЕ ТЕРРИТОРИИ г. ТАГАНРОГА ПО СТЕПЕНИ АКТИВНОСТИ ГЛИНИСТОЙ ФРАКЦИИ ГРУНТОВЫХ ТОЛЩ

Н.М. Хансivarова, М.Ю. Рвачева, Д.С. Шапошникова

Южный федеральный университет, г. Ростов-на-Дону, ул. Зорге, д.40.
E-mail: N/Khansvarova@yandex.ru

В 1963 г. Е.М. Сергеев писал о неминуемом сближении отдельных разделов инженерной геологии и геохимии в связи с необходимостью изучения закономерностей миграции атомов в приповерхностной части литосферы [6]. Научная интуиция академика нашла блестящее подтверждение в конце XX столетия, когда использование законов физической, коллоидной химии и геохимических идей положило начало геохимическому направлению в грунтоведении [1]. В наши дни геохимический подход находит применение и в региональной инженерной геологии. Он особенно актуален для городских территорий, сложенных дисперсными породами с физическими, физико-химическими и механическими связями [3].

Способность дисперсных грунтов противостоять внешним механическим нагрузкам, надежность их как оснований зданий и сооружений, определяется структурными связями. В дисперсных грунтах структурные связи крайне неустойчивы, зависят от многочисленных факторов, из которых самым значимым является характер и интенсивность процессов, протекающих на межфазных границах. При геохимическом подходе для прогноза реакция грунта на воздействия различной природы применяются показатели, характеризующие его коллоидальную или физико-химическую активность, под которой понимается «природа и интенсивность взаимодействия твердых фаз грунта с водой и содержащимися в ней веществами» [2]. Коллоидальная активность грунта определяется несколькими показателями: активностью глинистой фракции, относительной влажностью, индексом активности по Скемптону.

В настоящем сообщении приведена методика районирования городских территорий по степени активности глинистой фракции грунтовых толщ на примере г. Таганрога Ростовской области. Впервые для территорий Северного Приазовья и Нижнего Дона был рассчитан показатель активности глинистой фракции (АГФ), под которым понимается отношение влажности грунта на границе текучести к процентному содержанию глинистой фракции [2]. Для достижения поставленной цели были изучены физические свойства пород на территориях г.г. Ростова-на-Дону, Таганрога, Азова, ст. Маньчской. Использовались материалы результатов инженерно-геологических изысканий, проведенных различными организациями Ростова-на-Дону и области в период с 2009 по 2013 гг. Выборки составлялись на материалах изысканий, проведенных на 250 объектах.

Методика исследования заключалась в проведении ряда последовательных логических операций.

На первом этапе вычисляются показатели АГФ для всех РГЭ, выделенных ранее, по материалам изысканий прошлых лет. Результаты заносятся в табл. 1, пример которой приведен ниже.

Таблица 1

**Показатель активности глинистой фракции РГЭ,
выделенных на площадках изысканий в г. Таганроге**

№ п/п	Характеристика РГЭ	Кол-во определений	Значения АГФ		
			min	max	среднее
1.	Суглинок легкий пылеватый полутвердый просадочный ненабухающий незасоленный	76	0,94	1,03	0,99

На втором этапе для каждой площадки изысканий определяется показатель АГФ грунтовых толщ. Он рассчитывается как среднее арифметическое значение всех РГЭ, выделенных в пределах площадки. Пример приведен в табл. 2.

Таблица 2

**Показатель АГФ грунтовых толщ
отдельных площадок изысканий г. Таганрога**

Характеристика РГЭ	Значения АГФ		
	Минимальное	Максимальное	Среднее
<i>Объект: Поляковское шоссе, д. 32-2</i>			
Суглинок легкий пылеватый твердый просадочный незасоленный ненабухающий	0,93	1,03	1
Суглинок тяжелый пылеватый твердый просадочный незасоленный ненабухающий	0,83	1,04	0,94
Глина легкая пылеватая твердая непросадочная незасоленная ненабухающая	0,90	1,14	1
Показатель АГФ грунтовой толщи	0,87	1,07	0,98
Грунтовая толща дисперсная однородная глинистая			

На третьем этапе, на основании анализа расчетных геомеханических моделей различных объектов производится обособление грунтовых толщ, характерных для изучаемого региона. В настоящее время под грунтовой толщей принято понимать толщу горных пород и почв, слагающую верхнюю 10-метровую часть разреза различных геоморфологических элементов и находящихся (или могущих попасть) в зоне активного воздействия сооружений массовых видов строительства (гражданского, дорожного, сельскохозяйст-

венного и т.д.) [4]. На юге Европейской части России обычно инженерно-геологические изыскания выполняются до глубины 20-30 м, поэтому, в настоящем сообщении под грунтовой толщей понимается верхняя 30-метровая часть разреза. Мы предлагаем дополнить классификацию Трофимова В.Т. и добавить грунтовые толщи, не вошедшие в нее, но выделенные на территории г. Таганрога. В табл. 3 они обозначены значком *.

Таблица 3

Показатель АГФ грунтовых толщ г. Таганрога

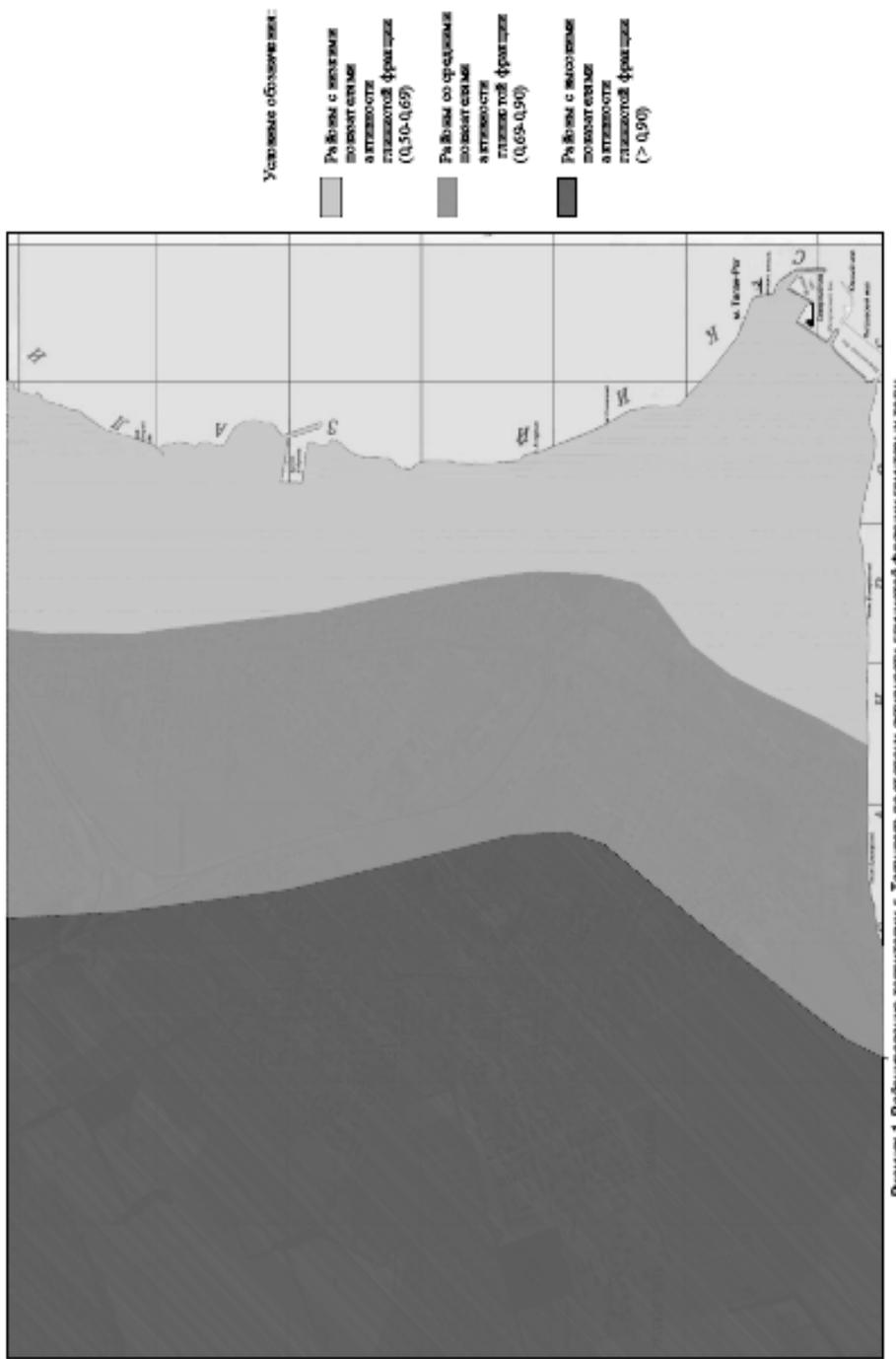
Грунтовые толщи	Показатель АГФ
<i>Сложенные грунтами одного класса</i>	
<i>Однородные</i>	
Глинистые	0,70
<i>Двухпородные</i>	
Глинистые с лессовым слоем в верхней части	0,84
Лессовые, подстилаемые глинистыми	0,98
Глинистые, подстилаемые песчаными*	0,32
<i>Многopодные</i>	
Лессовые, подстилаемые глинистыми и песчаными*	0,66
Лессовые, подстилаемые песчаными, с глинистым слоем в верхней части*	0,58
<i>Сложенные грунтами разных классов</i>	
<i>Многopодные</i>	
Глинистые, подстилаемые скальными, с лессовым слоем в верхней части*	0,59

Следующий этап предусматривает ранжирование отдельных разновидностей грунтов и грунтовых толщ по степени активности глинистой фракции. Выделенные интервалы и значений АГФ приведены в табл. 4.

Таблица 4

Оценка степени активности глинистой фракции отдельных разновидностей грунтов и грунтовых толщ

№ п/п	Интервал значений АГФ	Название категории
<i>Суглинки</i>		
1.	0,5 – 0,75	Низко активные
2.	0,76 – 0,90	Средне активные
3.	Выше 0,90	Высоко активные
<i>Глины</i>		
4.	0,5 – 0,80	Низко активные
5.	0,81 – 0,96	Средне активные
6.	Выше 0,96	Высоко активные
<i>Грунтовые толщи</i>		
7.	0,5 – 0,69	Низко активные
8.	0,7 – 0,90	Средне активные
9.	Выше 0,90	Высоко активные



На завершающем этапе проведено районирование территории г. Таганрога по степени активности глинистой фракции грунтовых толщ (рис. 1). В соответствии с принятой градацией активности грунтовых толщ, выделены территориальные элементы с высокой, средней и низкой степенью активности. В иерархии общепринятого инженерно-геологического районирования обособленные по степени АГФ территориальные элементы, могут быть выделены в пределах инженерно-геологических районов, подрайонов или участков.

Таким образом, при крупномасштабном инженерно-геологическом изучении территорий, сложенных дисперсными грунтами, целесообразно помимо общепринятого выявления и картирования инженерно-геологических районов, подрайонов и участков, выделять территории, обладающие схожими показателями физико-химической активности грунтов, определяющей, в первую очередь баланс напряжений грунтовых систем. Составленные карты районирования территорий городов Северного Приазовья и Нижнего Дона по степени активности глинистой фракции грунтовых толщ, могут быть использованы при выполнении более детальных исследований, особенно связанных с оценкой влияния химических техногенных воздействий на геологическую среду. Известно, что они сопровождаются изменением ионообменных процессов, концентрации порового раствора, образованием коллоидных пленок на поверхности частиц и как следствие, изменения чувствительности грунта [3, 5].

Литература

1. *Воронкевич С.Д.* О некоторых новых проблемах теоретического грунтоведения. Новые идеи в инженерной геологии: Труды научной конференции 17-18 сентября 1996 г., Москва. – М.: Издательство Московского университета, 1996. – 208 с.
2. *Воронкевич С.Д.* Инженерная геохимия с основами геохимии техногенеза. – М.: Издательство «Академическая наука» – Геомаркетинг, 2011. – 480 с.
3. ГОСТ 25100-2011. Грунты. Классификация.
4. Инженерная геология России. Т. 1. Грунты России: [монография] / Под ред. В.Т. Трофимова, Е.А.Вознесенского, В.А.Королева. – М.: КДУ, 2011. – 672 с.: табл., ил.
5. *Королев В.А.* Мониторинг геологической среды: учебник / Под ред. В.Т. Трофимова. – М.: Изд-во МГУ, 1995. – 272 с.
6. Теоретические основы инженерной геологии. Социально-экономические аспекты / Под ред. Е.М. Сергеева. – М.: Недра, 1985. – 259 с.

ПОСТРОЕНИЕ РАСЧЕТНОЙ ГЕОМЕХАНИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ПРОСАДОЧНЫХ ГРУНТОВ С УЧЕТОМ НОВЫХ ТРЕБОВАНИЙ ГОСТ 25100-2011 «ГРУНТЫ. КЛАССИФИКАЦИЯ»

Н.М. Хансиварова, Н.А. Скнарина

Южный федеральный университет, г. Ростов-на-Дону, ул. Зорге, д. 40.
E-mail: N/Khansvarova@yandex.ru

Приказом № 190-ст от 12 июля 2012 г. введен актуализированный стандарт ГОСТ 25100-2011 “Грунты. Классификация”. Новая редакция классификации грунтов, в основу которой положен характер структурных связей, несомненно, имеет огромное научное значение и открывает широкие возможности для изыскателей-практиков. Однако некоторые новые положения ГОСТ требуют серьезного научного осмысления и пересмотра организации и проведения инженерно-геологических изысканий. Особое внимание изыскателей южного региона России, в пределах которого широко распространены просадочные грунты, привлекли изменения в разделе «Б.2 Разновидности дисперсных грунтов».

В окончательной редакции стандарта по относительной деформации просадочности ϵ_{sl} ранжирование грунтов существенно усложнилось. Согласно таблице Б.22. просадочные грунты разделяются по пяти градациям. До настоящего времени просадочные грунты разделялись только на две разновидности: просадочные ($\epsilon_{sl} > 0,01$) и непросадочные ($\epsilon_{sl} < 0,01$). В настоящем сообщении авторы попытались продемонстрировать, насколько значительные изменения произошли в существующей расчетной геомеханической модели при новом подходе к выделению разновидностей дисперсных грунтов по относительной деформации просадочности ϵ_{sl} .

Для достижения поставленной цели нами был проведен сравнительный анализ существующей расчетной геомеханической модели объекта и новой – построенной для этого же объекта, но с учетом изменений ГОСТ.

Инженерно-геологические условия площадки изысканий

В качестве примера выбрана площадка проектируемого строительства жилого дома, расположенного на ул. Васильева 58 в г. Азове Ростовской области. В геоморфологическом отношении изученная площадка расположена в пределах Азово-Кубанской равнины. Площадка ровная, абсолютные отметки поверхности изменяются от 38,41 до 41,24 м. Непосредственно на площадке вскрыты четвертичные отложения осадочного генезиса, относящиеся в соответствии с ГОСТ 25100-95 к классам техногенных дисперсных грунтов и природных связных дисперсных грунтов, преимущественно с механическими и водно-коллоидными структурными связями.

В геолого-литологическом разрезе площадки до глубины 20,0 – 20,3 м по данным бурения скважин 1-8 выделены следующие инженерно-геологические элементы (ИГЭ):

ИГЭ-1 (tQ₄) от 0,0 до 0,9 -1,0 м. – Асфальт (10 см). Насыпной слой: суглинистый грунт с почвенно-растительным слоем.

ИГЭ-2 (dQ₃) от 0,9-1,0 до 14,30-14,70 м. – Суглинок тяжелый пылеватый, от темно- до желто-бурого, твердый, просадочный, незасоленный, ненабухающий с корнеходами, прожилками карбонатов и редкими вкраплениями марганца. Встречаются редкие прослои супеси (5-12 см).

ИГЭ-3 (eQ₃) от 14,3-14,7 до 15,5-16,5 м. – Погребенная почва – суглинок тяжелый пылеватый, коричневый, твердый, просадочный, незасоленный, ненабухающий, с карбонатами, вкраплениями марганцами пятнами гумуса.

ИГЭ-4 (dQ₂₋₁) от 15,5-16,5 до 20,0-20,3 м. – Глина легкая пылеватая, красновато-бурая, твердая, непросадочная, незасоленная, ненабухающая, с включениями карбонатов и вкраплениями марганца.

При бурении скважин 1-8 в августе 2012 до 20,0-20,3 м подземные воды не вскрыты. В соответствии с приложением «Б» СП 11-105-97 по совокупности факторов и преимущественному влиянию просадочности грунтов, площадка отнесена к III категории сложности инженерно-геологических условий.

Расчетная геомеханическая модель объекта № 1 (существующая)

Для получения нормативных и расчетных значений показателей свойств грунтов выполнены статистические расчеты в соответствии с ГОСТ 20522-96. При этом учитывался характер пространственной изменчивости показателей свойств грунтов. В качестве критерия степени их изменчивости использованы коэффициенты вариации, рекомендованные ГОСТ 20522-96. На основании результатов статистической обработки показателей свойств грунтов и в соответствии с классификацией их (ГОСТ 25100-95) выделены следующие расчетные грунтовые элементы (РГЭ):

- в пределах ИГЭ-1 РГЭ не выделялся – Асфальт. Насыпной слой;
- в пределах ИГЭ-2 выделен РГЭ-2 – Суглинок тяжелый пылеватый, твердый, просадочный, незасоленный, ненабухающий;
- в пределах ИГЭ-3 выделен РГЭ-3 – ПППГ – суглинок тяжелый пылеватый, твердый, просадочный, незасоленный, ненабухающий;
- в пределах ИГЭ-4 выделен РГЭ-4 – Глина легкая пылеватая, твердая, непросадочная, незасоленная, ненабухающая.

На рис. 1а приведен инженерно-геологический разрез по линии I-I.

Расчетная геомеханическая модель объекта № 2 (новая)

На основании результатов статистической обработки показателей свойств грунтов и в соответствии с классификацией их (ГОСТ 25100-95) выделены следующие расчетные грунтовые элементы (РГЭ):

- в пределах ИГЭ-1 РГЭ не выделялся – Асфальт. Насыпной слой;
- в пределах ИГЭ-2 выделены:
 - РГЭ-2-1 – Суглинок тяжелый пылеватый, твердый, **слабопросадочный**, незасоленный, ненабухающий;
 - РГЭ-2-2 – Суглинок тяжелый пылеватый, твердый, **среднепросадочный**, незасоленный, ненабухающий;

- РГЭ-2-3 – Суглинок тяжелый пылеватый, твердый, **сильнопросадочный**, незасоленный, ненабухающий;
- в пределах ИГЭ-3 выделен РГЭ-3 – ППГ – суглинок тяжелый пылеватый, твердый, слабопросадочный, незасоленный, ненабухающий;
- в пределах ИГЭ-4 выделен РГЭ-4 – Глина легкая пылеватая, твердая, непросадочная, незасоленная, ненабухающая.

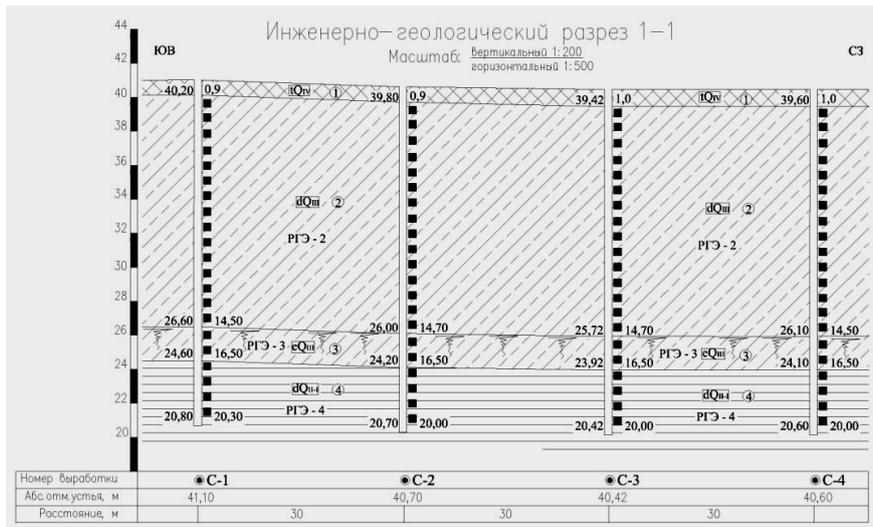


Рис. 1а. Инженерно-геологический разрез по линии I-I

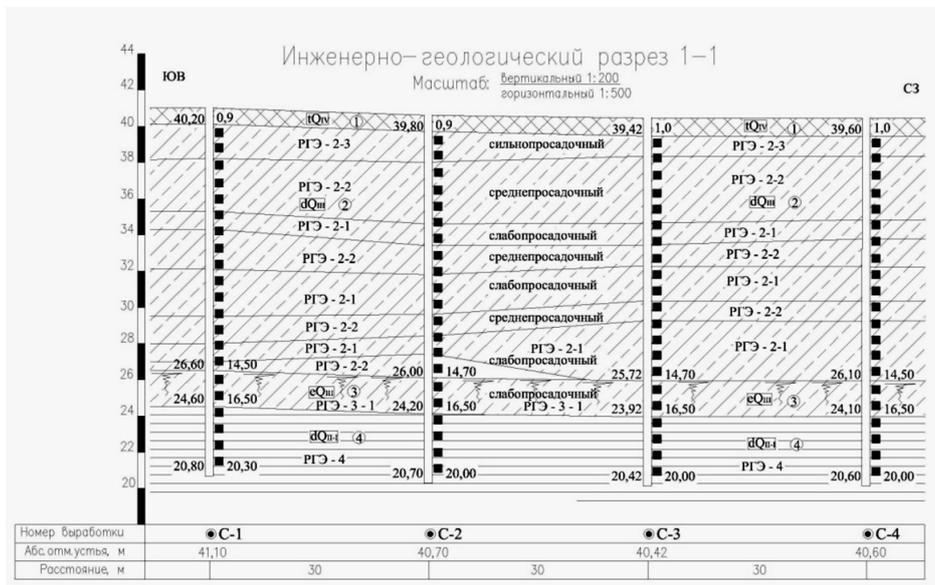


Рис. 1б. Инженерно-геологический разрез по линии I-I

Таким образом, выделенный ранее РГЭ-2, заменяется тремя новыми РГЭ, а выборка, содержащая 82 частных значения распадается на 3, что вызывает необходимость пересчета всех показателей и возможно, выделение новых разновидностей грунта по другим классификационным и расчетным критериям. На рис. 1б приведен инженерно-геологический разрез по линии I-I.

Выводы. На основании сравнительного анализа существующей расчетной геомеханической модели объекта и новой, построенной с учетом изменений ГОСТ при выделении разновидностей дисперсных грунтов по относительной деформации просадочности получено следующее.

1. ИГЭ-2, характеризующийся в существующей модели как суглинок тяжелый, пылеватый, твердый, **просадочный**, ненабухающий, незасоленный в новой модели разделился на 3 разновидности, а именно:

– РГЭ-2 (1) – суглинок тяжелый, пылеватый, твердый, **слабопросадочный**, ненабухающий, незасоленный;

– РГЭ-2 (2) – суглинок тяжелый, пылеватый, твердый, **среднепросадочный**, ненабухающий, незасоленный;

– РГЭ-2 (3) – суглинок тяжелый, пылеватый, твердый, **сильнопросадочный**, ненабухающий, незасоленный.

По всем классификационным и расчетным показателям (кроме относительной деформации просадочности) новые разновидности соответствуют ранее выделенному РГЭ-2.

2. В соответствии с новыми требованиями ГОСТ, учитывая нормативное значение относительной деформации просадочности РГЭ-3 отнесен к слабопросадочным. По другим классификационным и расчетным показателям РГЭ-3 соответствует ранее выделенному.

3. Наблюдается усложнение расчетной геомеханической модели. Для РГЭ-2 (1), РГЭ-2 (2) необходим пересчет нормативных и расчетных показателей грунта, и как следствие, возможное изменение характеристик разновидности грунта. Для исследования свойств РГЭ-2 (3) необходимо дополнительное проведение полевых и лабораторных испытаний.

Таким образом, новые требования ГОСТ по более детальному разделению просадочных толщ грунтов потребует дополнительного опробования грунтовых массивов, увеличения объема полевых и лабораторных исследований свойств грунтов.

Литература

1. ГОСТ 25100-1995. Грунты. Классификация.
2. ГОСТ 25100-2011. Грунты. Классификация.
3. ООО «Азимут». Отчет по результатам инженерно-геологических изысканий, выполненных на участке проектируемого строительства жилого дома по ул. Васильева, 58 в г. Азове Ростовской области / г. Ростов-на-Дону, 2008. – 197 с.

ОЦЕНКА СУФФОЗИОННОЙ УСТОЙЧИВОСТИ И КЛАССИФИЦИРОВАНИЕ ГРУНТОВ НА ПРИМЕРЕ ПРОМПЛОЩАДКИ

А.В. Шилова

Пермский государственный национальный исследовательский университет, Россия, 614990,
г. Пермь, ул. Букирева, 15. E-mail: shilova-av@yandex.ru

Суффозия – это сложный экзогенный геологический процесс, органически сочетающий в себе элементы растворения и механического нарушения структурных связей горных пород, выноса из них минеральных частиц и их агрегатов, а также подземный эрозийный размыв поверхностей трещин [1].

Несвязные дисперсные грунты с размером частиц менее 0,25 мм часто бывают в значительной степени подвержены динамическим и суффозионным воздействиям. Строительное освоение территорий, сложенных в приповерхностной толще потенциально суффозионными грунтами, связано с конкретными рисками ввиду возможной активизации суффозионного процесса при определенных условиях.

В данной работе осуществлена попытка косвенной оценки суффозионности грунтовой толщи в пределах промплощадки, расположенной в г. Березники (Пермский край, Россия), расчетным способом с применением двух методик.

Исследуемая территория расположена на левобережной пойме Камского водохранилища, в 1,5 км западнее жилой застройки г. Березники. В геологическом строении промплощадки принимают участие отложения пермской и четвертичной систем. Основанием практически всех сооружений служит толща четвертичных отложений, сложенная преимущественно аллювием, имеющим классическую форму разреза: в основании залегает песчано-гравийный горизонт (русловые фации), выше по разрезу он замещается песками, крупность которых убывает с уменьшением глубины залегания (фации прирусловой отмели). Песчаные отложения хорошо выдержаны и распространены по всей территории предприятия. Часто пески перекрываются глинистыми образованиями (фации поймы). Пониженные участки поймы часто выполнены торфом. При подготовке поймы к строительству дополнительных зданий и сооружений для предприятия, а также в период их эксплуатации, территория промышленной площадки с поверхности была спланирована толщей искусственных, преимущественно песчаных грунтов. Общая мощность аллювия в пределах площадки составляет 15-25 м [3,4].

Основой всех расчетов являются интегральные кривые распределения диаметров частиц дисперсных грунтов, а также некоторые показатели их физических свойств.

Расчет суффозионной устойчивости грунтов основания первым способом выполнен с применением методики, предложенной в руководстве

И-55-76 [2]. Алгоритм его применения и результаты оценки для данной территории впервые отражены в работе С.В. Щербакова [5].

Проверка суффозионности грунтов осуществляется исходя из условия:

$$d_{\max}^{ci} \leq d_3 \dots d_5 \quad (1)$$

где $d_3 \dots d_5$ – размер частиц грунта, определяемый по интегральной кривой гранулометрического состава при 3-5% обеспеченности (в настоящих расчетах принято значение обеспеченности 3%); d_{\max}^{ci} – максимальный размер частиц, выносимых фильтрационным потоком из грунта, определяемый по зависимости:

$$d_{\max}^{ci} = 0,77d_{\max}^0 \quad (2)$$

где d_{\max}^0 – максимальный размер пор в грунте, определяемый по формуле М.П. Павича:

$$d_{\max}^0 = 0,455 \cdot (1 + 0,05K) \cdot \sqrt[6]{K} \cdot e \cdot d_{17} \quad (3)$$

где e – коэффициент пористости грунта, д.е.; d_{17} – размер частиц грунта, определяемый по интегральной кривой гранулометрического состава при 17% обеспеченности; K – параметр, определяемый по формуле:

$$K = \frac{d_{60}}{d_{10}} \quad (4)$$

Если условие суффозионности удовлетворяется, то грунт считается суффозионным.

В дополнение к оценке суффозионности С.В. Щербаковым [5] вводится еще один количественный параметр – степень суффозионности λ , который позволяет количественно оценивать интенсивность суффозионной опасности:

$$\lambda = d_3 \dots d_5 - d_{\max}^{ci} \quad (5)$$

Предлагаемая в работе [5] классификация суффозионной устойчивости грунтов в зависимости от значений показателя λ приведена в табл. 1. Результаты площадной оценки параметра λ грунтов, залегающих в приповерхностной части исследуемой территории отражены на рис. 1а.

Таблица 1

Категории суффозионной устойчивости грунтов (методика 1)

Наименование грунтов по степени суффозионности	Значения показателя λ
Несуффозионные	<0
Слабосуффозионные	0 – 0,1
Среднесуффозионные	0,1 – 0,2
Сильносуффозионные	>0,2

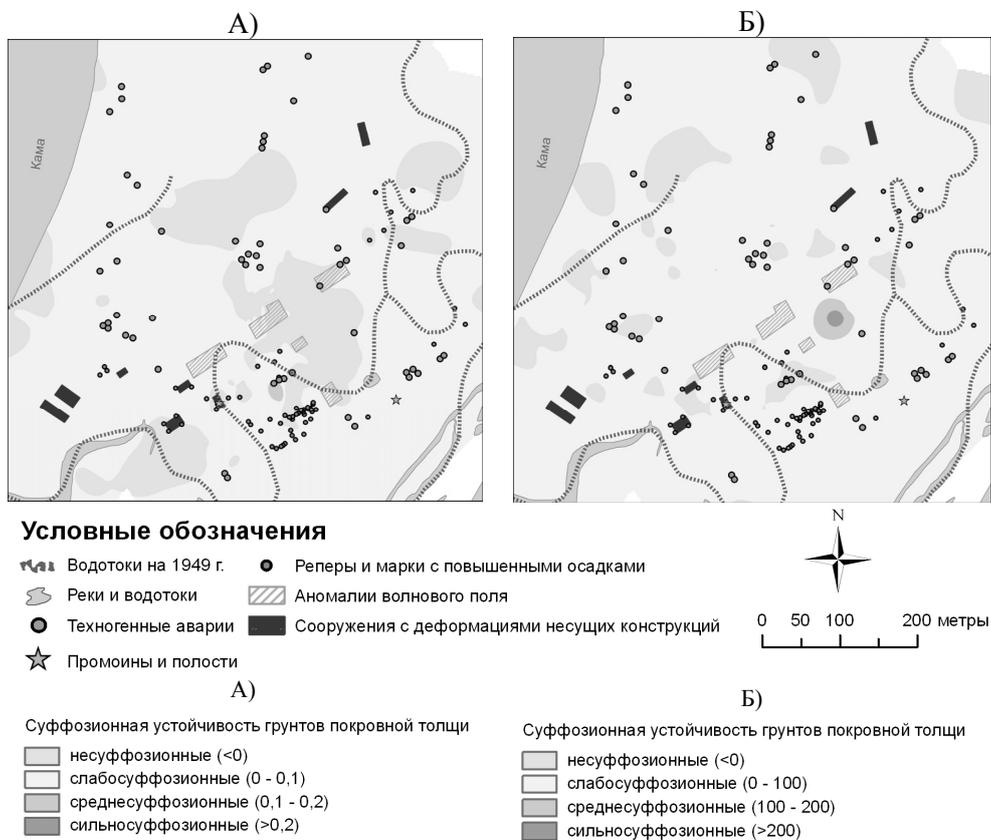


Рис. 1. Карты суффозионной устойчивости грунтовой толщи и факторов проявления опасности:

А) рассчитанная по методике руководства II-55-76;
 Б) рассчитанная по второй методике

Вторая методика оценки суффозионных свойств грунтов представляет собой модификацию методики из руководства II-55-76, которая широко применяется в практике изысканий в Пермском крае. Эта методика наиболее полно отражает грунтовые условия региона. В данной методике критерием суффозионности является условие:

$$N \geq K \quad (6)$$

где N и K – параметры, определяемые по формулам:

$$N = \frac{d_3}{d_{17}} \quad (7)$$

$$K = \left(0,32 + 0,16 \frac{d_{60}}{d_{10}} \right) \cdot \sqrt[6]{\frac{d_{60}}{d_{10}}} \cdot \frac{e}{1-e} \quad (8)$$

где d_3 , d_{10} , d_{17} , d_{60} – размеры частиц грунта, определяемые по интегральной кривой гранулометрического состава при 3, 10, 17 и 60% обеспеченности; e – коэффициент пористости, д.е.

Если условие суффозионности (6) удовлетворяется, то грунт считается суффозионным.

В дополнение к оценке суффозионности, по аналогии с работой [5], предлагается использовать параметр λ , характеризующий степень суффозионности грунта:

$$\lambda = N - K \quad (9)$$

Предлагаемая классификация суффозионной устойчивости грунтов по значениям показателя λ приведена в таблице 2, а пример зонирования территории промплощадки данным способом проиллюстрирован на рисунке 1б.

Таблица 2

Категории суффозионной устойчивости грунтов (методика 2)

Наименование грунтов по степени суффозионности	Значения показателя λ
Несуффозионные	<0
Слабосуффозионные	0 – 100
Среднесуффозионные	100 – 200
Сильносуффозионные	>200

Грунты покровной толщи в пределах всей исследуемой территории промплощадки являются в той или иной мере суффозионными. С увеличением глубины залегания степень суффозионности грунтов увеличивается, что связано с постепенной сменой тонкодисперсных глинистых грунтов песчаными отложениями. Примечательно, что результаты оценки по двум приведенным методикам, несмотря на общие сходства, во многом расходятся между собой. Причем расхождения фиксируются на всех глубинных интервалах исследования (до 5 м, 5-10 м, 10-15 м, более 15 м). Это связано с адаптацией второй методики расчета к грунтовым условиям Пермского края.

Данные методики позволяют ранжировать территорию по суффозионной устойчивости, позволяют оконтурить зоны развития суффозионных грунтов, а также приблизительно оценить интенсивность протекания суффозионного процесса.

Литература

1. *Печеркин А.И., Закоптелов В.Е.* Карст и суффозия на берегах водохранилищ: Учебное пособие по спецкурсу. – Пермь: Пермский университет, 1982. – 88 с.
2. Руководство по расчетам фильтрационной прочности плотин из грунтовых материалов. П- 55-76. – Д.: ВНИИГ им. Веденеева, 1976. – С. 80.
3. *Шилова А.В.* Особенности инженерно-геологического строения территории промышленной площадки в г. Березники Пермского края // Геология в развивающемся мире: сб. науч. тр. (по материалам V науч.-практ. конф. студ., асп. и молодых ученых с междунар. участием): в 2 т. Перм. гос. нац. иссл. ун-т. – Пермь, 2012. – Т. 2. – С. 9-12.
4. *Шилова А.В., Катаев В.Н.* Типизация геологического строения территории промышленной площадки в г. Березники Пермского края // Геология и полезные ископаемые Западного Урала: материалы регион. науч.-практ. конф. Перм. ун-т. – Пермь, 2012. – С. 180-183.
5. *Щербаков С.В.* Прогнозирование устойчивости сооружений в зависимости от суффозионности грунтов // Трофимуковские чтения – 2013: матер. Всерос. молод. науч. конф. с участ. иностр. ученых. Новосибирск, 8-14 сентября 2013 г. – Новосибирск, 2013. – С. 584-586.

3. РЕГИОНАЛЬНЫЕ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ, ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИЕ И ГЕОКРИОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

НАУЧНЫЕ ПРИОРИТЕТЫ РАЗВИТИЯ ГИДРОГЕОЛОГИИ, ИНЖЕНЕРНОЙ ГЕОЛОГИИ И ГЕОЭКОЛОГИИ

Б.Д. Абдуллаев

ГП «Институт ГИДРОИНГЕО» Госкомгеологии РУз, Ташкент.

Узбекистан относится к регионам мира с высокой геологической и гидрогеологической изученностью, мощной минерально-сырьевой базой, но при этом в регионе имеются проблемы, связанные с обеспечением населения питьевой водой. Кроме того, в силу своих природных особенностей, территория Узбекистана характеризуется развитием опасных инженерно-геологических процессов, которым подвержены, как горные, так и предгорные и равнинные территории, сельскохозяйственные и городские, селитебные и промышленные зоны. Рост численности населения и развитие технологических процессов обусловили интенсификацию таких процессов, как загрязнение и истощение ресурсов подземных вод. Эти и многие другие проблемы, требующие незамедлительного решения, обосновывают острую необходимость рассмотрения актуальных и приоритетных направлений гидрогеологических, инженерно-геологических и геоэкологических исследований. При этом необходимо отметить, что решение сформировавшихся проблем лежит как в разрезе научных, фундаментальных, так и прикладных и инновационных аспектов. Это, в свою очередь, предопределяет интеграцию науки, производства и образования. Выявление наиболее важных, актуальных проблем и вопросов, исследование и дальнейший поиск их решения является необходимым условием обеспечения экологической безопасности Республики Узбекистан, и, как следствие, устойчивого развития страны.

В этом контексте, гидрогеология, инженерная геология, геоэкология и дальнейшее развитие этих наук обуславливают одно из важных положений в геологических исследованиях для экономики нашей страны.

Ведущим институтом в Республике Узбекистан по решению вопросов гидрогеологии, инженерной геологии и геоэкологии является ГП «Институт ГИДРОИНГЕО» Госкомгеологии РУз.

Высокая степень геологической и гидрогеологической изученности территории Узбекистана позволила разведать и оценить большое количество имеющихся месторождений подземных вод различного типа. Необходимость защиты населения и экономически важных объектов от опасных инженерно-геологических процессов обусловили развитие инженерно-геологических направлений. Рост численности населения с возрастающими темпами воздействия техногенеза и антропогенной нагрузки на компоненты геологической среды предопределили развитие таких направлений исследований, как геоэкологические.

В связи с необходимостью обеспечения населения качественной питьевой водой, защиты территорий от негативных последствий опасных инженерно-геологических процессов, сохранения и восполнения запасов подземных вод, начинается качественно новый этап гидрогеологических, инженерно-геологических и геоэкологических исследований, ориентированный на научно-практическое использование накопленных знаний, опыта и информации.

Проблема расширения, рационального использования, сохранения водных ресурсов и обеспечение экологической безопасности в целях устойчивого развития становится более трудоёмкой, чем это было до сих пор, а научные работы – более научно- и капиталоемкими. Это должно привести к ряду изменений в стратегии развития гидрогеологической отрасли.

В частности, гидрогеологические исследования должны быть направлены на гарантированное обеспечение населения Республики качественной питьевой водой за счёт использования пресных подземных вод и их сохранения для будущих поколений страны. Это потребует более детального подхода на современном уровне к выявлению закономерностей формирования ресурсов и запасов подземных вод в условиях изменения климата и водохозяйственной ситуации, связанных с зарегулированностью и перераспределением стока поверхностных вод.

В складывающихся обстоятельствах принципиальное значение приобретает учёт использования подземных вод во всех отраслях экономики. Естественные ресурсы пресных и слабо солоноватых подземных вод в Республике Узбекистан составляют 75,6 млн. м³/сут (847 м³/с), региональные прогнозные ресурсы – 64 млн. м³/сут (740 м³/с), утверждённые запасы ГКЗ РУз – 23,4 млн. м³/сут (270 м³/с), отбор подземных вод в различных целях народного хозяйства из более, чем 25 тысяч эксплуатационных скважин, что составляет 166 млн. м³/сут (192 м³/с).

Существует комплекс проблем научного и технико-экономического характера в области использования ресурсов подземных вод, который требует нового решения в изменившейся геополитической обстановке и в условиях природной ограниченности Узбекистана в водных ресурсах и их крайне неравномерном распределении по территории.

Новая международно-правовая обстановка и вероятные неблагоприятные изменения водности речных систем региона ставят перед Узбекистаном специфические проблемы и требуют коренного изменения устоявшихся под-

ходов к водопотреблению и водопользованию, преодолению Аральского экологического бедствия.

Неотъемлемой частью устойчивого развития является экологическая безопасность, которая подразумевает не только обеспечение населения качественной питьевой водой, но и охрану от воздействия опасных процессов – оползней, подтопления, засоления, просадки и ряд других, развивающихся на сельскохозяйственных и городских территориях, промышленных и селитебных зонах, площадях освоения месторождений полезных ископаемых. Необходимо уделить внимание развитию методологической базы с учётом уже накопленного опыта знаний о механизмах опасных геологических процессов и явлений. При этом необходимо привлечение современных наукоёмких технологий, новых методов моделирования, цифровых данных дистанционного зондирования Земли, ГИС-технологий, специфического программного обеспечения как инструмента, позволяющего повысить достоверность и оперативность информации, особенно в условиях быстро изменяющихся параметров геологической среды и климатических характеристик.

Необходимо проведение эколого-геологических и эколого-гидрогеологических исследований и картографирования на более детальном уровне с целью разработки мероприятий по уменьшению негативных экологических последствий. Эти работы призваны не только изучать уровни и типы загрязнения таких компонентов геологической среды, как вода, почвы и грунты, но так же и разрабатывать методологическую базу для объективной оценки с целью дальнейшей выработки рекомендаций и разработки соответствующих эффективных способов очистки. Разработка современных методов очистки и предотвращения от загрязнителей техногенного характера требует комплексного подхода, в основу которых должны быть положены междисциплинарные исследования, выполняемые на стыке таких наук, как гидрогеохимия, геохимия, химия, геофизика, гидрогеофизика, микробиология и ряд других. Необходима постановка экспериментальных и опытных работ, апробация возможных способов очистки в условиях Узбекистана в зависимости от вида загрязнителей, уровней загрязнения, свойств токсичных компонентов и вмещающих их сред. Указанные аспекты должны быть непременно учтены при постановке опытно-конструкторских работ при разработке специфических приборов и датчиков.

Таким образом, в настоящее время актуальными являются следующие научные проблемы развития гидрогеологии, инженерной геологии и геоэкологии в Республике Узбекистан:

Гарантированное обеспечение населения водой питьевого качества. В результате решения этой проблемы водой питьевого качества, в первую очередь, будет обеспечено население территорий, проживающее в регионах, наиболее нуждающихся в питьевой воде.

Комплексное (комбинированное) использование подземных и поверхностных вод в целях рационального использования водных ресурсов. В результате разработки и внедрения методов комплексного использования подземных и поверхностных вод, значительно повысится уровень эффек-

тивности рационального использования водных ресурсов, что особенно актуально в регионах с низким уровнем водообеспеченности.

Развитие теоретической и методологической базы изучения и применения минеральных вод. Результатом реализации мероприятий по развитию базы минеральных подземных вод будет создание информационной базы данных в системе ГИС, которая позволит усовершенствовать имеющуюся и разработать новую систему изучения, обоснования и методологии применения минеральных подземных вод Узбекистана, которыми богата республика.

Разработка классификации подземных минеральных вод с учётом новейших разработок современной науки для развития бальнеологии в целях оздоровления населения, расширения курортов с привлечением отечественных и зарубежных клиентов. В результате будет дана не только классификация подземных минеральных вод, но и расширена возможность развития бальнеологии, что позволит значительно оздоровить население республики и привлечь зарубежных клиентов, развивая ко всему прочему туристический и курортный сектор страны.

Изучение ресурсов минеральных подземных вод в целях разработки способов добычи промышленно ценных компонентов. По результатам изучения подземных минеральных вод, содержащих ряд ценных компонентов, будут даны возможные рекомендации и разработаны способы извлечения компонентов из подземных вод, что расширит минерально-сырьевую базу республики, привлечёт инвесторов в страну, и, в целом, будет способствовать решению задач стабильного и устойчивого развития.

Изучение термальных подземных вод для использования тепловой энергии в целях эффективного решения вопросов энергосбережения. Будут даны возможные способы использования тепловой энергии за счёт использования термальных подземных вод, имеющих широкое распространение в Узбекистане. Это позволит внести вклад в решение вопросов энергосбережения.

Гидрогеохимические методы поисков полезных ископаемых. Будут обоснованы гидрогеохимические методы поисков полезных ископаемых, что является хорошей альтернативой при уже исчерпанных методах поисков.

Гидрогеология и инженерная геология месторождений полезных ископаемых. В рамках данного направления исследований будет решён широкий ряд задач, связанных с безопасностью разработки и эксплуатации месторождений полезных ископаемых, а так же определения геоиндикаторов возможных месторождений.

Мелиоративная гидрогеология. Будет решён ряд насущных проблем, связанных с орошаемыми территориями республики и эффективным ведением сельского хозяйства с использованием подземных вод.

Гидрогеоэкологические исследования для целей оценки воздействия антропогенной деятельности на геологическую среду. Будет дана оценка влияния хозяйственной деятельности человека на компоненты геологической среды (почво-грунты и подземные воды) посредством использования комплексного подхода и интегрированной оценки, что позволит выявить

наиболее напряжённые территории и разработать дальнейшие природоохранные мероприятия.

Разработка достоверных методов оценки состояния качества подземных вод под воздействием техногенной нагрузки на геологическую среду. Будут проанализированы имеющиеся методы оценки состояния качества подземных вод, достоверность и результативность их внедрения, достоинства и недостатки. С учётом ряда параметров, современных методов оценки, программно-технических средств, особенностей природных условий, видов и масштабов техногенной нагрузки на геологическую среду, будут разработаны новые и усовершенствованы имеющиеся методы оценки качества подземных вод. Комплекс результатов позволит в дальнейшем не только разработать мероприятия по сохранению качества подземных вод, но и нормировать техногенную нагрузку.

Изучение зоны аэрации как основного барьера на пути проникновения загрязнителей в водоносные горизонты. Результатом выполнения мероприятий в этом направлении исследований явится разработка методов, позволяющих диагностировать загрязнения на ранних его этапах и, как следствие, предотвращать дальнейшее загрязнение компонентов геологической среды, которое может вызывать вторичные негативные эффекты, увеличивать экологический и экономический ущерб.

Моделирование гидрогеологических процессов в целях прогнозирования. Прогноз изменения гидрогеологических параметров на перспективу позволит не только контролировать, но и управлять рядом процессов, связанных с подземными водами, являющимися ценным компонентом для жизни населения, развития сельского хозяйства, роста ряда отраслей промышленности, а так же позволит эффективное планирование и оптимальное принятие управленческих решений, что повышает стабильность и устойчивость развития страны.

Изучение опасных экзогенных и инженерно-геологических процессов в целях уменьшения негативных последствий для населения и экономических объектов. Цель исследований – создание системы оперативного оповещения о надвигающейся угрозе, защита населения и экономических объектов, что обусловлено острой необходимостью сохранения здоровья и жизни человека, и, нормального функционирования экономически важных объектов.

Прогноз гидрогеологических и инженерно-геологических условий при освоении месторождений полезных ископаемых, защита горных выработок от водопритока. В результате повысится уровень безопасности при освоении месторождений полезных ископаемых. Будут разработаны прогнозные методы и даны рекомендации по их применению. Внедрение эффективных методов прогноза позволит предотвратить зачастую необратимые негативные последствия при освоении месторождений, а так же обосновать наиболее безопасные и эффективные способы освоения.

Изучение гидрогеодеформационных полей как одного из предвестников землетрясений. В результате повысится уровень информативности об

опасных эндогенных геологических процессах, что позволит более эффективно использовать данные при прогнозных расчётах возможных землетрясений. Изучение гидрогеодеформационного поля, кроме всего, позволит расширить знания и понимание о геондикаторах геологических процессов, протекающих в недрах Земли.

Гидрогеологическое, инженерно-геологическое и геоэкологическое картирование. В результате будут усовершенствованы методы картирования, разработаны научно обоснованные подходы к составлению картографических материалов тематического характера для различных масштабов и широкого ряда гидрогеологических, инженерно-геологических и геоэкологических задач, включая территории промышленных и селитебных зон, урбанизированных ландшафтов, сельскохозяйственных территорий, охраняемых природных зон, площадей разработки месторождений полезных ископаемых, трансграничных территорий, областей повышенной экологической напряжённости и др.

Эти основные проблемы, требующие решения, должны быть учтены при определении целей, задач и направлений исследований гидрогеологических, инженерно-геологических и геоэкологических наук на ближайшую перспективу. Именно эти аспекты являются важнейшими научными приоритетами развития гидрогеологии, инженерной геологии и геоэкологии.

Литература

1. Бочаров В.Л. Геоэкология как наука: структурирование и тезаурус, современное состояние и перспективы развития // Вестн. Воронеж. ун-та. Сер. Геология. – 2004. – № 2. – С. 166-171.
2. Королев В.А. Мониторинг геологической среды: Учебник для вузов. – М.: Изд-во МГУ, 1995.

О РОЛИ КАРСТОВОГО ПРОЦЕССА В ОБРАЗОВАНИИ КАРСТОВО-СУФФОЗИОННЫХ ВОРОНОК

А.В. Аникеев

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

Определение “карстово-суффозионный” появляется в научной литературе в конце 1940-х гг. применительно к поверхностным формам покрытого карста. В 1960-е гг. оно широко используется российскими карстоведами для обозначения воронок, образовавшихся на поверхности покровной толщи закарстованных массивов [5, 7, 11, 13, 15, 18 и др.].

Позже возникает понятие “карстово-суффозионные процессы”, под которыми в инженерном карстоведении по сути дела подразумеваются провалы и оседание земной поверхности в районах покрытого карста. При этом собственно карстовый процесс может и не играть существенной роли, а учитываться лишь постольку, поскольку его подземные формы принимают и аккумулируют обломочный материал. Именно такой смысл обычно вкладывается сейчас в это понятие [6, 9, 14, 22 и др.].

В этой связи неприятие термина “карстово-суффозионные процессы”, например, в работе [20] вызывает удивление, тем более что имя прилагательное составлено по всем правилам русского языка: ключевое слово стоит на последнем месте. Тем самым подчеркивается, что в отличие от “суффозионно-карстовых” процессов определяющую роль играет суффозия, но связанная не с подземными сооружениями или реками, а с древними карстовыми формами. Не менее удивительны и словосочетания “карстовые провалы”, “карстовые деформации”, “карстовая опасность”, когда рассматривается появление воронок на поверхности мощной (до 50–70 м и более) толщи глинисто-песчаных грунтов, перекрывающих растворимые породы, как например, в Нижегородской области [19, 21] или в Республике Татарстан [16].

Принимая определение “карстово-суффозионный”, автор полагает, что речь все-таки должна идти о процессе, а не процессах, хотя формы его реализации в массиве и на дневной поверхности могут быть самыми разными. Но обусловлено это лишь чрезвычайным разнообразием инженерно-геологических условий и множеством возможных сочетаний основных, первичных, принципиально отличных друг от друга механизмов процесса, которых на самом деле не много [1]. Таким образом, под карстово-суффозионным процессом будем понимать деформирование и разрушение покровной толщи закарстованных массивов (гравитационное и фильтрационное) в результате выноса песчаного и раздробленного глинистого материала в трещинно-карстовые коллекторы, учитывая, что этот комплексный процесс может развиваться и на фоне увеличения аккумуляционной емкости растворимых пород за счёт их выщелачивания.

Совместный анализ химических и механических закономерностей провалообразования – задача крайне сложная. Если размеры карстовой полости (полого пространства) заметно увеличиваются и в рассматриваемый промежуток времени их нельзя считать константой даже в первом приближении, то это обстоятельство должно и может быть учтено в краевых условиях и основных уравнениях, переменными в которых служат размеры. Однако наиболее простой путь оценки карстово-суффозионной опасности возникает тогда, когда мы можем быть уверенными, что влияние растворения и выщелачивания пород на провалообразование пренебрежимо мало. Такая ситуация имеет место, например, в Москве и, по-видимому, в других районах относительно глубокого залегания карбонатного карста.

В работах [3, 4] анализируется гидрохимический режим трещинно-карстовых вод на территории Москвы в последние 60 лет и, в частности, приводится скорость растворения средне- и верхнекаменноугольных карбонат-

ных пород в пределах МКАД. Учитывается техногенное воздействие и его влияние на содержание свободной углекислоты в карбонатных пластах, которое при прочих равных условиях определяет растворяющую способность подземных вод.

В результате серьезных многолетних исследований В.П. Зверев получил, что в год выщелачивается 9300 т CaCO_3 или, переходя на объем, $V_k = 3600 \text{ м}^3/\text{год}$ [3, 4]. Автор цитируемых работ справедливо считает, что для площади всего мегаполиса это немного, но, учитывая приуроченность процесса к ослабленным зонам массива, полагает, что в таких зонах этого вполне достаточно для образования карстовых провалов.

Допуская, что базисом коррозии являются современные речные долины, оценим вклад растворения карбонатных пород в развитие карстово-суффозионного процесса в пределах главных водных артерий нашей столицы. Следуя рекомендациям В.П. Зверева, считаем, что вынос CaCO_3 со скоростью $V_k = 3600 \text{ м}^3/\text{год}$ имеет место не на всей площади города, а лишь в полосах шириной 1 км – по 500 м справа и слева от тальвега основных рек (рис. 1, табл. 1). Заметим, что при таком допущении мы заведомо уменьшаем действующую площадь и, следовательно, увеличиваем опасность выщелачивания растворимых пород.

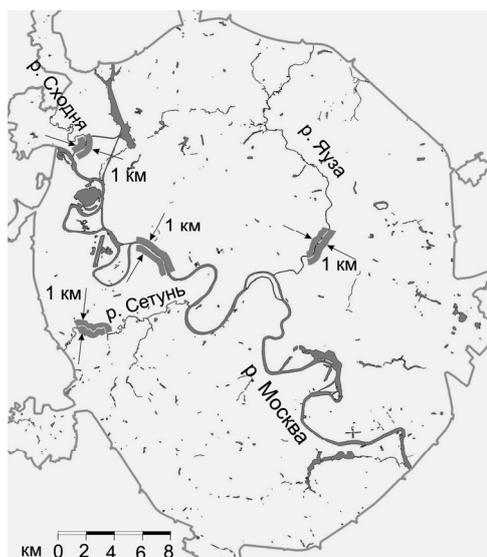


Рис. 1. К определению скорости карстовой денудации в Москве на современном этапе развития территории. Стрелками показана ширина фрагментов области влияния главных рек

Из данных последней строки табл. 1 следует, что оседание земной поверхности, обусловленное растворением карбонатных пород в приустьевой части основных рек нашего города, развивается со скоростью 0.031 мм/год. Но даже если считать, что весь объем растворенного вещества выносится только из зоны влияния Москвы-реки, то и тогда скорость карстовой денудации будет крайне мала (0.048 мм/год, табл. 1).

Таблица 1

Протяженность главных рек столицы и некоторые характеристики интенсивности развития карстового процесса в пределах МКАД

Характеристики	Реки				
	Москва	Яуза	Сетунь	Сходня	Все главные реки
Протяженность (км)	75	23	12	6	116
Ширина зоны влияния (км)	1	1	1	1	1
Площадь зоны влияния (м ²)	75000	23000	12000	6000	116000
Скорость карстовой денудации (мм/год)	0.048				0.031

Для сравнения, на одном из участков СЗАО г. Москвы в районе, потенциально опасном в карстово-суффозионном отношении, скорость оседания в конце 1940-х годов составляла 14–15 мм/год, к началу 1970-х годов она уменьшилась до 2.5–4 мм/год. Средняя же скорость опускания дневной поверхности в Москве в конце XX века равнялась 1.5–2 мм/год [12, с. 263], то есть была, по меньшей мере, в 50–60 раз больше той, что указана в последней клетке табл. 1.

На территории Москвы современные речные долины, а вернее их тальвеги, служат в первую очередь базисом эрозии. Они, несомненно, влияют на развитие карста, однако положение базиса коррозии определяется глубиной вреза палеодолин дочетвертичного возраста.

Анализ имеющихся в настоящее время данных о древней речной сети города [2, 8, 10, 12] свидетельствует, что ее протяженность намного превышает длину современных рек (рис. 2). Тогда, при учете совместного влияния доледниковых и современных врезов, скорость карстовой денудации оказывается как минимум на 3 порядка меньше, чем средняя скорость оседания территории нашего города. Если же учесть и некоторый вклад доюрских эрозионных ложбин в развитие карстового процесса, то всерьез говорить о роли растворения карбонатных пород в развитии карстово-суффозионного процесса, очевидно, не приходится.

Полученные выше результаты можно трактовать иначе – как скорость изменения размера подземных карстовых форм в плане. Пусть скорость карстовой денудации будет максимальной и примерно равной 0.05 мм/год (табл. 1), а коррозия по каким-либо причинам развивается только по горизонтали. Тогда за 100 лет, а это максимальный срок эксплуатации самых ответственных сооружений, приращение пролета вскрытой бурением полости составит $\Delta L = 0.005$ м. Понятно, что такое увеличение ширины ослабленного участка, даже если его пролет составляет всего $L = 0.1$ м, не говоря уже о пролете $L \geq 1$ м, можно не учитывать в практических расчетах.

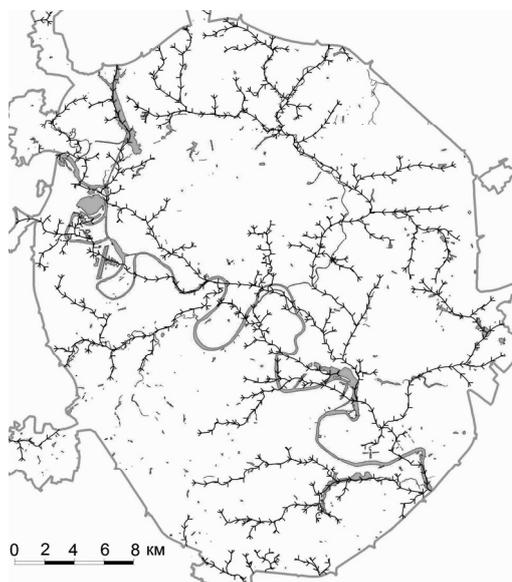


Рис. 2. Современная речная сеть и тальвеги доледниковых эрозионных врезов (черные линии) на территории г. Москвы (по В.М. Кутепову, И.В. Козляковой, Анисимовой Н.Г. и др., 2011)

В конце 1920-х – начале 1930-х гг. Ф.П. Саваренский подсчитал межженный модуль стока и йонный сток для Москвы-реки в районе нынешнего Рублевского шоссе. По его данным средняя скорость химической денудации в то время равнялась 0.0071 мм/год [17]. Полагая в первом приближении, что эти данные справедливы и для Москвы в целом, и, сопоставляя их с полученными выше результатами (0.031 мм/год, 0.048 мм/год, табл. 1), приходим к следующему выводу. Действительно, в последние 70 лет XX века скорость карстовой денудации в Москве сильно возросла – в 4.4–6.8 раз. Но, несмотря на это, величина опасности и риска образования провалов в Москве по-прежнему не зависит от интенсивности выщелачивания каменноугольных отложений.

Литература

1. *Аникеев А.В.* Особенности разрушения влажных и водонасыщенных песков покровной толщи в карстовых районах // *Геоэкология*. – 1995. – № 1. – С. 72–79.
2. *Голодковская Г.А., Лебедева Н.И.* Инженерно-геологическое районирование территории Москвы // *Инженерная геология*. – 1984. – № 3. – С. 87–101.
3. *Зверев В.П.* Особенности развития и опасность карстовых процессов на территории г. Москвы // *Оценка и управление природными рисками: Материалы Всеросс. конф. «Риск–2003»*. Т. 1. – М.: Изд-во РУДН, 2003. – С. 22–26.
4. *Зверев В.П.* Подземные воды земной коры и геологические процессы. – М.: Научный мир, 2006. – 256 с.
5. *Кавеев М. С.* Карстово-суффозионные явления в левобережной части долины Волги в пределах Татарской АССР // *Известия ВГО*. – 1956. – Т. 88. – № 5. – С. 61–66.
6. *Кожевникова В.Н.* О роли динамики и режима подземных вод в формировании карстово-суффозионных процессов (на примере некоторых районов г. Москвы) // *Инженерные изыскания при строительстве*. Вып. 5(33). Сер. 2. – М.: Стройиздат, 1974. – С. 22–27.

7. *Короткевич Г. В.* О карстово-суффозионных формах и мерах предупреждения их развития при строительстве // *Грунтоведение и инженерная геология.* – Л.: Изд-во ЛГУ, 1964. – С. 155–160.
8. *Кофф Г.Л., Петренко С.И., Лихачева Э.А., Котлов В.Ф.* Очерки по геоэкологии и инженерной геологии Московского столичного региона. – М.: Изд-во РЭФИА, 1997. – 185 с.
9. *Кутепов В.М., Кожевникова В.Н.* Устойчивость закарстованных территорий. – М.: Наука, 1989. – 151 с.
10. *Кутепов В.М., Козлякова И.В., Анисимова Н.Г. и др.* Оценка карстовой и карстово-суффозионной опасности в проекте крупномасштабного геологического картирования г. Москвы // *Геоэкология.* – 2011. – № 3. – С. 217–228.
11. *Максимович Г. А.* Основы карстования. Т. 1. Вопросы морфологии, спелеологии и гидрогеологии карста. – Пермь: Перм. книжное изд-во, 1963. – 444 с.
12. Москва: геология и город / Гл. ред. В.И. Осипов, О.П. Медведев. – М.: АО «Московские учебники и Картолитография», 1997. – 400 с.
13. *Огильви Н. А.* Карст, его значение для эксплуатации угольных месторождений в Подмосковном бассейне и пути его изучения // *Карстование.* Вып. 1 / Тр. Молотовской карст. конф. (26 янв. – 1 февр. 1947 в г. Молотов). – Молотов: Изд-во Молотовского гос. ун-та, 1948. – С. 37–43.
14. *Парфенов С.И.* Карстово-суффозионные явления на Ходыньском поднятии в г. Москве // *Новые методы изучения инженерно-геологических условий.* – М.: Наука, 1981. – С. 34–38.
15. *Соколов Д. С.* Основные условия развития карста. – М.: Госгеолтехиздат, 1962. – 322 с.
16. *Рагозин А.Л., Елкин В.А.* Региональная оценка карстовой опасности и риска // *Проблемы безопасности и чрезвычайных ситуаций.* – 2003. – № 4. – С. 33–52.
17. *Саваренский Ф.П.* Избранные сочинения / Отв. ред. Н.Н. Славянов. – М.–Л.: Изд-во АН СССР, 1950. – 412 с.
18. *Ступишин А.В.* Равнинный карст и закономерности его развития на примере Среднего Поволжья. – Казань: Изд-во Казанского университета, 1967. – 291 с.
19. *Толмачев В. В., Ройтер Ф.* Инженерное карстование. – М.: Недра, 1990. – 152 с.
20. *Трофимов В.Т.* О необходимости совершенствования и аккуратного развития понятийно-терминологической базы инженерно-геологического изучения современных геологических процессов и явлений // Тр. Межд. науч. конф. (Москва, геол. ф-т МГУ им. М.В. Ломоносова. 29–30 января 2009 г.) / Под ред. В.Т. Трофимова и В.А. Королева. – М.: Изд-во МГУ, 2009. – С. 7–9.
21. ТСН 22-308-98 НН. Инженерные изыскания, проектирование, строительство и эксплуатация зданий и сооружений на закарстованных территориях Нижегородской области. – Нижний Новгород, 1999. – 72 с.
22. *Хоменко В. П.* Карстово-суффозионные процессы и их прогноз. – М.: Наука, 1986. – 97 с.

ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ПОТЕНЦИАЛА ГРАДОСТРОИТЕЛЬНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПОДЗЕМНОГО ПРОСТРАНСТВА МОСКВЫ

В.Л. Беляев

Национальное объединение изыскателей 129090, г. Москва, Большой Балканский пер., д. 20,
стр. 1. E-mail: iziskately@mail.ru
ФГБОУ ВПО «Московский государственный строительный университет, 129337, г. Москва,
Ярославское шоссе, д.26. E-mail: gseb@mgsu.ru

Одной из объективных тенденций в условиях нарастающей урбанизации и глобальных экологических угроз, является рост масштабов градостроительного освоения подземного пространства (далее – ПП). При этом многие крупные города мира обеспечивают такое освоение планомерно в рамках «трехмерного градостроительства» (Монреаль, Хельсинки, Токио, Париж, Амстердам и др.). Реализация таких планов и программ, осуществляемая в самых различных инженерно-геологических условиях, отвечает требованиям должного уровня безопасности строительства, а в целом – стратегическому принципу устойчивого развития, обеспечивая компактное и комплексное развитие городов и необходимый комфорт (сомасштабная человеку, озелененная городская среда, доступность и разнообразие сервисов и пр.).

По объемам подземного строительства Россия значительно отстает от развитых стран. Многие наши крупные города, включая Москву, территориально развиваются однобоко (традиционно вширь и вниз), не используя потенциал своего ПП как подземной части территории¹. Такая ситуация связана, прежде всего, с системными недостатками в области государственного управления подземным градостроительством: отсутствием четких политических установок, ориентацией властей и инвесторов на кратковременные выгоды, слабостью методологических проработок, правового и технического регулирования. Это требует существенного реформирования подземного градостроительства [2].

Ресурсное управление (охрана и рациональное строительное использование недр) должно сочетаться с институциональным (проектно-ориентированным) подходом, с участием в реализации проектов всех групп заинтересованных лиц. Другим принципом в условиях рынка является анализ спроса и предложения на подземные ресурсы и их балансирование. Решение первой задачи связано с проведением специальных социологических и иных опросов и исследований, широким участием населения, общественности и профессионалов в разработке и принятии проектно-планировочных решений,

¹ В идеале при подготовке градостроительных планов и при их реализации надо стремиться к комплексному использованию ресурсов ПП (не только территориальных, но и геотермальных, водных и минеральных) [1].

мониторингом развития территории. Данное направление в российском градостроительстве находится в зачаточном состоянии, при этом обустройство большинства городских территорий отстает от проектных, тем более от мировых стандартов. Даже в центральной зоне Москвы по данным мониторинга реализации Генплана города наблюдается дефицит целого ряда транспортных, социальных и инженерных сервисов, а пригодной земли для его покрытия практически нет (ограничения по условиям охраны исторического наследия, необходимость выкупа земель и пр.).

Анализ предложения предполагает оценку потенциала использования ПП на всех уровнях градостроительного проектирования. Решение этой задачи самым непосредственным образом связано с проведением инженерных изысканий (далее – ИИ)² и анализом инженерно-геологических условий развития территории. Их результаты обуславливают выбор вариантов планировки, местоположения, номенклатуры основных подземных зданий и сооружений (далее – ПЗС), а также методов инженерной подготовки, защиты территории и застройки, охраны окружающей среды. Применительно к городу Москве, например, может быть предложена следующая «идеальная» модель.

В самом первом приближении возможность использования ПП оценивается уже в составе Стратегии развития города, положения которой служат целеполаганием для подготовки Генплана Москвы. В состав материалов по обоснованию Генплана³ включаются специальные разделы, связанные с инженерно-геологической оценкой освоения ПП. Проработки основываются на учете требований законодательства, в том числе норм безопасности (для чего на федеральном уровне иницируется принятие специального «планировочного» технического регламента), положениях Стратегии, результатах ИИ, разведки недр, специальных научных исследований, на анализе условий и факторов, определяющих закономерности освоения подземного пространства.

Проектирование в рамках ПТС «геологическая среда – подземное сооружение» предполагает соответствующий уровень изученности недр (геологической среды) в первую очередь как подземной части территории. В условиях достаточно хорошей инженерно-геологической изученности территории города, ИИ в основном ограничиваются сбором, анализом и обобщением фондовых материалов. Активно используются данные госгеофонда города, а в последующем и государственного фонда материалов и данных ИИ (далее – ГФМид ИИ), подготовку проекта постановления Правительства РФ о созда-

² С точки зрения освоения ПП наиболее актуальны инженерно-геологические ИИ.

³ Подготовка обосновывающих материалов является, пожалуй, наиболее слабым звеном градостроительного проектирования. При их факультативном характере и недостаточном государственном методическом сопровождении заказчики и исполнители повсеместно экономят на выполнении таких материалов. В условиях нивелирования в ГрК РФ роли ИИ, отсутствия правового регулирования вопросов безопасности и допуска на рынок планировочных услуг, упразднения экспертизы такая «псевдоэкономия» приводит не только к нерациональным планировочным решениям и ошибкам, но и способствует катастрофическим последствиям природных явлений (недавние наводнения в городе Крымске и на Дальнем Востоке).

нии и ведении которого в настоящее время завершает Минстрой России совместно с НОИЗ.

В то же время, на присоединенных территориях «новой Москвы» такая изученность явно недостаточна для построения кондиционных геологических карт и обоснования освоения ПП. Не смотря на это, ГУП «Мосгоргеотрест» без проведения дополнительных ИИ (хотя бы уровня инженерно-геологической рекогносцировки) выполнил в 2013 г. для данной территории несколько геологических карт М 1:50000 (фактического материала, техногенный, четвертичных, дочетвертичных и каменноугольных отложений, гидрогеологии, оползней и подтопления)⁴. По типологии геологических разрезов построена карта инженерно-геологического районирования, которую предполагается использовать как основу при разработке вариантов развития данной территории на стадии Генплана города. Представляется, что попытка сэкономить на выполнении ИИ и инженерно-геологическом обосновании в данном случае также мало оправдана, по крайней мере, применительно к новым территориям, расположенным в ближней от МКАД зоне, где намечается интенсивная застройка (в целом же, по логике закона, минимальные стандарты качества городской среды и уровень безопасности территории в «новой Москве» не должны быть ниже, чем на другой территории города).

В этой связи необходимо закрепить возможность проведения ИИ для обоснования генпланов городов и структуру материалов по обоснованию их проектов путем включения в ГрК РФ норм прямого действия (см. ниже). Кроме того, следует соответственно дополнить СП 47.13330.2012 «Инженерные изыскания для строительства», а также включить в СП положения, отражающие специфику ИИ для подземного строительства⁵.

В рамках предлагаемой «технологической» модели предполагается, что в составе материалов по обоснованию проекта Генплана выполняется дифференцированная оценка степени благоприятности территории для целей освоения ПП с учетом результатов ИИ и сведений тематических геологических карт. В г.Москве в 2008 г. разработаны 12 таких карт М 1:10000, а также предпринята попытка выполнения оценочного районирования (ИПКОН РАН, 2009). Необходимо обновление этих карт, дополнение их аналогичными картами присоединенной территории, перевод карт в формат 3 D и завершение районирования, которое оценивает благоприятность всей территории города по условиям освоения ПП дифференцированно по видам функциональных и иных зон, видам ПЗС городского значения. Другими требованиями к такому районированию являются: стадийность, системность и конкретность, типологизация, учет механизма взаимовоздействия подсистем в ПТС, вероятност-

⁴ Перечень тематических карт также сужен по сравнению с комплектом карт, ранее выполненным на территории «старой Москвы» (см. ниже), в частности отсутствует карта карстовой и карстово-суффозионной опасности, носящая для освоения ПП принципиальный характер.

⁵ Более предпочтительным вариантом является разработка отдельного СП по проведению ИИ для обоснования градпроектирования.

ный и прогнозный характер, дифференциация по ярусам глубин, учет результатов ИИ и разведки недр. Одновременно осуществляется градостроительная оценка ограничений⁶, риска возникновения чрезвычайных ситуаций, в том числе связанных с ПЗС (метрополитен, опасные производства и другие). Аналогичное районирование выполняется при обосновании совместной подготовки документов территориального планирования (статья 27 ГрК РФ) для гармонизации размещения ПЗС федерального, регионального и местного значения в пригородной зоне столицы как зоне особого управления развиваемыми территориями (депо, водозаборы, полигоны, объекты энергетики и пр.).

Особое внимание при районировании уделяется оценке риска опасных геологических процессов и явлений. По мнению экспертов для большинства ПЗС (тоннели, сооружения метрополитена, инженерная инфраструктура) в Москве наиболее актуальна карстовая и карстово-суффозионная опасность. В целом для целей градпроектирования перспективным выглядит применение метода оценки закарстованных территорий по относительному удельному уровню карстового риска⁷. В то же время именно данный тип карстоопасности, обусловленной осложнениями при создании ПЗС (возможность их деформаций при воздействии подземных карстопроявлений, повышенный водоприток в ПЗС и др.) изучен недостаточно. Необходимы специальные прикладные НИР, направленные на учет специфики «подземного» типа карстоопасности (непосредственный контакт ПЗС с опасными проявлениями в карстующихся породах и покрывающей толще), выявление механизма карстовых деформаций, осложненного различным техногенным воздействием, характера и степени риска. По их результатам должны быть дополнены действующие и созданы новые документы в области технического регулирования и стандартизации.

Районирование используется для оценки планировочных вариантов и последующего выбора наиболее рационального из них и далее (в рамках постоянно действующей модели) детализируется при обосновании проектов территориальных или отраслевых схем и проектов планировки территории с ориентацией на трёхмерный формат⁸. Особое внимание уделяется планировке объектов метрополитена как каркаса освоения ПП, как основы создания комплексов подземной и подземно-наземной застройки различного назначения.

⁶ Кроме археологических ограничений в перспективе (при дополнительном законодательном урегулировании) целесообразно ввести ограничения, связанные с необходимостью сохранения от загрязнения подземных водоносных горизонтов.

⁷ Исследования В.В. Толмачева и других специалистов ООО «Противокарстовая и береговая защита».

⁸ Необходимость инженерно-геологического обоснования правил землепользования и застройки города и проведения для этого ИИ также требует дополнительного осмысления. С одной стороны ПЗЗ являются городским градостроительным законом, с другой – они прямо или косвенно регулируют создание и изменение ПЗС (отражают ограничения, определяют разрешенные виды использования, предельные строительные параметры).

Применительно к планировке территории крайне важно устранить пробел ГрК РФ, предусматривая проведение на этом уровне комплекса ИИ⁹. Такой проект ФЗ подготовлен при участии НОИЗ Минрегионом России летом 2013 г. с включением специальной статьи по ИИ. Согласно законопроекту такие ИИ осуществляются в обязательном порядке. На своем начальном этапе они включают сбор, анализ и обобщение изыскательских материалов прошлых лет (фондовые материалы, данные ГФМиД ИИ, ФГИС ТП, ИСОГД и др.). В зависимости от изученности территории, сложности инженерно-геологических условий, ответственности проектируемых объектов, в частности в зависимости от глубины заложения ПЗС в ряде случаев целесообразно проводить инженерно-геологическую съемку, дифференцированную по масштабу. Наряду с обоснованием границ зон размещения строительных объектов, ИИ выполняются также в целях обоснования мероприятий по инженерной подготовке, защите и благоустройству территорий. В связи с тем, что законопроект касается определения элементов планировочной структуры, целесообразно установить, что определение границ таких элементов в рамках подготовки документов территориального планирования муниципального уровня осуществляется также по результатам проведения ИИ.

Принятие закона, а также в целом реализация предложенной модели инженерно-геологического обоснования подземного градоустройства позволит повысить устойчивость развития территорий Москвы. Она может найти применение и в других крупнейших городах страны.

Литература

1. *Li, H., A. Parriaux, et al.* (2011). The way to plan a viable Deep City: from economic and institutional aspects. The Joint НКІЕ-НКІР Conference on Planning and Development of Underground Space. Hong Kong, The Hong Kong Institution of Engineers & The Hong Kong Institution of Planners: 53-60.

2. *Беляев В.Л.* Основы подземного градоустройства: монография / В.Л. Беляев; М-во образования и науки Росс. Федерации, ФГБОУ ВПО «Моск. гос. строит. ун-т». – Москва: МГСУ, 2012. – 255 с (Библиотека научных разработок и проектов МГСУ).

⁹ Частично (для линейных транспортных объектов) данный пробел уже был устранен в 2013 году.

ФОРМИРОВАНИЕ ОПАСНЫХ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ НА СЕВЕРНОМ СКЛОНЕ ХРЕБТА АИБГА

О.А. Вадачкоря, О.А. Воейкова, А.А. Мурый, С.А. Несмеянов

Институт геоэкологии им. Е.М. Сергеева РАН, Москва, 101000, Уланский пер. 13, стр. 1

Важность изучения опасных геологических процессов на северном склоне хребта Аибга определяется строительством и последующей эксплуатацией большей части горного кластера Олимпийских объектов Сочинской Олимпиады 2014 года. Интенсивность большинства опасных экзогенных процессов определяется сложностью рельефа, тектоники и мощностью коры выветривания. Основные черты современного орогенического рельефа определяются неотектоникой. При этом наиболее крутые склоны связаны, как правило, с поднятыми крыльями активных разрывов. Конкретные тектонические условия формирования опасных экзогенных процессов определяются существованием двух разновозрастных и кардинально различных структурных планов: доновейшего и новейшего (рис. 1) [2]. Не вдаваясь в детали их различий, важно отметить, что доновейшие разрывы практически утратили свою подвижность, но сопровождаются довольно мощными зонами дробления и повышенной трещиноватости. На смежных территориях было установлено, что ширина разрывных зон активных разрывов обычно колеблется в пределах 70-100 м и только у наиболее крупных (региональных) достигает 150 м и более [3]. Смещения по активным разрывам могут нарушать устойчивость инженерных сооружений.

Комплекс параметров: высокогорный и среднегорный рельеф, умеренно-влажный климат с холодной зимой и продолжительным прохладным летом, умеренные осадки, мощный снежный покров, сильные горно-долинные ветры, развитие временных инфильтрационных вод, скальный и реже полускальный характер слагающих исследуемую территорию горных пород создает благоприятные условия для развития в основном физического, а на высотах более 1500 м и морозного выветривания. Реже встречаются начальные процессы химического выветривания [4].

На северном склоне хребта Аибга развиваются в основном глыбовый, щебнисто-глыбовый и селективный типы кор выветривания, чему способствует литологический состав развитых здесь пород, высотная зональность и неравномерная крутизна склонов. На водораздельных и уплощенных участках преобладают коры с полным профилем. Глубокое эрозионное расчленение благоприятствует развитию довольно мощного профиля выветривания, который в среднем достигает 10-30 м, а вдоль тектонических нарушений и более 50 м. В нижней части склона в области развития флишевых пород нижней и средней юры широким распространением пользуется селективная кора выветривания. В глинистых породах развивается щебнисто-глыбовый или полный профиль выветривания, в скальных – глыбовый. Инфильтрация атмосферных

вод по трещинам глыбовой подзоны скальных пород размягчает подстилающие породы. При благоприятных условиях глыбовая подзона скальных пород может деформироваться из-за понижения прочности подстилающих более интенсивно выветрелых глинистых пород.

Обычно породы разбиты плоскостями трещиноватости на отдельные блоки, объемом от 0,5 м³ до нескольких десятков кубометров. Размеры блоков уменьшаются по мере увеличения степени выветривания, дезинтегрируясь вначале на глыбы, а затем на крупный и далее мелкий щебень. Трещины часто раскрыты, местами они частично заполнены иллювиальной глиной. Наличие крупных трещин с глинисто-щебнистым заполнителем значительно снижает устойчивость отдельных блоков [5].

На исследованной территории из гравитационных процессов на склонах наибольшим развитием пользуются осыпание, обвалообразование, отседание и оползание.

Для развития осыпей одним из условий образования является наличие щебнисто-глыбового профиля выветривания, развитого в основном на скальных породах порфиритовой толщи средней юры. Закрепленные растительностью (древние) и активные (современные) осыпи в верхней части бассейнов малых рек и по крутым склонам пользуются повсеместным распространением. Очаги осыпания приурочены к оголенным участкам склонов. Мощность осыпных накоплений 25-30 м, уклон поверхности осыпных шлейфов – 25-35°. В осыпях ведущей фракцией является дресва, но в некоторых древних осыпях преобладает щебнистый материал [1].

В пригребневой части склона хорошо развита глыбовая подзона коры выветривания. Здесь породы выветрелы до такой степени, что создается впечатление плохо уложенной искусственной сухой кладки, где сейсмические сотрясения могут стать причиной обвально-осыпных процессов. Наблюдается определенная приуроченность осыпе- и обвалообразования в верхней части северного склона хребта к поднятому крылу активного Чхалтинского регионального сброса и к осложняющему это крыло Восточноаибгинскому циркуобразному сбросу.

В нижней части склонов в результате более интенсивного выветривания тонкослоистых флишевых пород создается ломаный профиль склона почти с вертикальной стенкой в верхней части. На таких склонах возникают трещины бортового отпора и начинается отседание блоков на склоне, переходящее в дальнейшем в оползень-обвал. У базисов оползания часто прослеживается разгрузка подземных вод. Обваливание и скатывание обломков в русло рек приводит к аккумуляции селеобразующего материала.

К нижней части склона в породах терригенного флиша верхней юры часто приурочены оползни различного генезиса и механизма образования. Для крупных блоковых оползней общим базисом оползания является долина реки Мзымты. Встречается большое количество оползней с локальными базисами оползания, которыми служат эрозионные врезы второстепенных временных и постоянных водотоков на склоне хребта Аибга, а также перегибы рельефа, связанные с селективным выветриванием.

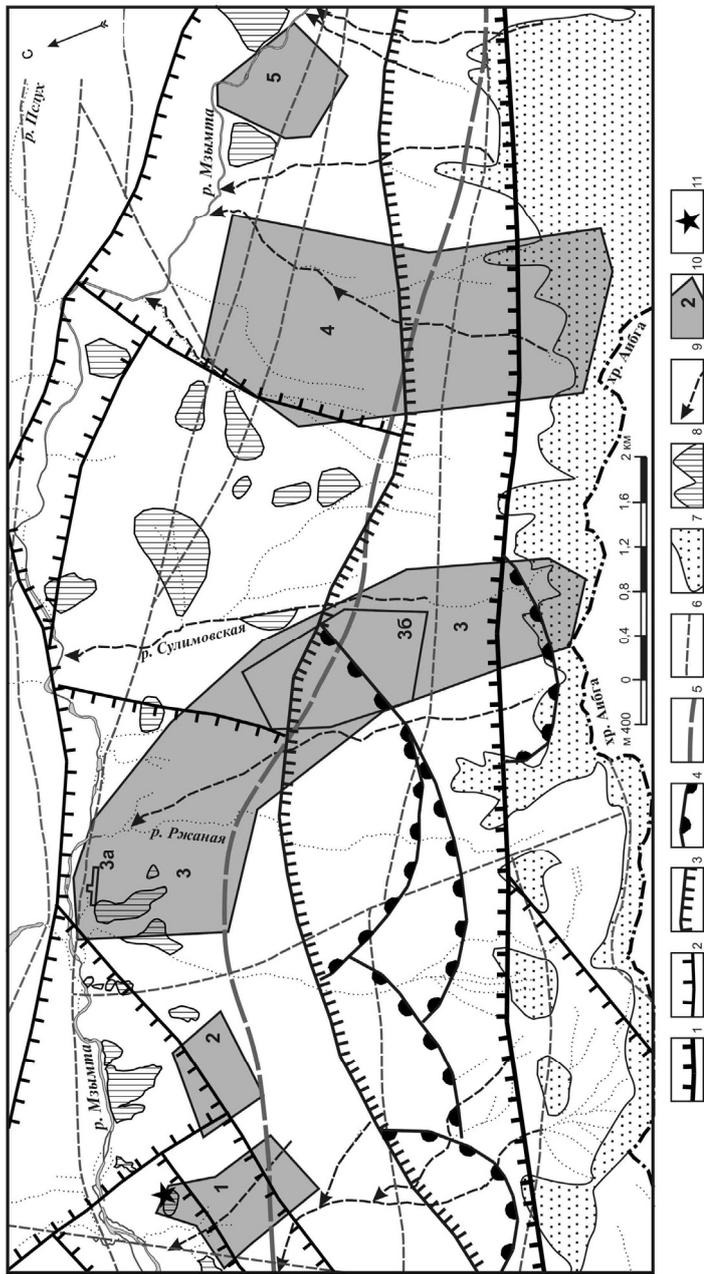


Рис. 1. Опасные геологические процессы на северном склоне хр. Аигба, в районе размещения основных Олимпийских объектов:

1-6 – тектонические нарушения: 1-4 – новейшие активные разрывы; 1 – региональный Чхалтинский сброс, 2 – локальные сбросы, 3 – взбросо-надвиг, 4 – циркуобразные сбросы; 5-6 – доновейшие не активные разломы: 5 – региональный Краснополянский, 6 – локальные; 7-9 – места проявления современных экзотенных процессов: 7 – обвално-осыпных, 8 – оползневых, 9 – селевых; 10 – участки основных Олимпийских объектов (1 – трамплины, 2 – горно-туристический центр “Карусель”, 3 – лыжный комплекс “Альпика-Сервис”, 3а – ж/д станция “Альпика-Сервис”, 3б – фристайл-центр, 4 – горнолыжный центр, 5 – биатлонный комплекс), 11 – сейсмопрофиль-1.

Нижняя и средняя части склонов хр. Аибга залесены буко-грабом. Корневая система деревьев является естественной защитой устойчивости склонов. Массовая вырубка лесов при строительстве приводит к оголению склонов с мощной корой выветривания, в которой активизируются экзогенные геологические процессы, приводящие к снижению устойчивости склонов.

Для изучения кор выветривания эффективны геофизические методы. В качестве примера приведены результаты сейсмопрофилирования на нижнеюрских породах в районе строительства комплекса горных трамплинов. Здесь выявлена характерная зональность в коре выветривания. В гребневой части в обнажениях прослеживается полный профиль коры выветривания мощностью порядка 20 м. В дресвяно-щебнистой и мелкощебнистой частях коры выветривания сформировалось оползневое тело. На сейсмопрофиле 1 (рис. 2) представлен график изменения скорости распространения упругих колебаний, характеризующий оползневой склон. Мощность оползневого тела около 10 м. Примерно с 16 м прослеживается скрытотрещиноватая кора выветривания.

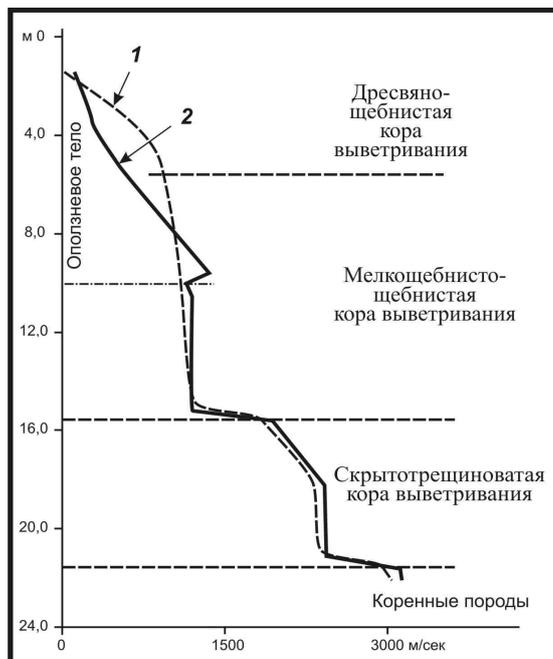


Рис. 2. Графики скоростей распространения упругих колебаний в коре выветривания пород терригенного флиша:
1 – ненарушенной,
2 – осложненной оползневыми процессами (сейсмопрофиль 1)

Большинство осваиваемых территорий горного кластера Олимпийских объектов (номера) пересечены активными разрывами различных порядков и кинематических типов (сбросы, взбросо-надвиги, циркуобразные сбросы).

Необходимо отметить, что зоны тектонических нарушений характеризуются не только повышенной трещиноватостью, но и повышенной обводненностью, что необходимо учитывать при разработке проекта организации строительства.

Условия строительства основных олимпийских объектов не одинаковы. Большинство осваиваемых территорий (1, 2, 3, 3б, 4) пересечены активными разрывами. Зоны тектонических нарушений характеризуются не только повышенной трещиноватостью, но и повышенной обводненностью. Нижняя и средняя части склонов залесены буко-грабом. Корневая система деревьев является естественной защитой устойчивости склонов. Массовая вырубка лесов при строительстве приводит к оголению склонов с мощной корой выветривания, в которой активизируются экзогенные геологические процессы, приводящие к снижению устойчивости склонов. Все это необходимо учитывать при разработке проекта организации строительства.

Таким образом, детальное изучение кор выветривания горных пород дает возможность определить характер гравитационных смещений для каждого генетического комплекса горных пород и прогнозировать их проявления с учетом тектонических и морфологических особенностей местности. Такой прогноз актуален не только при строительстве ответственных инженерных сооружений, но и в период их эксплуатации.

Литература

1. Арешидзе Г.М., Джавахишвили Э.А., Вадачкoria О.А., Иосебидзе Д.Г. Роль тектоники в формировании оползней и селей на территории Грузии // Гидрогеология и инженерная геология в народнохозяйственном освоении территории Грузии. – Тбилиси, Мецниреба. 1988. – С. 102-105.
2. Несмеянов С.А. Неоструктурное районирование Северо-Западного Кавказа (опережающие исследования для инженерных изысканий). – М.: Недра, 1992. – 254 с.
3. Несмеянов С.А., Боголюбова Н.П., Воейкова О.А., Миндель И.Г. Активные разрывы и разрывный крип на горной части трассы магистрального трубопровода «Голубой поток» // Геоэкология. – 2003. – № 5. – С. 387-404.
4. Осипов В.И., Мамаев Ю.А., Вадачкoria О.А., Ястребов А.А. Формирование и оценка инженерно-геологических условий территории строительства Олимпийских объектов горного кластера в Адлерском районе г. Сочи // Геоэкология. – 2011. – № 1. – С. 3-12.
5. Djavakishvili E.A., Vadachkoria O.A., Khimshishvili M.G. Erection of surface structures within rock weathering zone with the example of Georgia // Proc 6th International Congress International Association of Engineering Geology, Amsterdam, 6–10 August 1990V3. Publ Rotterdam. P. 1837-1840. International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences & Geomechanics Abstracts Volume 29. Issue 3. May 1992. Pages A145.

НЕКОТОРЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ АРХЕОЛОГИЧЕСКИХ ПАМЯТНИКОВ СЕВЕРО-ЗАПАДНОГО КАВКАЗА

О.Е. Вязкова

МГРИ-РГГРУ, 117997 Москва, ул. Миклухо-Макляя, 23, E-mail: geomusik@yandex.ru

К настоящему времени имеется опыт инженерно-геологических исследований археологических памятников Краснодарского и Ставропольского краев, а также Карачаево-Черкесии на протяжении 17 лет.

В историческом, в частности археологическом, аспекте инженерная геология изучает взаимодействие хозяйственной деятельности человека с геологической средой в самых разных ракурсах: от устойчивости отдельных сооружений до обеспеченности территории строительными материалами и сырьем, от оценки условий водоснабжения объектов до проблем сохранения и музеефикации археологических памятников в условиях естественного ландшафта.

При инженерно-геологических исследованиях археологических памятников в первую очередь определяются возможные цели изучения. В большинстве случаев археологов интересуют очень узкие и немногочисленные конкретные задачи, они не всегда представляют себе подлинные возможности коллег-естественников. Поэтому инженеру-геологу зачастую приходится самому формулировать и предлагать цели и задачи исследований, которые могли бы помочь наиболее полно ответить на археологические запросы.

Цели инженерно-геологических исследований определяются исходя из типа памятника, степени его сохранности, расположения, перспектив сохранения, использования и дальнейшего изучения. В регионе исследовались инженерно-геологические условия создания, эксплуатации и сохранения городов, селищ и могильников различных культур.

Практически все памятники региона находятся на момент обнаружения в руинированном состоянии. Сотни и тысячи лет, прошедшие после их создания разными народами, в течение которых здесь хозяйничали кочевники и турки, проходили русско-турецкие, кавказские, гражданская и Великая Отечественная войны, привели к значительным потерям историко-культурного наследия. Кроме этого, на многих участках ведется интенсивная современная хозяйственная деятельность (строительство дорог, ирригационных систем, нефте- и газопроводов, объектов Сочинской Олимпиады, глубокая распашка под виноградники) или развиваются экзогенно-геологические и эндогенные процессы (абразия, оползни, землетрясения). Все это очень затрудняет поиск и детальное обследование сохранившихся элементов прежних сооружений и мест поселений [4].

У памятников, находящихся в Причерноморье, существует свой комплекс инженерно-геологических проблем, сопровождающих их возникновение, функционирование и сохранение в «постэксплуатационный» период. Для объектов, расположенных на побережье Черного моря, это, главным образом, развитие экзогенно-геологических и сейсмических процессов.

Сложность геологического строения прибрежной зоны обусловлена интенсивной складчатостью и разломами, что влечет за собой нарушение сплошности, структуры пород прибрежной зоны и создает благоприятные условия для их абразионного разрушения.

Скорость разрушения коренных пород и формы абразии зависят от многих факторов и, в первую очередь, от состава пород. По осредненным темпам абразии клифов большая часть Кавказского побережья Краснодарского края относится к зонам слабой (до 0,1 м/год) абразии [1, 6]. Следует, однако, отметить, что рядов наблюдений за абразией клифов, достаточных для выявления закономерностей процесса в пределах изучаемой территории до настоящего времени нет. Имеющиеся количественные данные по средним темпам развития процесса базируются, в основном, на сопоставлениях разновременных (с интервалом в несколько лет или десятилетий) локальных примеров, инструментального сравнения аэрофотоснимков, картографических материалов и т.д.

Все сказанное выше, относится к клифу, сложенному дочетвертичными породами (преимущественно полускальными). Однако на отдельных бухтовых участках, в приустьевых частях рек имеются невысокие береговые уступы, сложенные рыхлыми четвертичными отложениями. Скорость разрушения их под воздействием волнения очень большая и достигает 6-8 м/год (бухта у п. Дивноморск в сильные штормы 1969-70 гг.) [6].

Памятники, расположенные на побережье (поселение Мысхако [3], могильник в Лобановой щели [2]), страдают и разрушаются преимущественно процессами абразии и оползнями. Расчеты для этих памятников показали, что за прошедшие 2 тыс. лет берег отступил на 400-600 м, а в некоторых местах и более. Прибрежные города азиатского Боспора на Таманском полуострове (Гермонасса, Фанагория, Патрей, Киммерий, Корокондама) располагаются уже на совершенно других, слабых песчано-глинистых неогеновых породах. Здесь береговые процессы имеют иной характер и большую интенсивность. В этой ситуации сложно предложить какое-либо техническое решение для их сохранения, так что ведущиеся здесь охранные раскопки представляются единственным реальным способом сохранения хотя бы информации.

В пределах низких террас Кубани (городища Борисенков лиман, Красная Батарей) ситуация значительно более стабильная, и кроме подтопления и погребения некоторых частей памятников под современными осадками памятникам ничего не угрожает.

В предгорных и горных районах Кавказа (Кисловодская котловина, городища на реках Гечепсин, Кяфар и Мзымта) на сохранность памятников в значительной степени влияют выветривание, гравитационные процессы

и эрозионная деятельность водотоков, вызванные современными неотектоническими движениями.

Для территории Кисловодской котловины был выполнен анализ закономерностей расположения различных типов памятников (могильники, городища, поселения и пр.), принадлежащих разным культурам, в зависимости от инженерно-геологических условий. Статистическая обработка информации о более чем 600 памятников выявила чёткие предпочтения древнего населения в выборе мест проживания, погребения, сельскохозяйственной деятельности. Это позволяет давать прогнозы по расположению ещё не обнаруженных памятников в археологически малоизученных районах котловины.

В ряде случаев возможны музеефикация археологических памятников и включение их в туристические маршруты. Однако при реконструкции, реставрации и подготовке к музеефикации памятников, изученных нами в разных регионах страны, был допущен ряд технологических просчетов, анализ которых позволил разработать некоторые принципы проведения подобных работ [5]: исторический подход, наглядность, сохранность, идентичность условий, моделирование взаимодействий, недопустимость техногенных нагрузок, технологичность.

Северо-западный Кавказ богат разновозрастными памятниками, несущими информацию о существовавших здесь культурах. Применение методов инженерной геологии к решению археологических задач повышает информативность и достоверность исследований, проводимых на исторических территориях.

Литература

1. *Абрамов С.Е. и др.* Результаты изучения условий развития и режима ЭГП в пределах Азово-Черноморского побережья Краснодарского Края. – 1989.
2. *Вязкова О.Е.* Палеорекострукция геоморфологической обстановки античной эпохи в окрестностях мыса Малый Утриш // Историко-краеведческий альманах. Вып. 5. – Армавир-Москва, 1999. – С. 52-58.
3. *Вязкова О.Е., Дмитриев А.В., Малышев А.А.* Поселение Мысхако – юго-восточный форпост Боспора / Проблемы истории, философии, культуры. Вып. X. – Москва – Магнитогорск: изд. Магнитогорского ун-та, 2001. – С. 188-227.
4. *Вязкова О.Е.* Инженерно-геологическое изучение археологических памятников п-ова Абрау // Изв. Вузов. Геология и разведка. – 2002. – № 5. – С. 96-105.
5. *Вязкова О.Е.* Опыт и перспективы инженерно-геологических исследований при музеефикации памятников археологии // Софійські читання. Матеріали III міжнародної науково-практичної конференції «Памятки Національного заповідника «Софія Київська» та сучасні тенденції музейної науки» (Київ, 24-25 листопада 2005р.). – Київ: «Академперіодика», 2007. – С. 447-452.
6. *Шеко А.И., Круподеров В.С., Дьяконова В.И., Мальнева И.В.* Обобщение материалов и составление прогноза изменения береговой полосы Черного моря на период до 2000 года. – П. Зеленый, 1987.

МЕТОДИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКОГО КАРТИРОВАНИЯ ТЕРРИТОРИИ РОСТОВСКОЙ ОБЛАСТИ

А.В. Гридневский

Ростовский государственный строительный университет, 344000 г. Ростов-на-Дону,
ул. Социалистическая, д. 162. E-mail: st119@ya.ru

Территориальное развитие крупных регионов неотвратимо вовлекает геологическую среду в техногенные преобразования. Возникающие или активизирующиеся инженерно-геологические процессы способны нанести урон устойчивому развитию территории. Выявление геологических опасностей и управление ими позволяет минимизировать последствия их негативных проявлений. Оценка опасностей включает несколько этапов: картирование неблагоприятных геологических процессов, оценка уязвимости геологических объектов, определение возможного ущерба и риска, выработка решений по их нейтрализации [1].

Для отображения геологических опасностей традиционно разрабатываются карты распределения интенсивностей факторов, порождающих стресс в геологической среде. При наличии соответствующего мониторинга строятся карты фактического проявления опасностей. Совместное исследование карт позволяет выяснить причинно-следственные связи геологических процессов и оценить уязвимость геологических объектов.

Технология построения карт заключается в выборе интервалов значений отображаемых параметров, их нормировании и разбиении на классы. Указанные процедуры выполняются таким образом, чтобы рост значений параметров и номеров классов совпадали с увеличением опасности.

Картирование геологических опасностей крупных регионов выполняется в условиях неопределенности, поскольку имеющая геологическая информация неравноценна и распределена по площади неравномерно. В этом случае изыскиваются возможности повышения ее качества. При описании режима подземных вод применяется моделирование, позволяющее использовать системные параметры геологической среды и повысить достоверность сведений о режиме подземных вод. Для картирования смещений земной поверхности и степени их водонасыщения привлекаются данные глобального мониторинга, получаемые методом дистанционного зондирования Земли.

Территория Ростовской области расположена на стыке докембрийской Русской платформы и эпигерцинской Скифской плиты. Южная часть Русской платформы осложнена рядом крупных структур: Воронежской антеклизой, Прикаспийской синеклизой и Ростовским сводом. Скифская плита также включает крупные элементы деформаций – Донецкий выступ и вал Карпинского. Территория Ростовской области охватывает несколько артезианских бассейнов: Приволжско-Хоперский, Донецко-Донской, Восточно-Донецкий, Ергенинский, Азово-Кубанский и Северо-Каспийский.

Геологическая история и условия литогенеза территории определяют развитие широко распространенных опасных инженерно-геологических процессов: овражно-балочной эрозии, просадочных деформаций лессовых грунтов, суффозии, оползней, подтопления, засоления грунтов, оседании поверхности подработанных территорий, переработке берегов рек, водохранилищ и моря.

В РГСУ разрабатываются карты геологических опасностей и уязвимости геологических объектов Ростовской области. С этой целью в среде ArcGIS разработаны комплекты тематических слоев для территорий Восточно-Донбасской агломерации, Волгодонской системы расселения [2]. Их разработка продолжается для остальных четырех внутриобластных районов.

Все комплекты включают общие блоки слоев и специальные слои. Первые насыщены информацией, необходимой для описания большинства геологических процессов, вторые – отражают их специфические особенности.

Блок «геология» содержит сведения о геологическом строении коренных горных пород, их литологии и геотектонике, а также о составе и строении четвертичных отложений. Блок «гидрогеология» включает информацию о параметрах водоносных горизонтов, численные гидрогеологические модели, сведения о гидрографической сети, а также модели динамики уровней грунтовых вод, разработанные по данным дистанционного зондирования Земли и режимным наблюдениям. Блок «геоморфология» содержит цифровую модель рельефа и ее производные (уклоны местности, аспекты склонов), генетические типы отложений и др.

Для исследования отдельных геологических процессов разработана серия специальных карт: морфологии поверхности коренных горных пород, мощности четвертичных отложений, мощности лессовых грунтов и их суммарной просадки от собственного веса, влажности приповерхностных слоев грунтов, контуров и площадей водосборных бассейнов, техногенной деятельности (виды землепользования, источники техногенного питания подземных вод, подземные горные выработки, объекты инженерной защиты берегов и др.), распределение растительности, атмосферные осадки, морфодинамические факторы (направление и приземная скорость ветра). Тематические слои служат для оценки интенсивности опасных факторов, дестабилизирующих геологические объекты.

На следующем этапе определяется уязвимость геологических объектов. Как правило, эта операция предшествует оценке потерь, возникающих в техногенной среде. В результате, фокус исследований часто смещается с геологической составляющей задачи. Нередко, вместо уязвимости определяют чувствительность или потерю устойчивости объектов [3].

Уязвимость является функцией и зависит от свойств геологических объектов и влияния внешнего по отношению к ним окружения. Она описывает пространство перехода объектов из одного стабильного состояния в другое. Конечное состояние характеризуется набором параметров, например комплексом физико-механических свойств, структурной целостностью. Мо-

дели уязвимости необходимы для решения задач пространственной локализации критических изменений геологической среды.

В технике уязвимость чаще описывается Гауссовской кривой, соответствующей математической функции экспоненциального типа:

$$y = 1 - a * (e^{-b*x}) / (1 + e^{-b*x}), X = x^c$$

где y – функция уязвимости; a, b, c – параметры, рассчитываемые для фиксированных граничных условий, x – напряжения в объекте по отношению к раздражающим факторам. Функция уязвимости меняет свои значения от нуля до единицы. Указанный выше вид функции применен для описания уязвимости техногенных объектов в условиях сейсмической опасности [4.5].

Подобная функциональная связь проявляется и в природных объектах в ходе геологических процессов. Как правило, она имеет нелинейный характер. На первой стадии процессов функция меняется незначительно, что соответствует устойчивости объектов при малых воздействиях раздражителей. На второй стадии проявляются экспоненциально возрастающие трансформации, способные привести к деструктивным нарушениям. На третьей стадии объекты настолько изменяют свои качества, что оказываются инертными по отношению к дестабилизирующим факторам. Изменение параметров функции порождает семейство кривых, соответствующих поведению разных типов геологических объектов (рис. 1). Примером такой динамики является смещение оползней, реализация просадочных деформаций, развитие овражно-балочной эрозии, абразия, переработка берегов водохранилищ и др.

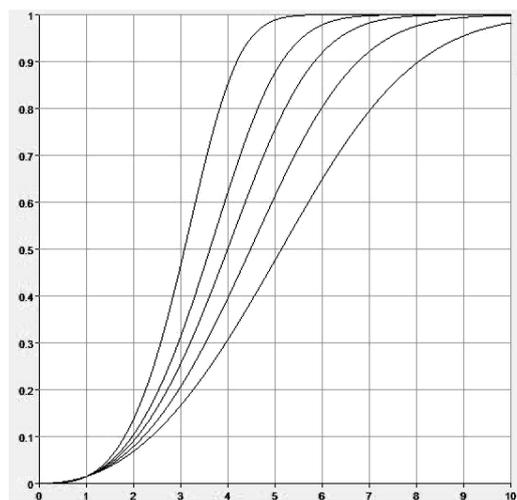


Рис. 1. Семейство функций уязвимости для разных типов опасных геологических процессов

Общий подход в оценке параметров уязвимости заключается в нескольких шагах. Первоначально область исследования дискретизируется. Далее, разрабатываются таблицы интенсивности (агрессивности) негативных факторов, охватывающих весь диапазон их влияния. Выполняется оценка ответной реакции геологических объектов. В условиях неопределенности и недостаточной изученности территории возможны рейтинговые оценки их состояния. С этой целью разработаны макеты таблиц «фактор-стресс». Идентификация параметров функций уязвимости основывается на изучении закономерностей природных процессов, включая их моделирование.

Получаемые результаты позволяют для выбранного комплекса геологических факторов можно построить карту уязвимости геологических объектов. Карты, построенные для временных срезов, отражают динамику уязвимости. На основе частных карт уязвимости формируется интегральная карта, в которой ранжированные значения параметров суммируются и характеризуют территорию с точки зрения широкого спектра распространенных на ней опасностей. Геологический риск и ущерб определяются на основе частных значений функции уязвимости, поскольку ее область охватывают все пространство изменения объектов.

Предложенный подход позволяет выполнять имитационное моделирование, обеспечивающее информацией об уязвимости геологической среды и нарастающем геологическом риске. Таким образом, реализуется комплексный подход к геоэкологической оценке состояния территорий.

Литература

1. *Осипов В.И.* Природные опасности и стратегические риски в мире и в России // Экология жизнь. – 2009. – № 11/12. – С. 6-16.
2. *Гридневский А.В.* Цифровые модели геологической среды как основа стратегического территориального планирования территорий Ростовской области // «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 года) – М.: РУДН, 2012. – С. 90-95.
3. *Fuessel H.-M.* *Vulnerability: A generally applicable conceptual framework for climate change research* // *Global Environmental Change*. – 2007. – № 17. – P. 155–167.
4. *Pascale S., Sdao F., Sole F.* A model for assessing the systemic vulnerability in landslide prone areas // *Hazards Earth Syst. Sci.* – 2010. – № 10. – P. 1575–1590.
5. *Tamura H., Yamamoto K., Tomiyama S., Hatono I.* Modeling and analysis of decision-making problem for mitigating natural disaster risks // *European J. Operational Research*. – 2000. – Vol. 122. – № 2. – P. 461–468.

ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ ЗОНАЛЬНОСТЬ УРАЛА

О.Н. Грязнов

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

Предложенное И.В. Поповым региональное ранжирование инженерно-геологических таксонов складчатых поясов [6] требует уточнения в части их корреляции с региональными геологическими структурами. На примере Уральского складчатого пояса может быть предложен вариант ранжирования таксонов инженерно-геологического районирования складчатых поясов в зависимости от масштабов региональных структур (таблица).

Таблица

Объекты инженерно-геологического районирования	Региональные структуры	Примеры структур
Инженерно-геологическая провинция	Складчатый пояс	Уральский складчатый пояс
Инженерно-геологический регион	Региональные структуры I порядка	Поднятия (Центрально-Уральское), прогибы (Тагило-Магнитогорский)
Инженерно-геологическая область	Региональные структуры II порядка	Мегантиклинории (Верхотурско-Верхисетский), мегасинклинории (Алапаевско-Теченский)
Инженерно-геологическая подобласть	Региональные структуры III порядка	Антиклинории (Мурзинско-Адуйский), синклинории (Свердловский)
Инженерно-геологический район	Структуры IV порядка	Антиклинали (Адуйская), синклинали (Сухоложско-Каменская)

Инженерно-геологическая зональность таксонов любого уровня подчинена геолого-структурной и эпигенетической (метаморфической, рудно-метасоматической и гипергенной) зональности. Отдельные аспекты этой проблемы рассмотрены в работах [3, 4, 5]. В поперечном сечении Уральской инженерно-геологической провинции с запада на восток выделены инженерно-геологические регионы: Западно-Уральский, Центрально-Уральский, Главный Уральский, Восточно-Уральский и Зауральский.

Западно-Уральский регион сложен преимущественно палеозойскими осадочными комплексами пород. Основное значение в структуре региона имеют крупные перемещения шарьяжного типа вдоль всего западного склона

Урала, сопровождающиеся интенсивной линейной складчатостью, либо системами пологих моноклиналей и сдвоенных разрезов.

Главнейшими структурами **Центрально-Уральского** региона (Центрально-Уральского поднятия (ЦУПа) по [1]) являются разнопорядковые антиклинории и синклинории. Антиклинории сложены докембрийскими комплексами. Древнейшие для Урала архейско-раннепротерозойские глубокометаморфизованные отложения слагают Тараташский выступ фундамента платформы – основание складчатого пояса. Нижнепротерозойские комплексы выявлены в Уфалейском (Средний Урал) и Харбейском (Полярный Урал) гнейсово-мигматитовых комплексах. Антиклинорные структуры сложены гнейсами и кристаллическими сланцами. Сочетание поднятий и прогибов обуславливает геологическую и инженерно-геологическую анизотропию ЦУПа. На севере региона это Полярно-Уральский мегантиклинорий, представленный Оченырдно-Манитанырдым на западе и Нундерминско-Харбейским на востоке антиклинориями, разделенными Талота-Пайпудынским грабен-синклинорием с ордовик-силурийским комплексом отложений. Ляпинско-Кутимский мегантиклинорий Приполярного Урала к югу сменяется структурами Кваркушко-Каменогорского мегантиклинория, а на Среднем Урале – Билимбаевско-Шунутского мегасинклинория. На Южном Урале Башкирский и Уфалейско-Уралтауский мегантиклинории разделены Зилаиро-Эмбинским мегасинклинорием.

Главный Уральский регион (Тагило-Магнитогорский прогиб) протянулся на 2300 км от Байдарацкой губы на Полярном Урале до южного окончания Западных Мугоджар. Он представлен серией крупных мегасинклинорных структур, сложенных вулканогенными и резко подчиненными им осадочными комплексами ордовика – среднего карбона, вмещающими интрузивы ультраосновного, основного и кислого (гранитоидного) состава. Естественной западной границей региона является Главный Уральский глубинный разлом. Восточная граница более сложная и фиксируется серией кулисных глубинных разломов второго порядка. Одним из них на Среднем Урале служит Серовско-Маукский разлом. Согласно К.П. Плюснину [1], одной из главных особенностей региона является широкое развитие конседиментационных кольцевых вулкано-тектонических структур и связанных с ними малоглубинных интрузивных и субвулканических тел габбро-гранитоидного ряда.

Восточно-Уральский регион поднятий и сопряженных прогибов – сложное горно-складчатое сооружение, состоящее из ряда положительных (антиклинорных) и отрицательных (синклинорных) структур второго порядка. В поднятиях обнажены глубокометаморфизованные рифейско-раннепалеозойские гнейсово-сланцевые комплексы с плутонами гранитоидов, а в прогибах – осадочно-вулканогенные образования силурийско-каменноугольного возраста. Внутри палеозойских синклинорных структур широко распро-

странены крупные массивы гипербазитов и базитов, слагающие прибортовые части прогибов и фиксирующие зоны глубинных разломов. Базит-гипербазитовые формации прогибов обуславливают их фемический металло-генический профиль, а гранито-гнейсовые и гранитные комплексы – салический металлогенический профиль поднятий.

Чередование в широтном плане антиклинорных и синклинорных структур формирует региональную поперечную геологическую и инженерно-геологическую зональность региона. На Среднем Урале с запада на восток сменяются: Верхотурско-Верхисетский мегантиклинорий – Медведевско-Свердловский мегасинклинорий – Сосьвинско-Коневский мегантиклинорий – Алапаевско-Теченский мегасинклинорий. Их границами служат глубинные разломы второго порядка: Серовско-Маукский, Пийско-Петрокаменский, Мурзинский, Сусанско-Асбестовский. На Южном Урале поперечная зональность обусловлена сменой Сысертско-Ильменогорского мегантиклинория Арамилско-Сухтелинским мегасинклинорием, а затем Сосьвинско-Коневским мегантиклинорием и Алапаевско-Теченским мегасинклинорием. В меридиональном направлении поднятия составляют серии кулисообразно или четкообразно взаимосвязанных структур. Выступы гранито-гнейсовых комплексов в осевой части региона формируют Главный гранитный пояс Урала. С севера на юг сменяются: Яблыньинский, Салдинский, Сосьвинско-Коневский, Талдыкско-Кайрактинский и Текельды-Тауский выступы.

Зауральский регион прогибов и остаточных поднятий граничит на западе с Восточно-Уральским регионом через систему Долматовско-Камышловских разломов. Он имеет отчетливое блоковое строение и характеризуется крупными синклинорными и антиклинорными структурами. Активный базальтоидный вулканизм в пределах пояса сопровождался габбро-гранитоидным интрузивным магматизмом и был сосредоточен в Александровско-Денисовской и Валерьяновской негативных структурах. В первой проявлены силурийские, во второй – каменноугольные комплексы. В позитивных структурах вскрыты более древние кембрийско-ордовикские комплексы. Палеозойские отложения перекрыты сплошным мощным чехлом мезозойско-кайнозойских осадков.

Главнейшие структурно-тектонические зоны Урала различаются глубинным строением, геологией и структурно-вещественными комплексами. Прямым следствием этого является специфичность их инженерно-геологических особенностей.

Обобщенная схема поперечной (с запада на восток) региональной метаморфической зональности Урала имеет вид [3]: начальный метаморфизм цеолитовой и пренит-пумпеллиитовой фаций, зеленокаменный метаморфизм пренит-пумпеллиитовой и зеленосланцевой фаций породных комплексов Западно-Уральского региона – сиалический плутонометаморфизм гнейсово-мигматитовых комплексов эпидот-амфиболитовой, амфиболитовой фаций

ядра и зеленосланцевой фации сланцевого обрамления в антиклинорных структурах – зеленосланцевый метаморфизм в синклинорных структурах Центрально-Уральского региона – симатический (фемический) плутонометаморфизм габбро-гипербазитовых комплексов Платиноносного пояса – зеленокаменный метаморфизм уровня зеленосланцевой фации осадочно-вулканогенных комплексов Тагильского и Магнитогорского прогибов Главного Уральского региона и синклинорных структур II порядка Восточно-Уральского и Зауральского регионов с наложенным зеленосланцевым метаморфизмом – сиалический плутонометаморфизм и гранитоидный плутонизм антиклинорных зон – зеленокаменный метаморфизм уровня зеленосланцевой – пренит-пумпеллиитовой фации и начальный метаморфизм цеолитовой фации вулканогенно-осадочных ассоциаций Алапаевско-Теченского мегасинклинория с локальным распространением зеленосланцевого метаморфизма Восточно-Уральского региона. Эта картина усложняется проявлением наложенного сиалического плутонометаморфизма на площади развития симатического, зеленокаменного и зеленосланцевого метаморфизма прибортовых частей синклинорных структур, линейным развитием дислокационного метаморфизма на уровне фации зеленых и глаукофановых сланцев в тектонически напряженных зонах региональных разломов.

С магматической и метаморфической зональностью связана региональная метасоматическая зональность. Метаморфогенно-метасоматической зональности гнейсово-мигматитовых комплексов подчинено размещение рудоносных метасоматических формаций антиклинорных зон, обусловленных сиалическим плутонометаморфизмом [2]. Магматогенно-метасоматическая зональность отличается сложной картиной. Внутренние зоны поднятий с гранитоидным плутонизмом характеризуются развитием полевошпатовых метасоматитов, альбититов, карбонатитов с наложенной аргиллизацией. Граничные разломы антиклинорных структур контролируют распространение грейзеновой, лиственит-березитовой, серпентинитовой и аргиллизитовой формаций. Краевым частям синклинорных структур свойственно образование уралитовой, пропилитовой и лиственит-березитовой формаций. Внутренние структуры прогибов контролируют развитие пропилитовой, кварц-хлорит-серицитовых метасоматитов, оксеталитовой, лиственит-березитовой, гумбеитовой и аргиллизитовой формаций.

Примером проявления структурно-вещественной, метаморфической и рудно-метасоматической зональности может служить Полярно-Уральская инженерно-геологическая область Центрально-Уральского региона, представленная Полярно-Уральским мегантиклинорием (рис. 1)

Структурно-вещественные комплексы Урала формируют соответствующие инженерно-геологические комплексы [3]. Среди них по инженерно-геологическим условиям дифференцируются: массивы скальных, в различной степени трещиноватых интрузивных горных пород (гранитоидов, сиенитов,

диоритов, габброидов, дунитов, гарцбургитов, перидотитов, пироксенитов); массивы скальных, в различной степени трещиноватых metabазитов и метакристаллических сланцев, амфиболитов; массивы слоистых вулканогенных, вулканогенно-терригенных и терригенно-вулканогенных горных пород, претерпевших зеленокаменный метаморфизм; массивы карстующихся карбонатных горных пород; сланцевые зоны (сиалического, зеленосланцевого и дислокационного метаморфизма); массивы рудоносных метасоматитов: (1) скальных, относительно устойчивых в коре выветривания (полевошпатовых, альбитовых, уралитовых, мусковит-полевошпатовых, кианит-силлиманит-мусковит-кварцевых, рутил-кварцевых, родонитовых); (2) скальных, неустойчивых в коре выветривания (известково- и магнезиально-скарновых, грейзеновых, гумбеитовых, серпентинитовых, железо-магнезиальных карбонатных, пропилитовых, оксеталитовых, листовит-березитовых, эйситовых, карбонатитовых, кварц-хлорит-серицитовых, вторично-кварцитовых, гематит-магнетит-кварцевых, антофиллитовых, кварцево-хрусталеносных); (3) неустойчивых в скальных массивах (аргиллизитовых, тальк-магнезитовых); интенсивно дислоцированные в зонах тектонических нарушений горные породы с развитием линейных кор выветривания. На всех массивах горных пород Среднего Урала развивается элювий.

В поперечной инженерно-геологической зональности Уральского складчатого пояса месторождения полезных ископаемых занимают вполне закономерное положение [4]. Месторождения хромитов, титаномагнетитов, платины, редких металлов, эндогенного керамического сырья и мусковита, кианита, родонита локализованы в устойчивых интрузивных и метаморфических горных породах скальных массивов. Медноколчеданные, медно-цинковоколчеданные, медно- и молибден-порфиновые, скарновые магнетитовые и медные, молибденовые, вольфрам-молибденовые, бериллиевые, золоторудные, хризотил-антофиллит-асбестовые месторождения и ряд других размещены в метасоматически измененных скальных породах различного происхождения, подверженных активным процессам химического выветривания. К особой группе неустойчивых в скальных массивах и особенно в коре их выветривания принадлежат золото-аргиллизитовые месторождения, талька и талькового камня, аметиста, агата-переливта. Гипергенные месторождения окисно-силикатного никеля в обводненной глинистой коре выветривания относятся к весьма сложным в инженерно-геологическом и гидрогеологическом отношении объектам.

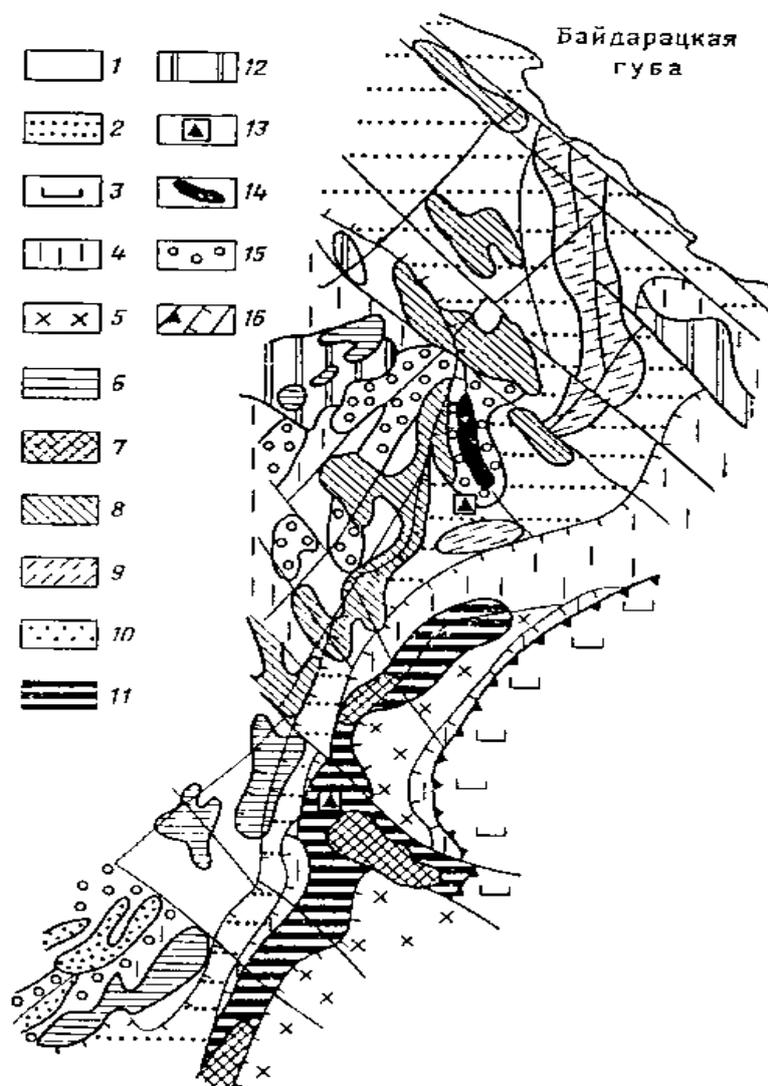


Рис. 1. Геолого-структурная, метаморфическая и рудно-метасоматическая зональность Полярно-Уральской инженерно-геологической области Центрально-Уральского региона в границах Полярно-Уральского мегантиклинория. По В.В. Григорьеву, О.Н. Грязнову, В.А. Елохину, В.И. Чеснокову [2]

Геологические формации и метаморфизм: 1-3 – *верхний структурный этаж*: 1-2 – миогеосинклинальные уралиды Талота-Пайпудынского грабен-синклинория: 1 – елецкие фации – известняково-песчано-алевролитовая ($O_{2,3}$), алевролит-песчаная ($O_{1,2}$) формации; зеленосланцевый метаморфизм эпидот-хлоритовой субфации с реликтами зеленокаменного метаморфизма пренит-пумпеллиитовой фации; 2 – лемвинские фации – известняково-песчано-алевролитовая ($O_{1,2}$), песчано-глинисто-алевролитовая углеродистая (O_{1-2}), натровых базальтов-риолитов (O_{1-2}), натровых базальтов (O_{1-2}), трахибазальтовая (E_1-O_1) формации; зеленосланцевый метаморфизм эпидот-хлоритовой, хлорит-серицитовая субфаций с реликтами зеленока-

менного метаморфизма пренит-пумпеллиитовой фации; 3 – эвгеосинклинальные уральды Щучьнского синклинория – дунит-перидотитовая формация серпентинизированная (O-S); 4 – *средний структурный этаж*, эвгеосинклинальные доуральды (байкалиды) Малокарского и Харбейского горст-антиклинориев – базальт-риолитовая (V-Є). базальт-андезит-дацитовая (R₃-V), глинисто-песчано-алевролитовая (R₂₋₃), натровых базальтов-риолитов (R₂₋₃) формации; зеленосланцевый метаморфизм актинолит-эпидот-хлоритовой субфации (метабазиты) и эпидот-мусковитовой субфации (метапелиты); 5 – *нижний структурный этаж*: догеосинклинальные комплексы (карелиды) Харбейского горст-антиклинория – мигмантит-гранитная, алеврит-глинисто-песчаная, метабазальтовая (PR₁) формации; сиалический плутонометаморфизм амфиболитовой и эклогитовой фаций.

Рудоносные метасоматические формации: 6 – 10 – миогеосинклинальные уральды: орогенные формации: 6 – гидрослюдистых метасоматитов в связи с трахибазальт-трахириолитовой формацией PZ₂₋₃; 7 – альбититовая в связи с аляскитовой (гранитовой) формацией (PZ₂₋₃); нерасчлененные орогенные – инверсионные формации: 8 – лиственит-березитовая в связи с трахибазальт-трахириолитовой (PZ₂₋₃) и габбро-диорит-гранодиоритовой (D₂-C₁) формациями; геосинклинальные формации: 9 – пропилитовая и лиственит-березитовая в связи с формациями натровых базальтов – риолитов, натровых базальтов (O₁₋₂) и габбро-диабазовой (O₃-S₁); рифтогенные формации: 10 – лиственит-березитовая в связи с трахибазальтовой и диабаз-пикритовой формациями эвгеосинклинальных уральд (байкалид); орогенные формации: 11 – грейзеновая в связи с гранит-лейкогранитной формацией (PZ₁?), 12 – лиственит-березитовая в связи с базальт-риолитовой формацией (V-Є₁); инверсионные формации: 13 – известковых скарнов в связи с габбро-диорит-гранодиоритовой формацией (R₃-V), 14 – оксеталитовая в связи с габбро-диорит-гранодиоритовой и базальт-индезит-дацитовая формациями (R₃-V); геосинклинальные формации: 15 – пропилитовая и кварц-хлорит-серицититовых метасоматитов в связи с формацией натровых базальт-риолитов (R₂₋₃); разрывные нарушения: 16 – Главный Уральский разлом, взбросо-надвиги и разломы II – III порядка

Литература

1. Геологическое строение и металлогения Урала / Золотов К.К., Рапопорт М.С., Попов Б.А. и др. – М.: Недра, 1981 – 256 с.
2. Грязнов О.Н. Рудоносные метасоматические формации складчатых поясов. – М.: Недра, 1992. – 256 с.
3. Грязнов О.Н. Инженерно-геологическая зональность средней части Восточно-Уральского пояса поднятий и сопряженных прогибов // Гидрогеология, инженерная геология и геоэкология месторождений полезных ископаемых: информационные материалы. – Екатеринбург: Изд-во УГГГА, 1994. – С. 19-21.
4. Грязнов О.Н., Дубейковский С.Г. Закономерности формирования инженерно-геологических условий месторождений Урала. – Екатеринбург: Изд-во УГГГА, 1995. – 32 с.
5. Дубейковский С.Г., Грязнов О.Н. Инженерно-геологическое районирование Урала // Сергеевские чтения. Вып. 3. – 2003. – С. 159-162.
6. Попов И.В., Терешков Г.М. Региональное инженерно-геологическое описание Урало-Новоземельской горной страны. Инженерная геология СССР. Т. 5. Алтай, Урал. – М.: Изд-во МГУ, 1978.

ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ИЗЫСКАНИЯ ЖЕЛЕЗНОЙ ДОРОГИ ПОЛУНОЧНОЕ–ОБСКАЯ

А.А. Губарьков¹, С.Н. Окунев², Н.М. Лесковский²

1-ТюмГНГУ, г. Тюмень. E-mail: agubarkov@rambler.ru

2- ООО «НПО Фундаментстройаркос», г. Тюмень

Опыт эксплуатации железных дорог в криолитозоне в России составляет более 100 лет, в Западной Сибири – менее полувека. В зоне распространения многолетнемерзлых грунтов (ММГ) имеются участки железной дороги (ж.д.), криогенные процессы на которых проявляются постоянно или периодически многие десятилетия [6, 9]. Длина железных дорог, проложенных в условиях ММГ, составляет 6600 км, из них 15% находится под постоянным воздействием криогенных процессов (деформаций). Их выявление в естественных условиях или возможная активизация в период эксплуатации определяются при инженерно-геологических изысканиях, а в последующем при проведении геокриологического мониторинга.

В рамках мегапроекта Урал промышленный – Урал Полярный планируется строительство ж.д. Полуночное–Обская, которая должна пройти вдоль восточного склона Урала. С юга на север она пересечет три геокриологические области. При проведении инженерно-геологических изысканий установлено, что ж.д. от станции Полуночное (нулевой километр) до 444 км проходит по сезонномерзлым грунтам, далее залегают редкоостровные, островные, массивноостровные и сплошные ММГ. Полученные данные отличаются от полученных ранее, краткий обзор которых приводится ниже.

Закономерности распространения и криогенного строения ММГ вблизи их южной границы на северо-западе Западной Сибири и предгорий Урала приводятся в ряде работ [1, 2, 3, 4, 8]. Г.И. Дубиков и Л.М. Шмелев [4] в начале 70-х гг. прошлого века провели детальные мерзлотные исследования в бассейнах рек Малая Сосьва, Пунга, Сыскосынья, Пелым. По их мнению, основными причинами развития ММГ и криогенных процессов в этих районах является сочетание ряда природных условий. Наиболее важными из них являются: отрицательная многолетняя среднегодовая температура воздуха; глинистый и торфяной состав и большая увлажненность грунтов верхнего горизонта; темнохвойные густые леса, затеняющие поверхность грунта и снижающие (примерно на 2 –4°С) температуру поверхности до температуры приземного слоя воздуха; мохово-лишайниковый напочвенный покров мощностью до 30 см, охлаждающий грунт в темнохвойном лесу на 2°С.

В связи с пограничным положением между Уралом и Западной Сибирью, рассматриваемая территория обладает своеобразными закономерностями распространения сезонномерзлых и многолетнемерзлых грунтов. Согласно ранее проведенным исследованиям [3,4,8] практически вдоль всей ж.д. распространены островные ММГ. До Широты п. Саранпауль (64°15'с.ш.) рас-

пространены редкоостровные ММГ, далее до верхнего течения р. Хулга – массивноостровные. Согласно схеме распределения среднегодовых температур пород северо-западной части Западно-Сибирской плиты [8] показано, что вдоль Уральского хребта проходит полоса пород с температурами от +1 до -0,5 °С до широты р. Яныманья (297 км ж.д.; 63°29'с.ш.). Севернее температуры пород понижаются до +0,5 ... -2,0 °С. От р. Яныманья до устья р. Хулга массивы мерзлоты с более низкими температурами грунтов расположены в виде островов. Севернее устья р. Хулга температуры грунтов понижаются до 0,0 ... -2,0 °С, т.е. мерзлота становится массивноостровной и сплошной.

В.Т. Трофимовым [8] отмечается отсутствие ММГ на восточном склоне Урала на широтах, в которых в долине р. Оби они повсеместно встречаются. Южная граница островной криолитозоны начиналась в поймах р. Пелым и р. Тапсуй на 62°с.ш. [3]. Наиболее южные острова ММГ исследованы в 1970-1975 гг. в бассейнах рек Пунги, Малой Сосьвы, Вогулки, Тапсуя [8], что соответствует 100-110 км ж.д. (62°с.ш.). Севернее они были развиты на различных геоморфологических уровнях как в долинах рек, так и на водораздельных поверхностях. Массивы ММГ занимали небольшие (не более 10% территории) участки. В большей степени они были распространены на высокой пойме, I и II надпойменных террасах, в оврагах и логах, меньше – на III озерно-аллювиальной террасе и водораздельных поверхностях. Мерзлые грунты приурочены преимущественно к торфяным массивам и, нередко, с обширными участками частого по площади чередования мерзлых и талых грунтов.

Согласно материалам ранее проведенных исследований, инженерно-геокриологические условия района строительства ж.д. существенно различаются в зависимости от продвижения с юга на север [3]. Наибольшей сложностью они отличаются в местах развития торфяных мерзлых массивов с активным развитием на них термокарстовых и в меньшей степени пучинных процессов. Наиболее благоприятные условия для освоения отмечаются в районах с относительно дренированными тальми песчаными грунтами, хотя и здесь, при освоении территории необходим учет значительных глубин промерзания таких грунтов. Основные трудности проведения строительства, особенно линейного, обусловлены в области значительной увлажненностью территории и активными процессами болотообразования.

Необходимо отметить, что за последние десятилетия произошли существенные климатические изменения на севере Западной Сибири, вследствие чего происходят температурные изменения грунтов. Проводимые исследования показывают, что в этих условиях температура ММГ повышается, а их южная граница смещается на север [7]. По имеющимся данным [5.], на севере Европейской территории России произошло существенное сокращение площади приповерхностной вечной мерзлоты. По сведениям Н.Г. Обермана [5], имевшиеся ранее острова мерзлого грунта в наиболее южных районах полностью протаяли, южная граница ее распространения сместилась к северу на 30-40 км в Печорской низменности, и значительно больше – до 80 км, – на равнинах Приуралья. Помимо этого возникли многочисленные новые и углу-

бились ранее существовавшие талики, в том числе и в зоне, где ранее наблюдалось сплошное распространение ММГ. Данные мониторинга указывают также на почти повсеместно повышение температуры ММГ, которое в отдельных районах на глубинах 10-15 м достигало 1-1,5°C, и на активизацию термокарста. Эти наблюдения согласуются с произошедшим за последние 35 лет потеплением в регионе [5].

По результатам инженерно-геологических изысканий для строительства железной дороги Обская–Полуночное, проведенных ООО НПО «Фундаментстройаркос», получены новые данные о современном распространении ММГ вдоль восточного склона Урала. Изыскания начаты на р. Няйс, приток Северной Сосьвы, (62°53'16"с.ш., 60°11'06"в.д.) и закончены на р. Хулга (65°21'41", с.ш., 62°21'00" в.д.). Всего пробурено 1113 скважин глубиной до 10 м. Согласно материалам буровых работ установлено, что сезонномерзлые породы распространены по коридору отвода земель ж.д. на расстоянии 247 км. Севернее на расстоянии 150 км залегают ММГ. Для определения физико-механических свойств грунтов отобрано 608 проб.

Выявленные инженерно-геологическими изысканиями на северном участке ММГ, согласно геокриологическому районированию [5], соответствует Зауральской геокриологической области Игарко-Харампуровской подзоны (444-594 км ж.д.). В Хулга-Обской и Северно-Сосьвинской геокриологических областях, установленная ранее [3, 8], островная мерзлота не обнаружена. Первые ММГ встречены в долине р. Манья (444 км ж.д.; 64°23'13"с.ш., 60°44'10"в.д.). Первые, самые южные, массивы ММГ чередуются с тальми (сезонномерзлыми) грунтами, вероятно, с заглубленной кровлей ММГ. Для области характерно совместное распространение многолетне- и сезонномерзлых пород с различными по протяженности участками как тех, так и других.

В 2008 г. первая скважина, вскрывшая мерзлые породы, находилась на 260 км севернее от описываемых ранее первых проявлений ММП [3, 4, 8]. Мерзлые породы перекрыты слоем торфа и моховым покровом мощностью не менее 0,3 м. Глубина протаивания сезонноталого слоя (СТС) составляла 3,0 м.

Измерение глубины СТС часто затруднялось близким залеганием крупнообломочного материала. Средняя глубина осадочных дисперсных пород в области распространения ММП составляет 2,5 м, максимально – 5,1 м. Дисперсные породы представлены песками, супесями, суглинками и глинами с различным содержанием грубообломочного материала и подстилаются коренными скальными породами.

Глубина протаивания пород СТС с юга на север уменьшается от 3,0-3,5 м на границе распространения современных ММП до 0,5-1,2 м на самом северном из пройденных участков проектируемой железной дороги. Максимальная глубина СТС характерна для песчаных пород на возвышенных, дренированных поверхностях. Минимальное протаивание грунтов СТС происходит на торфяных массивах с мощностью торфяной залежи 0,5 м и более.

Состав и свойства грунтов определены по 608 пробам. Установлено, что их физико-механические свойства с юга на север постепенно изменяются. Переходная зона от сезонномерзлых грунтов к ММГ характеризуется наиболее существенными изменениями. Это относится как к современной границе ММГ, так и к границе, которая существовала ранее.

Породы в твердом и пластичном состоянии в зоне распространения сезонномерзлых пород встречаются в четыре раза чаще пород, находящихся в текуче-пластичном и текучем состоянии. В зоне распространения ММП их соотношение практически равно, то есть происходит уменьшение на 35% встречаемости пород находящихся в твердом и пластичном состоянии. Увеличение встречаемости грунтов в текучепластичном и текучем состоянии происходит более чем в 2 раза.

Наиболее существенные изменения состава грунтов происходят в результате заболачивания, увеличения площадей торфяных массивов и оторфованных грунтов. Встречаемость органических грунтов увеличивается более чем в три раза. В зоне сезонномерзлых пород минеральные грунты, залегающие на поверхности, преобладают над торфом и оторфованными грунтами на 22%. В зоне ММГ встречаемость торфа увеличивается и он преобладает на поверхности почти в четыре раза больше, чем минеральные дисперсные грунты.

В переходной зоне от сезонномерзлых грунтов к ММП процентное отношение пылеватой фракции в песчаных и глинистых грунтах существенно возрастает. Пылеватые грунты обладают тиксотропными свойствами, что снижает их прочностные свойства в талом состоянии. Одними из основных видов деформаций земляного полотна железных дорог являются осадки и расползание насыпей на оттаивающих ММГ. Не менее распространенным является сезонное и многолетнее пучение пылеватых и глинистых грунтов.

Выводы

1. По результатам инженерно-геологических изысканий установлено, что вся проектируемая трасса железной дороги характеризуется близким залеганием скальных грунтов. Средняя глубина минеральных (дисперсных) и органических грунтов составляет 2,5 м.

2. Несомненно, осложнят строительство и эксплуатацию железной дороги многолетнемерзлые грунты. На северном участке выявлены островные и массивноостровные многолетнемерзлые грунты.

3. Редкоостровная и островная мерзлота в двухкилометровой зоне планируемой железной дороги обнаружена на 260 км севернее от ранее выявленной границы распространения в 60-70 гг. прошлого века. Современная граница массивноостровной мерзлоты смещена на 30-40 км севернее от ранее выявленной.

4. Свойства грунтов характеризуются резкими изменениями их физико-механических свойств при переходе от зоны сезонномерзлых к зоне многолетнемерзлых грунтов. С поверхности увеличивается встречаемость торфа и оторфованных грунтов, так как фильтрация поверхностных и грунтовых вод

ограничивается сезонноталым слоем. Увеличивается пылеватость грунтов, что усиливает их пучинистые и тиксотропные свойства. Также происходит увеличение встречаемости грунтов, находящихся в естественных условиях в текучем и текучепластичном состоянии.

Литература

1. Васильчук Ю.К. Современное положение южной границы зоны многолетнемерзлых пород Западно-Сибирской низменности // Криосфера Земли. – 2013. – Т. XVII. – № 1. – С. 17–27.
2. Васильчук Ю.К., Васильчук А.К., Буданцева Н.А., Чиждова Ю.Н. Миграционные бугры пучения на Севере Западной Сибири: южный и северный пределы ареала и современная динамика // Инженерная геология. – 2012. – № 3. – С. 18–32.
3. Геокриология СССР. Западная Сибирь / Под ред. Э.Д. Ершова. – М.: Недра, 1989. – 456 с.
4. Дубиков Г.И., Шмелев Л.М. Многолетнемерзлые грунты у южной границы их распространения между Уралом и р. Обью // Труды ПНИИИС. Вып. 49. – М., 1976. – С. 86–110.
5. Оберман Н.Г. Глобальное потепление и изменения криолитозоны Печоро-Уральского региона // Разведка и охрана недр. – 2007. – № 4. – С. 63–68.
6. Основы геокриологии. Инженерная геокриология Ч. 5 / Под ред. Э.Д. Ершова. – М.: Изд-во МГУ, 1999. – 526 с.
7. Павлов А. В., Малкова Г.В. Мелкомасштабное картографирование трендов современных изменений температуры грунтов на севере России // Криосфера Земли. – 2009. – Т. XIII. – № 4. – С. 32–39.
8. Трофимов В.Т., Груздов А.В., Лобов Е.П., Фирсов Е.П. Основные закономерности распространения, температуры и мощности многолетнемерзлых пород северо-запада Западно-Сибирской плиты // Природные условия Западной Сибири. Вып. 7. – 1980. – С. 85–96.
9. Хрусталева Л.Н., Пармузин С.Ю., Емельянова Л.В. Надежность северной инфраструктуры в условиях меняющегося климата. – М.: Университетская книга. 2011. – 260 с.

ПРИМЕНЕНИЕ ТЕРМОДИНАМИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ДЛЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ КАРСТООБРАЗОВАНИЯ

Ю.В. Гусев, Н.Н. Акинфеев, А.Б. Лисенков

ГБОУ ВПО Российский государственный геологоразведочный университет
имени Серго Орджоникидзе (МГРИ-РГГРУ), Москва, Россия. E-mail: skifolog90@mail.ru

Введение

Прогноз экзогенных геологических процессов в особенности карста – одна из важнейших задач инженерной геологии, гидрогеологии и гидрогеохимии. Актуальность её исследования увеличивается по мере усиления техногенного воздействия человека на экосистему. Образование карста может повлечь за собой катастрофические воздействия на основания зданий и со-

оружений (провалы, оседания, повреждения в фундаментно-подвальной части здания и т.д.).

Для прогнозирования неблагоприятного воздействия карста предлагается применить метод термодинамического физико-химического моделирования. В качестве объекта исследования рассмотрена территория строящегося Ковровского сталепрокатного завода, расположенного в 9 км к юго-востоку от г. Ковров (Ковровский район Владимирской области).

Владимирская область по пораженности карстом занимает одно из первых мест среди центральных областей Нечерноземья. Поверхностные проявления карста по уточненным данным известны на площади 16,1 тыс. кв. км, что составляет 55% территории области. По неполным данным за период с 1930 г. в области зафиксировано 58 случаев образования карстовых воронок и провалов. При этом имели место провалы в воронки жилых домов (1972 г. д. Расстригино), строений (1931 г. д. Ратьково) с человеческими жертвами [1].

Последний зафиксированный карстовый провал произошел 10 апреля 2013 года в п. Бутурлино Нижегородской области. В 02 часа 00 минут в ФКУ «ЦУКС ГУ» МЧС по Нижегородской области» по каналу связи «112» поступило сообщение о просадке грунта под жилым домом, а также под помещением, предназначенным под склад (рис. 1). В одном из домов, ушедших под землю в результате карстового провала, проживали четыре человека. Всего было эвакуированы 33 человека, в том числе восемь детей.

Произошедшие аварии, связанные с карстопроявлением, свидетельствуют, что часто применяемые методы исследования хотя и весьма информативны, но не позволяют эффективно прогнозировать и предотвращать возможность карстобразования.



Рис. 1. Карстовый провал в п. Бутурлино (2013 г.)

1. Постановка задачи

Предметом рассмотрения являются массивы карбонатных пород гжельского яруса верхнего карбона, залегающие на глубинах 10-20 и 50-60 м которые чаще всего, являются основанием для инженерных сооружений, или средой для размещения подземных коммуникаций в рассматриваемом районе. Выбор указанных интервалов актуален, в связи с тем, что они являются потенциально опасными с позиции карстообразования. В интервале 10-20 м отмечается контакт четвертичных и каменноугольных отложений и активное поступление атмосферных осадков, насыщенных по O_2 и CO_2 . На глубинах 50-60 м, залегают уровни подземных вод гжельско-ассельского водоносного комплекса, колебания которого способствуют карстообразованию и суффозии.

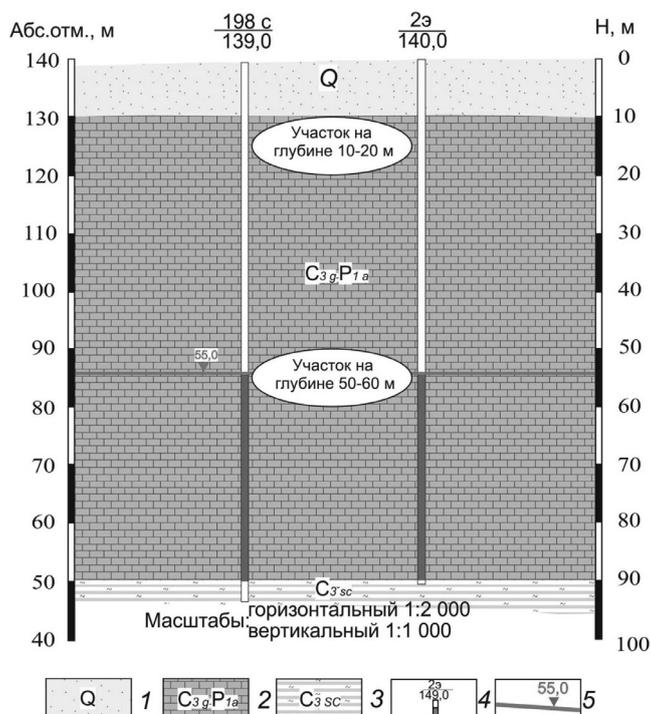


Рис. 2. Схематический геолого-гидрогеологический разрез по участку работ:

1 – четвертичный водоносный горизонт; 2 – водоносный карбонатный гжельско-ассельский комплекс; 3 – водоупорный шелковский терригенный горизонт; 4 – скважина разведочно-эксплуатационная (вверху номер ГВК, в знаменатели абс. отм. устья скважины); 5 – уровень гжельско-ассельского водоносного комплекса (цифра вверху уровень подземных вод)

Геологический разрез изучаемого массива до глубины 60 м представлен отложениями четвертичного и верхнекаменноугольного возрастов (рис. 2). Четвертичные отложения представляют собой комплекс водно-ледниковых и ледниковых отложений донского горизонта мощностью до 10 м. Верхнекаменноугольные образования сложены сильнотрещиноватыми и закарстованными, а также часто окремненными, белыми, доломитизированными известняками и светло-серыми доломитами с темно-серыми прослоями тонкозернистых глин, которые слагают основной (гжельско-ассельский – $C_{3g}-P_{1a}$) водоносный комплекс верхнего карбона [3]. Район исследований находится в зоне развития как древнего, так и сравнительно молодого карста.

Основной задачей численного эксперимента было определение равновесного фазового состава системы и сосуществующего с ней водного раствора при заданных элементном составе химической системы и внешних условиях (температура, давление, потенциалы вполне подвижных компонентов). Расчёт равновесных составов проводился с помощью программного комплекса HCh [2], предназначенного для исследования равновесий в мультисистемах.

Изменение состава раствора и породы в результате их взаимодействия при изменении внешних условий является основой для прогнозирования процесса карстообразования.

2. Исходные данные для физико-химического моделирования

Термодинамическая модель была основана на рассмотрении равновесий в 24-х компонентной системе (Al-Ba-Br-C-Ca-Cl-Cr-Cu-F-Fe-H-K-Li-Mg-Mn-N-Na-Ni-O-Pb-S-Si-Sr-Zn), включающей в себя 54 минеральные фазы и 149 компонентов водного раствора. Изучалось взаимодействие грунтовых вод и атмосферных осадков с породами карбонатного состава на разных глубинах. Вещественный состав карбонатных пород был определен в интервале глубин 10-20 и 50-60 м по результатам разведочного бурения на участке, отведенном под строительство Ковровского сталепрокатного завода [3], и представлен в табл. 1.

Таблица 1

Результаты вещественного состава известняков в вес. %

Глубина, м	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MnO	MgO	CaO	K ₂ O	CO ₂
10-20	4,5	0,64	0,60	0,80	0,09	18,5	29,8	0,14	45,0
50-60	3,2	0,02	1,70	0,41	0,02	7,70	42,0	0,10	44,8

Состав атмосферных осадков принят как средний для Владимирской области [1]. По химическому составу вода ультрапресная ($M=0,01$ г/л). По Курлову воды имеют хлоридно – сульфатно – гидрокарбонатный, кальциевый состав, $pH=5,8$.

Химический состав подземных вод гжельско-ассельского водоносного комплекса был принят по результатам лабораторных анализов проб воды [3].

По химическому составу вода пресная ($M=0,3$ мг/л) гидрокарбонатная магниевая-кальциевая, $pH=7$.

3. Взаимодействие карбонатных пород с атмосферными осадками на глубине 10-20 м

В первом варианте расчёта система рассматривалась закрытой по отношению к углекислоте и кислороду атмосферы, то есть атмосферные осадки, компонентный состав которых соответствуют табл.1 взаимодействовали с породами при условии постоянного количества поступившего в систему CO_2 и O_2 . Во втором варианте расчёта (открытая система) парциальные fugitivности газов CO_2 и O_2 принимались постоянными, равными их давлениям в атмосфере $f_{CO_2} = 3.3 \cdot 10^{-4}$ бар, $f_{O_2} = 0.21$ бар. Для выяснения влияния температуры на процессы карстообразования расчёт проводился при двух температурах 5 и 25 °С. Полученные в результате расчёта позволили рассчитать изменение объема породы в процессе взаимодействия вода-порода. Изменение объема породы при повышении температуры рассчитывалось по формуле:

$$\Delta V_{\text{пор.}} = \Sigma V_{\text{мин.}} (25^\circ\text{C}) - \Sigma V_{\text{мин.}} (5^\circ\text{C}) \quad (3.1)$$

где $\Sigma V_{\text{мин.}} (T)$ общий объем породы, равный сумме объёмов минералов её составляющих, при температуре T . По выполненным результатам видно, что увеличение температуры (от 5 до 25 °С) в обоих случаях открытой и закрытой системы приводит только к увеличению объёма породы, что отвечает кольматированию полостей в известняке, т.е. процесс карстообразования не наблюдается.

4. Взаимодействие карбонатных пород с подземными водами на глубине 50-60 м

Аналогичная методика была использована при моделировании взаимодействия карбонатных пород, залегающих на глубине 50-60 м, с подземными водами.

Результаты проведённого расчёта свидетельствуют, что увеличение температуры от 5 до 25 °С в закрытой системе приводит к незначительному увеличению объема твёрдых фаз (на 0,02%) и, таким образом, не способствует карстообразованию.

Второй вариант расчёта соответствует системе, открытой по отношению к атмосфере. В этом случае CO_2 и O_2 являлись вполне подвижными компонентами, а их парциальные fugitivности соответствовали атмосферным значениям. Рассчитанный минеральный состава системы остался тем же самым. При этом, однако, увеличение объема минеральных фаз составило 0,12% при изменении температуры от 5 до 25 °С.

Интересно сравнить также результаты расчётов в изотермических условиях для закрытой и открытой системы. «Открытие» системы по отношению к атмосфере уменьшает объем минеральной ассоциации на 2,4% при

температуре 5⁰С и на 2,9% при 25⁰С, т.е. способствует образованию пустот в породе и, тем самым, ведёт к карстообразованию.

Выводы

1. Для первого исследуемого интервала глубин (10-20 м) увеличение температуры не приводит к развитию карста: во всех исследуемых случаях происходит увеличение объема основных породообразующих минералов карбонатных пород, что отвечает кольматированию полостей в известняках.

2. Активизация карстового процесса прогнозируется во втором исследуемом интервале глубин (50-60 м) при появлении доступа CO₂ и O₂ в систему (переход от закрытой к открытой системе). В этом случае карбонатные породы могут быть подвержены процессу карстообразования, что вызовет осложнение при сооружении свайных фундаментов глубокого заложения.

Литература

1. *Чурадаев В.Н.* «Информационный отчет по ведению государственного мониторинга состояния недр на территории Владимирской области». – Владимир, 2012. – 126 с.
2. *Шваров Ю.В.* Nch: новые возможности термодинамического моделирования геохимических систем, предоставляемые Windows // ГЕОХИМИЯ. – 2008. – № 8. – С. 898-903.
3. *Янкин В.И.* Поисково-разведочных работ с оценкой запасов пресных подземных вод для технического водоснабжения строящегося Ковровского сталепрокатного завода в Ковровском районе Владимирской области. – М., 2011. – 157 с.

ГЕОДИНАМИЧЕСКИ АКТИВНЫЕ ЗОНЫ МОСКВЫ И ИХ ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКОЕ ЗНАЧЕНИЕ

А.Л. Дорожко, В.М. Макеев

Институт геоэкологии им. Е.М. Сергеева РАН, 101000 Москва, Уланский переулок, д. 13,
стр. 2, а/я 145. E-mail: a_dorozhko@mail.ru

Геодинамические и неотектонические исследования занимают все большее место среди областей наук, связанных с решением геоэкологических задач. В состав инженерно-геологических изысканий включаются исследования по неотектонике и современной геодинамике в связи с необходимостью оценки эндогенного фактора, как причины различных преобразований геологической среды. Основа для такого подхода была заложена Е.М. Сергеевым в связи с задачами картографирования крупных территорий. В начале 80-х годов им впервые была высказана идея об изменениях грунтовых и гидрогеологических условий под влиянием неотектонических движений [5].

Структурно-геодинамические и неотектонические исследования необходимы и востребованы для решения геоэкологических проблем при плани-

ровании развития густонаселенных, в том числе урбанизированных территорий, при размещении потенциально экологически опасных объектов нефтегазовой, атомной и других отраслей промышленности. Это связано с отсутствием информации о дифференциации современных движений земной коры по направленности, интенсивности, источнику деформаций в конкретной, часто малой, территории размещения этих объектов. На основании этой информации оцениваются сейсмический потенциал территории и прогнозируются амплитуды деформаций относительно сроков жизни экологически опасных сооружений. Подобные исследования особенно актуальны на платформенных территориях, где отсутствуют активные разломы в их классическом понимании, выявляемые в горно-складчатых поясах. Для платформ характерны малая скорость движений и незначительность амплитуд деформаций, которые не достаточны для образования разломов. Альтернативой разломам здесь являются геодинамически активные зоны (ГДАЗ) [3]. С ними связывается аномальная концентрация повышенных напряжений и деформаций, часто выраженные повышенной трещиноватостью горных пород; повышенная активность экзогенных процессов; водно-газовая проницаемость; локальная изменчивость физико-механических свойств пород.

Такие исследования связаны с трудностями методического характера, поскольку платформенные деформации и скорости движений очень малы, часто незначительны и размеры исследуемых территорий, поэтому использование инструментальных методов исследования проблематично. Для выявления неотектонических форм применяется структурно-геоморфологический и структурно-геодинамический анализ территории, анализ разновозрастных маркирующих (опорных) горизонтов, привлекаются результаты геологических, геофизических, гидрогеологических, космических и др. исследований. В результате составляются структурно-геодинамические карты урбанизированных территорий и территорий размещения потенциально экологически опасных объектов, отражающие современные и неотектонические структурные планы, определяются градиенты и скорости деформаций, выделяются геодинамически активные зоны, линеаментные зоны, зоны влияния древних разломов и т.д.

Такие исследования были проведены на территории Москвы в рамках крупномасштабного геологического картирования в 2007-2009 гг. В лаборатории эндогенной геодинамики и неотектоники под руководством В.И. Макарова была составлена «Структурно-геодинамическая карта г. Москвы» м-ба 1:25 000 [8]. При ее построении использован принцип связи отложений с формами рельефа: 1) аллювий пойм, первых и вторых террас отнесен к долинному комплексу; 2) водно-ледниковые отложения, включая Ходынскую террасу, причислены к склоновому комплексу; 3) моренные отложения возвышенностей отнесены к водораздельному комплексу. Долинный, склоновый и водораздельный комплексы отнесены к инженерно-геологическим массивам (ИГМ) второго ранга. ИГМ первого ранга – главные неотектонические поднятия и опускания.

В продолжение работ по структурно-геодинамическим исследованиям территории Москвы был проведен геодинамический анализ обширной территории включающей Москву, а так же анализ разновозрастных линейментов, на основании которых выделены региональные ГдАЗ.

Анализ геодинамических условий исследуемой территории бы проведен в рамках концепции глубинных геодинамических систем, выделенных по геолого-геофизическим данным, включающим характеристики геофизических полей, особенности строения земной коры и верхней мантии, сейсмичности, тектоники, современных движений и т.д. Впервые эти системы были предложены и описаны В.И. Макаровым [1,7], в большинстве последующих его работ концепция геодинамических систем получила свое дальнейшее развитие.

Исследуемая территория частично расположена в центральной части Смоленско-Дмитровско-Ветлужского вала – ГдАЗ первого ранга, на ее южной границе, а частично находится под воздействием напряжений, генерируемых Альпийской геодинамической системой. Это подтверждает анализ структурно-геоморфологического плана Московско-Нижегородского района Русской плиты, составленного В.И. Макаровым [1,4]. На этом плане Смоленско-Дмитровско-Ветлужский вал представлен его сегментом – Московско-Дмитровским или Клинско-Дмитровским поднятием. Клязьминская относительно опущенная зона является его южной границей и имеет значительную протяженность. Северная часть территории Москвы расположена в ее пределах. Южная и юго-восточная части Москвы относятся к Наро-Фоминскому поднятию и Мещерскому прогибу соответственно. Разделяет эти различные по морфологии и условиям образования структуры Москворецкая линейментная зона.

Наро-Фоминское поднятие, а так же Южно-Серпуховской прогиб имеют хорошо выраженное субширотное простирание. Они образовались, вероятно, под воздействием напряжений, наведенных с юга, со стороны Воронежской антеклизы. По данным А.И. Трегуба [6] для большей части новейшей структуры территории Воронежской антеклизы характерно субмеридионально сжатие и субширотное растяжение, что говорит о влиянии на нее Карпато-Кавказского сегмента Альпийской геодинамической системы. Западная часть территории Москвы принадлежит Мещерской низменности, части крупной платформенной структуры – Окско-Донского прогиба. Эта структура активно развивается на протяжении всего кайнозоя. В последнее время все больше поддержки находит точка зрения о присутствии здесь автономного источника деформаций, которым являются восходящие движения подкорового вещества, приводящие к устойчивому прогибу и растяжению верхней части земной коры. Таким образом, в пределах Москвы расположена территория, испытывающая устойчивое опускание и имеющая третий, независимый источник деформаций. Условия для образования новейших геодинамически активных зон создаются на границах неотектонических структур, имеющих различный рисунок и различные геодинамические условия образования. В данном слу-

чае, можно выделить две таких граничных зоны – это Клязьминский прогиб, разделяющий структуры Смоленско-Дмитровско-Ветлужского вала с южными областями Наро-Фоминского поднятия и Мещерского прогиба, и Москворецкая линеаментная зона, являющаяся границей между последними двумя структурами.

Москворецкая или Москворецко-Рязанская линеаментная зона протягивается на юго-восток от Москвы до Рязани и наследуется долинами рек Москва и Ока (на рязанском участке). В.И. Макаровым эта зона рассматривалась как структурно-предопределённая [7]. Кроме структурных признаков доказательством этому могут быть данные повторных GPS-измерений, проведенных в 2005-2010 гг. по треугольнику Коломна-Зарайск-Белоомут [2], который пересекает эту зону. Выполненные исследования доказали (и подтвердили) наличие в Москворецко-Рязанской линеаментной зоне правосдвиговых напряжений и деформаций растяжения, которые являются результатом влияния Карпато-Кавказского сегмента Альпийской геодинамической системы. Предполагается, что эта зона имеет не только сдвиговую, но и сбросовую составляющую, т. к. она разделяет относительно поднятый и устойчиво опускающийся блоки или объемы земной коры.

Таким образом, в пределах исследуемой территории выделяются две новейшие геодинамически активные зоны – Москворецкая (М) и Лихоборская (Л) (рис. 1). Поскольку для ГдАЗ характерна повышенная трещиноватость пород, для определения более точного их расположения был использован метод разновозрастного линеаментного анализа.

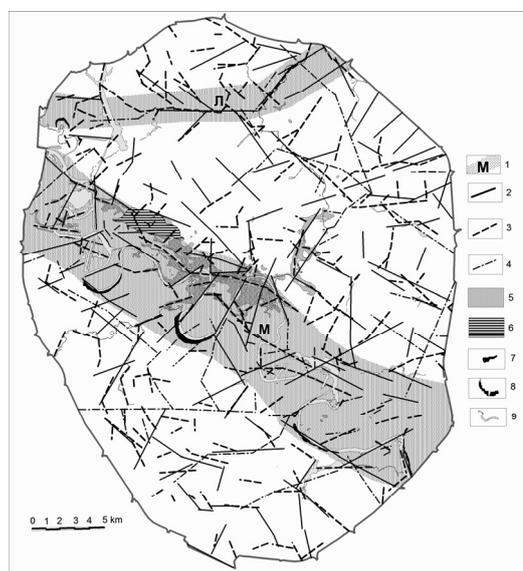


Рис. 1. Схема геодинамически активных зон и разновозрастных линеаментов Москвы:

- 1 – ГдАЗ (М – Москворецкая, Л – Лихоборская); линеаменты:
- 2 – по рельефу земной поверхности,
- 3 – по поверхности дочетвертичных отложений, 4 – по поверхности карбона;
- 5 – участки опасной категории распространения древних карстовых форм; 6 – участки опасной категории развития современных карстово-суффозионных процессов; оползни:
- 7 – крупные активные, 8 – крупные неактивные; 9 – гидросеть

Авторам представилась редкая возможность провести анализ не только поля современных линеаментов по рельефу земной поверхности (это было сделано ранее при крупномасштабном картографировании Москвы), но и поля бо-

лее древних линеаментов, выделенных по эрозионно-денудационной поверхности дочетвертичных отложений и по поверхности отложений карбона. Эти поверхности были построены в ИГЭ РАН по данным более чем 85 тыс. скважин в м-бе 1:10 000. По поверхности дочетвертичных отложений выделяются две разновозрастных палеодолины с многочисленными притоками, часть из которых имеют прямолинейный характер. Эта поверхность, перекрыта флювиогляциальными и гляциальными отложениями раннего плейстоцена, следовательно, скорее всего, по ней выделяются линеаменты, имеющие раннеплейстоценовый возраст. Большая часть их короткие, наиболее протяженные приурочены к главным долинам палеоврезов и имеют отчетливо выраженное северо-западное простирание. В северной части территории присутствуют достаточно крупные линеаменты субширотного простирания. Средние по размеру линеаменты имеют, как правило, северо-восточное простирание. Самые короткие распространены по всей территории и имеют различную ориентировку с преобладанием северо-восточного и субширотного простираний. Наиболее древняя из исследуемых поверхностей – это эрозионно-тектоническая поверхность карбоновых отложений. Она формировалась в течение длительного времени, начиная с конца гжельского яруса верхнего карбона и заканчивая байосским ярусом средней юры. Часть карбоновых отложений за этот период была размыта, при этом сформировалась так называемая Главная доюрская ложбина. Она расположена южнее погребенных эрозионных врезов раннеплейстоценового возраста и современного русла Москвы-реки и пространственно тяготеет к Павлово-Посадскому разлому фундамента. Кроме линеаментов, трассирующих Главную доюрскую ложбину и имеющих широтное простирание, выделены относительно крупные линеаменты северо-западного и северо-восточного простирания, а так же ряд более мелких линеаментов различной ориентировки. Линеаменты субмеридионального простирания полностью отсутствуют, очень мало субширотных линеаментов, за исключением самой доюрской ложбины, и приблизительно одинаковое количество линеаментов северо-западного и северо-восточного простирания.

По результатам анализа разновозрастных линеаментов было уточнено расположение Москворецкой и Лихоборской ГдАЗ. В большей степени это относится к современному и дочетвертичному линеаментным полям, т.к. в карбон-раннеюрское время поле напряжений, участвующее в создании сети линеаментов, видимо, значительно отличалось от неотектонического.

В пределах ГдАЗ могут развиваться экзогенные процессы, в том числе и опасного ряда, такие как карст, суффозия, оползни и т. д. Кроме того, вследствие повышенного водо- и газообмена здесь могут возникать геохимические и геофизические аномалии.

В Институте геоэкологии РАН в рамках крупномасштабного геологического картирования территории Москвы были составлены карта карстово-суффозионной опасности и карта подтопления и оползневой опасности. Отчетливо наблюдается пространственная приуроченность к ГдАЗ участка наи-

более опасной категории развития карстово-суффозионных процессов (95% площади их распространения расположены в пределах ГдАЗ) и воронок, а также опасной категории древних карстовых форм (79% площади их распространения расположены в пределах ГдАЗ). Кроме того, практически все крупные оползни (99% площади их распространения) приурочены к южной краевой части Москворецкой зоны. Последнее отчасти может объясняться тем, что Москворецкая зона является границей сочленения Наро-Фоминского поднятия и Мещерского прогиба.

Таким образом, выделение и изучение геодинамически активных зон платформенных территорий является важнейшей задачей для оценки геоэкологической безопасности, поскольку устанавливается причинно-следственная связь геодинамически активных зон с опасными экзогенными и эндогенными процессами. В этой связи крайне важно использовать результаты геодинамических исследований при инженерно-экологических изысканиях.

Литература

1. Макаров В.И. О региональных особенностях новейшей геодинамики платформенных территорий в связи с оценкой их тектонической активности // Недра Поволжья и Прикаспия. Спец. вып. 13. – Саратов, 1996, ноябрь. – С. 53-60.
2. Макаров В.И., Бойков В.В., Булаева Е.А. Опыт использования методов спутниковой геодезии (GPS) для изучения современных движений и деформаций земной коры платформенных территорий на примере Приокского района Русской плиты // Структура, свойства, динамика и минерагения литосферы Восточно-Европейской платформы. Мат-лы XVI Международ. конф. Воронеж, 20–25 сент. 2010 г. – Воронеж: ВГУ, 2010. – С. 33-39.
3. Макаров В.И., Дорожко А.Л., Макарова Н.В., Makeev В.М. Современные геодинамически активные зоны платформ // Геоэкология. – 2007. – № 2. – С. 99-110.
4. Москва: геология и город / Гл. ред. В.И. Осипов, О.П. Медведев, – М.: АО «Московские учебники и Картолитография», 1997. – 400 с
5. Сергеев Е.М., Герасимова А.С., Трофимов В.Т. Объяснительная записка к инженерно-геологической карте Западно-Сибирской плиты. М-б 1:500 000. – М., 1972. – 96 с.
6. Трегуб А. И. Неотектоника территории Воронежского кристаллического массива. – Воронеж: Изд-во ВГУ, 2002. – С. 220 (Тр. НИИ геологии ВГУ; вып. 9).
7. Юдахин Ф.Н., Щукин Ю.К., Макаров В.И. Глубинное строение и современные геодинамические процессы в литосфере Восточно-Европейской платформы. – Екатеринбург: УрО РАН, 2003. – С. 299
8. Dorozhko A., Makeev V, Korobova I. Structural and geodynamic researches of the urban territories on the example of the Moscow megapolis (Russia)/ 7th EUREGEO, Bologna, Italy. 2012.

ЗАКОНОМЕРНОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ СКЛОНОВЫХ ПРОЦЕССОВ НА ТЕРРИТОРИИ ГОРНОЛЫЖНОГО КОМПЛЕКСА «КАЗАНЬ»

Н.И. Жаркова, А.И. Латыпов

Казанский (Приволжский) Федеральный университет, 420008, Россия, г. Казань, ул. Кремлёвская, 4/5. E-mail: kazannad@rambler.ru, airatlat@mail.ru

В начале двухтысячных в Верхнеуслонском районе Республики Татарстан в 25 км юго-западу от г.Казань на крутом правом берегу р.Свияги, в её приустьевой части началось строительство уникального для Поволжья спортивного объекта – горнолыжного комплекса (ГК), которое сопровождалось активной перепланировкой склонов, возведением нескольких гостиничных комплексов, сооружением горнолыжных трасс и «горок» (5,5 км²). Позже, в 2005 г, на этой же территории началась значительная перепланировка склонов в связи со строительством поля для гольфа международного уровня [1].

В 2004 г, спустя год после начала строительства ГК на ранее устойчивых склонах начались активные оползневые деформации: в непосредственной близости от здания гостиницы в VIP-зоне комплекса, вдоль бровки западного склона основного горнолыжного спуска на протяжении около 200 м появились протяжённые трещины отрыва с вертикальным смещением грунта от 0,5 до 1,7 м, а ниже по склону зафиксирован вывал леса. В результате оползневого процесса был повреждён водовод, обслуживающий снеговые пушки, были повалены осветительные опоры вдоль горнолыжного спуска. Непосредственно здание гостиницы не пострадало, тем не менее, было зафиксировано обнажение фундамента здания. В оползневое смещение была вовлечена одна из строительных площадок, в связи с чем строительство нового гостиничного комплекса было приостановлено на стадии возведения фундамента [2].

В 2005 г ООО «Татинвестгражданпроект» на указанном участке была проведена оценка оползневой опасности с привлечением буровых работ, с выполнением комплекса лабораторных исследований грунта, но без количественной оценки устойчивости склона. Были названы следующие причины активизации оползней: увлажнение пермских аргиллитоподобных глин подземными водами, инфильтрация в массив большого объёма сточных вод, подрезка основания склона при строительстве дороги, вырубка деревьев на склоне [2].

Начиная с 2011 г, НПО «ГУП Геоцентр РТ» на территории горнолыжного комплекса были организованы четыре наблюдательных створа [3]. Проведённые в течение четырёх циклов инструментальные геодезические измерения показали смещение оползневых тел на некоторых участках более 6 м/год.

В 2012 г, в непосредственной близости от ГК в схожих инженерно-геологических условиях началось строительство новой IT-столицы России – города Иннополис. Для снижения геологического риска от склоновых процессов Министерством природных ресурсов Республики Татарстан было принято решение о необходимости проведения детальной оползневой съёмки на территории строящегося города и горнолыжного комплекса. В рамках этой работы Казанским федеральным университетом был проведён целый комплекс полевых и лабораторных исследований, позволивших выявить основные факторы формирования оползневых процессов. В частности была проведена оползневая съёмка масштаба 1:10000, в состав которой входили горно-проходческие и геофизические работы, определение физико-механических свойств грунтов и количественный краткосрочный прогноз развития склоновых процессов.

На стадии анализа работ предшественников (результаты геологической съёмки различного масштаба, многочисленных инженерно-геологических изысканий) была установлена видимая схожесть геолого-геоморфологических условий обеих территорий: территория г. Иннополиса и ГК приурочены к эоплейстоценовой эрозионно-денудационной поверхности выравнивания с максимальными абсолютными отметками 205 – 210 м, минимальные отметки приурочены к урезам рек Свияга и Сулица – 53 м. В верхней части геологического разреза приводораздельных участков принимают участие субгоризонтально залегающие пермские породы: преимущественно терригенные отложения P_{3sd} (доминируют мощные пачки косослоистых разнородных песчаников; алевролиты, аргиллитоподобные глины, известняки и мергели имеют подчинённое значение), а также терригенно-карбонатные отложения P_{2ur} (чередование известняков, мергелей, аргиллитоподобных глин, алевролитов, прослой песчаника – редки). С поверхности пермские отложения перекрыты маломощным чехлом четвертичных отложений (как правило, не более 4-х м) суглинисто-глинистого состава с незначительным содержанием дресвяно-щебнистого материала.

Тем не менее, несмотря на кажущуюся схожесть геологического строения, на значительно более пологих склонах территории горнолыжного комплекса (20° - 40°) активно развиваются оползневые процессы, тогда как на более крутых склонах (до 65°) г.Иннополиса лишь изредка наблюдаются осыпные процессы и незначительные локальные подпочвенные вязкопластические оползни.

Для выявления особенностей строения оползневого массива на территории ГК в тыловых частях оползневых тел, была заложена серия шурфов, вблизи бровок склона пройдено несколько скважин с отбором монолитов грунтов. В ходе исследований было установлено, что большая часть территории ГК ($1,7 \text{ км}^2$) имеет совершенно иное строение, чем представлялось ранее: верхняя 5 – 20 метровая толща сложена сильно дислоцированными породами P_{2ur} , реже P_{3sd} . Так в многочисленных шурфах и расчистках были вскрыты наклонно залегающие карбонатные породы (известняки и мергели), нередко разрушенные до состояния дресвяно-щебнистой массы, алевролиты и песча-

ники смятые в микроскладки, разбитые микрзеркалами скольжения, некогда аргиллитоподобные глины разуплотненные и перемятые (рис. 1).

Рис. 1. Дислоцированные карбонатно-терригенные пермские отложения, вскрытые в одном из шурфов на территории ГК «Казань». Белые и светло-серые породы – известняки, карбонатная мука с дресвой и щебнем, тёмно-серые – алевролиты и аргиллитоподобные глины, разрушенные до супесчано-суглинистой массы



Несмотря на значительную разрушенность и «запрокинутость» пород (в результате дислокаций сбросового типа), в массиве сохранилась стратиграфическая последовательность терригенных и карбонатных отложений. При этом азимут и угол падения пород, слагающих как свежие оползневые тела, так и недеформированные массивы не согласуются с масштабом и направленностью свежих оползневых смещений. Мы предположили, что имеем дело со старым оползевым массивом, формирование которого вероятно началось ещё в позднем неоплейстоцене с началом заложения долины правого притока р. Свияги – р. Сулицы: активное врезание водотока в карбонатно-терригенную толщу пермских отложений (глубина эрозионного вреза – 180 м) и последующая подрезка правого берега (согласно закону Бэра-Бабине) спровоцировали масштабные оползневые смещения. При бурении скважин на глубинах от 4,0м до 11,5 м была выявлена «зона скольжения» суглинисто-глинистого состава с многочисленными включениями крупнообломочного материала карбонатного состава. Мощность этой зоны в среднем составляет 0,9 – 1,5 м.

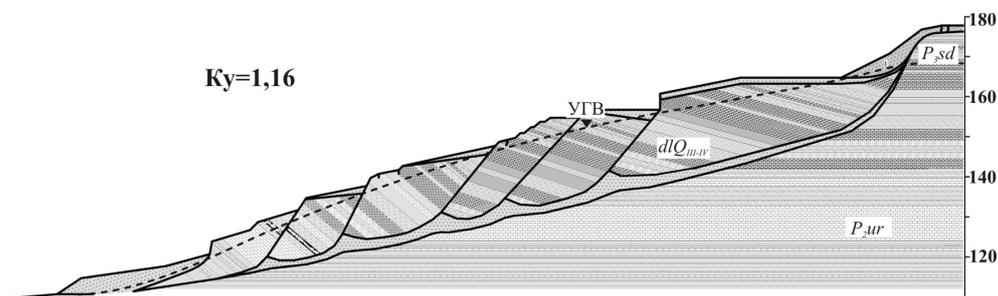


Рис. 2. Геологическое строение оползневого массива, расположенного в непосредственной близости от гостиницы в VIP-зоне горнолыжного комплекса «Казань» (створ 8Г).

Дополнительно проведённые геофизические исследования (микро-ВЭЗ, георадарная съёмка) позволили установить все детали строения оползневой массы: протяжённость зоны оползневых деформаций вниз по склону – 230 м, глубина заложения 10 – 13 м, поверхность скольжения – по форме близка к круглоцилиндрической, глубина залегания УГВ – 0,5 – 6,0 м (рис. 2). Анализ мощностей пород и их взаимного расположения в оползневых блоках показал, что суммарная амплитуда оползневой смещения на отдельных участках составляет приблизительно 40 м.

Дальнейшие лабораторные исследования физико-механических свойств грунтов показали значительное снижение прочности дислоцированных пород по сравнению с их неизменёнными аналогами (табл. 1).

Таблица 1

Физико-механические свойства некоторых терригенных пород территории г. Иннополиса (слева) и ГК «Казань» (справа)

Название	Степень нарушенности пермских терригенных пород					
	Естественное залегание			Дислоцированная порода		
	ρ_d , г/см ³	φ_{ef} , град	c_{ef} , кПа	ρ_d , г/см ³	φ_{ef} , град	c_{ef} , кПа
глина	1,81	20	83	1,72	18	89
песчаник	1,78	34	17	1,71	33	3
алевролит	1,75	33	74	1,64	28	95

Примечание: ρ_d – плотность скелета грунта, φ_{ef} – эффективный угол внутреннего трения, c_{ef} – эффективное удельное сцепление.

На заключительном этапе работ, в рамках прогнозирования дальнейшего развития склоновых процессов, рассчитывались коэффициенты устойчивости склонов (с использованием программного комплекса GEO5 Fine), в частности определялись критические значения уклонов поверхности. После проведения детального изучения геологического строения склонов результаты расчётов оказались вполне предсказуемыми: критические значения уклонов поверхности для склонов горнолыжного комплекса значительно меньше, чем для склонов территории г. Иннополиса (рис. 3). Поскольку в первом случае массив ведёт себя подобно толще, сложенной однородными дисперсными грунтами (формируется круглоцилиндрическая поверхность скольжения), во втором – наблюдается обрушение пород по трём системам трещин с образованием сложной поверхности скольжения. Следует также отметить, что массивы сложенные дислоцированными породами более чувствительны к повышению влажности грунтов. Именно поэтому непрекращающийся с 2004 г. сброс сточных вод в верхней части склона, неправильная организация ливневой канализации, а также избыточный полив травы на поле для гольфа из года в год провоцирует оползневые смещения.

Проведённые исследования показали, что одной из причин развития склоновых процессов (не установленной при более ранних исследованиях) является сильная дислоцированность и потеря прочности карбонатных и терригенных пермских пород. В связи с чем, при проведении прогноза развития

склоновых процессов, а также при разработке противооползневых мероприятий, необходим иной подход, заключающийся в оценке устойчивости оползневых склонов с учетом возможности формирования круглоцилиндрической поверхности скольжения по аналогии с дисперсными массивами. При этом расчет устойчивости должен быть основан на прочностных показателях, определенных для дислоцированных пород.

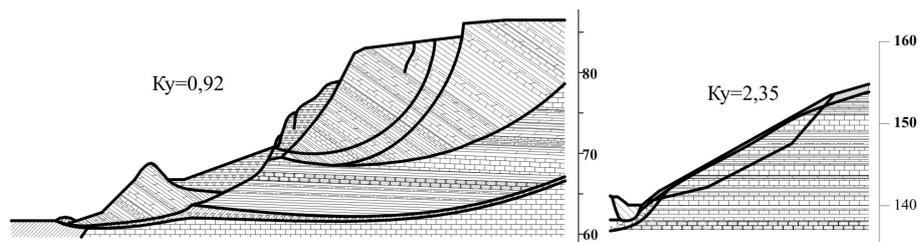


Рис. 3. Влияние дислоцированности пород на устойчивость склонов:
Слева – типичная круглоцилиндрическая форма поверхности скольжения на ГК «Казань»; *справа* – возможная полигональная форма поверхности скольжения на территории г.Иннополис

Следует также отметить, что проведённые инженерно-геологические исследования привели к пересмотру ранее ошибочных представлений о геологическом строении исследуемой территории, в частности в рамках работы была проведена коррекция геологических карт четвертичных и дочетвертичных отложений.

Литература

1. Рабочий проект «Горнолыжный спортивный оздоровительный комплекс «Казань» в Верхнеуслонском районе РТ. Гостиница на 40 мест». Заказ №3191. Отчёт об инженерно-геологических изысканиях (А.В.Рачков). Шифр из-030-4. ГТПИ НПФ «ТАТИНВЕСТГРАЖДАНПРОЕКТ», Казань, 2003.
2. Рабочий проект «Горнолыжный спортивный оздоровительный комплекс «Казань» в Верхнеуслонском районе РТ. Изучение инженерно-геологических условий оползневой зоны в районе гостиницы на на 40 мест». Заказ №3191. Отчёт об инженерных изысканиях. Часть II. Инженерно-геологические изыскания (А.В.Рачков). Шифр из-230-4. ГТПИ НПФ «ТАТИНВЕСТГРАЖДАНПРОЕКТ», Казань, 2005.
3. *Хаванов А.Ю., Бубнов Ю.П.* Проведение наблюдений за оползневыми и овражно-эрозионными процессами на территории горнолыжного спортивно-оздоровительного комплекса «Казань». Казань, 2012.

ГИДРОГЕОХИМИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ СТАБИЛИЗАЦИИ ПРОЦЕССА РАЗВИТИЯ КАРСТА

В.П. Зверев, Ю.А. Мамаев

Институт геоэкологии им Е.М. Сергеева РАН. Москва, 101000, а/я 145.
E-mail: zverev@geoenv.ru

Стабилизация ситуации и минимизация риска развития карста, который, как один из экзогенных геологических процессов, неизбежно развивается там, где имеется одновременное сочетание растворимых и водопроницаемых горных пород и растворяющих их движущихся подземных вод, невозможно без изучения процесса взаимодействия подземных вод с растворимыми горными породами: известняками, доломитами, гипсами, каменной солью.

Единственным объективным прямым методом прогноза развития карста является гидрогеологический. Для его реализации в пределах карстоопасных участков в обязательном порядке необходим систематический контроль за химическим составом и гидродинамическим режимом подземных вод.

В связи с этим, карст рассматривается как геологический и физико-химический процесс взаимодействия воды и породы. Как и всякая гетерогенная реакция, образование карста складывается из трех отдельных стадий: поступления растворителя – природных вод к поверхности горной породы, собственно процесса растворения или фазового перехода и удаления растворенных в воде продуктов реакции от поверхности растворения.

Поскольку интенсивные параметры системы, в пределах которой происходит карстообразование, практически неизменны, растворение в природных водах, прежде всего, обуславливается величиной градиента концентрации между жидкой фазой (подземными водами) и насыщенным пограничным слоем, существование которого предполагается на поверхности растворяющегося тела (горных пород).

Собственно процесс развития карста, приводящий к образованию подземных пустот или полостей, возможен при наличии конвективного массопереноса растворенного вещества, способного в сравнительно короткие отрезки времени перераспределять значительные массы.

Возможность современного развития карстовых процессов, следует оценивать методами термодинамическими и гидродинамическими моделирования при обязательном учете геологической и гидрогеологической обстановки в изучаемом районе. В зависимости от поставленных задач и получаемых результатов можно выделить следующие этапы и методы гидрогеохимического изучения карста:

исследование равновесно-неравновесного состояния в системе подземные воды – растворимые горные породы, которое позволяет судить о возможности развития карстового процесса в изучаемом районе и выделить участки его наиболее вероятной реализации;

оценка количества растворимой горной породы, выносимой подземными водами с единицы площади или объема растворимых пород в единицу времени, позволяющая судить о масштабе развития карстового процесса;

термодинамическое и гидродинамическое компьютерное моделирование интенсивности растворения карстующихся пород, позволяющее определить количество вещества, выносимого подземными водами в исследуемом месте и дать прогноз развития карста в будущем.

Подобные, но несколько более примитивные методы в свое время были успешно использованы [1] при оценке устойчивости карстующихся пород в основаниях действующих и проектируемых гидротехнических сооружений Предуралья.

Примером удачного прогноза развития карстового процесса могут служить выполненные еще более 35 лет назад исследования в основании Камской ГЭС, где на сравнительно небольшой глубине под плотиной залегают ангидриты и гипсы кунгурского яруса перми. При изысканиях и строительстве ГЭС, было показано, что подземные воды, контактирующие с сульфатными породами, насыщены по отношению к сульфату кальция и поэтому был сделан вывод, что ожидать развития карста под плотиной не приходится.

Однако в 1963 г. было установлено, что под плотиной появились неравновесные к сульфату кальция подземные воды, которые достигли залегающих под плотиной растворимых гипсов и что можно ожидать развития процесса их растворения с вытекающими последствиями. На основании этого было принято решение о сооружении под плотиной и зданием ГЭС мощной цементационной завесы, что со временем было выполнено и Камская ГЭС благополучно работает до настоящего времени.

При проектировавшейся Верхне-Камской ГЭС, выше г. Соликамска, основная проблема заключалась в необходимости сохранения пластов каменной и даже калийных солей, залегавших частично в основании и в левом борту проектируемой плотины. Как показали исследования [2], сохранение каменных и калийных солей от выщелачивания в этом районе возможно лишь при поддержании гидрогеохимического режима подземных вод, обеспечивающего устойчивость гипсов, фациально переходящих в соляные породы, и защищающих их от контакта с агрессивными подземными водами и соответственно от выщелачивания. Весьма вероятно, что эти условия не были учтены при эксплуатации калийных шахт, что и могло привести к растворению гипсов, а затем и солей и прорыву подземных вод и катастрофическому затоплению калийных шахт.

К сожалению, в последние десятилетия применение физико-химических методов изучения карста, из-за большой его трудоемкости и недостаточно высокого профессионализма изыскателей, существенно снизилось. Наиболее распространено исследование последствия карстовых процессов путем выявления провалов на поверхности или наличия древних карстовых пустот в толще пород. Все это лишь косвенно указывает на современную реализацию процесса и не позволяет надежно прогнозировать его развитие в будущем не в пространстве и не во времени.

Если необходимость исследования современной карстовой активности в гипсах и ангидритах гидрогеохимическими методами сомнений не вызывает, то для карбонатных пород эта проблема решается неоднозначно. К сожалению, многие специалисты, исходя из низкой растворимости карбоната кальция и считая, что его растворение в современную эпоху не происходит, полагают, что образование провалов в этих породах контролируется только механическим разрушением закарстованных в предыдущие эпохи карбонатных толщ и процессами суффозии.

Наиболее существенное влияние антропогенных процессы оказывают на активизацию карстовых процессов в карбонатных породах в пределах крупных городских агломераций, где происходит значительное изменение как гидрогеохимических, так и гидродинамических параметров. В результате увеличивающихся водоотборов подземных вод и все возрастающих потерь из городских и промышленных коммуникаций происходит резкое увеличение интенсивности водообмена, достигающего десятков раз и, как следствие, возрастание скорости движения подземных вод. Что, в свою очередь, приводит к формированию открытости системы, и увеличению парциального давления CO_2 и снижению величины рН подземных вод до 5,7-6,5. На развитие карстового процесса с начала шестидесятых годов прошлого века влияет и увеличение кислотности атмосферных осадков, которое сказывается на изменении химического состава грунтовых вод и снижении их кислотности. Все это приводит к высокой неравновесности системы кальцит-вода и увеличению скорости растворения карбонатов кальция.

Более подробно остановимся на исследованиях, необходимых на территории Березниковского промышленного района, которые должны включать анализ процессов растворения карстующихся пород и массопереноса перешедших в раствор химических элементов в формировании провалов и деформации земной поверхности [3].

Анализ последствий возникновения провалов 2007, 2010 и 2011 гг. на подработанной территории БКПРУ-1 показывает, что их развитие происходило следующим образом.

1. Длительная направленная вниз и далее к региональной дрене (р. Кама) фильтрация, более активная в тектонически ослабленных зонах, подземных вод неравновесных с растворимыми породами (гипсы и каменная соль) водозащитной толщи, приведшая к созданию условий для растворения пород покровного пласта каменной соли и постепенному снижению прочности соляно-мергельной толщи.

2. Развитие процессов растворения и разрушения покровного пласта каменной соли неравновесными с ними подземными водами, фильтрующимися в направлении местного базиса дренирования.

3. Растворение верхов сильвинито-карналлитовой толщи, с последующей их деформацией и разрушением, и прорыв подземных вод в горные выработки.

4. Возникновение условий для обрушения образовавшегося свода в тектонически-ослабленной зоне, характеризующейся повышенной трещиноватостью пород.

5. Обрушение пород в горные выработки и дальнейшее развитие процесса с образованием провала на поверхности земли.

Исходя из геолого-гидрогеологических условий Березниковского промышленного района, в его пределах возможно возникновение новых катастрофических провалов, связанных с растворением пластов каменной соли, карналлита и сильвинита в ослабленных зонах тектонических разломов, а также дальнейшее проседание земной поверхности в пределах установленных участков.

Развитие провалов на поверхности земли с гидрогеологической точки зрения приводит к образованию новых областей дренирования подземных вод, приводящих к перераспределению направления фильтрации подземных вод, возрастанию скорости их движения и проникновению неравновесных, агрессивных вод в более глубокие горизонты, что будет приводить к увеличению скорости и масштабов выщелачивания растворимых горных пород.

В результате этого, помимо образования катастрофических провалов, на территории Березниковского промышленного района будет происходить образование генетически связанных с ними существенно менее масштабных карстовых воронок, образующихся в результате обрушения пород в неглубокие полости, возникающие в ослабленных трещиноватых зонах в результате выщелачивания растворимых линз и прослоев гипсов и каменной соли.

Изложенное выше позволяет подойти к выработке необходимых гидрогеохимические методов исследования и мониторинга, направленных на стабилизацию и минимизации риска развития процессов растворения горных пород и активизации карста.

Необходимы:

Ликвидация Семинского пруда являющегося идеальным источником питания подземных вод, особенно в результате фильтрации под плотинной. Ниже образующегося в результате этого потока подземных вод и произошло образование провала 2007 г.

Принятие мер по минимизации потерь из водопроводных и канализационных трубопроводных сетей и организация современной системы ливневых стоков.

Создание постоянно действующей гидрогеологической модели Березниковского промышленного района.

Постоянный мониторинг за уровнем режимом и химическим составом подземных вод в пределах развития проседания земной поверхности, в нижних и верхних частях разреза соляно-мергельной толщи.

Термодинамическое изучение равновесно-неравновесного состояния и тенденций его изменения в системах подземные воды – карбонаты, гипсы, галит, карналлит, позволяющая проводить оценку возможности их растворения, устойчивости и выявления участков наибольшего риска развития карстового процесса и образования провалов.

Количественная оценка модулей ($\text{г/с}\cdot\text{м}^2$) выноса химических элементов (Na, K, Mg, SO_4 а также Ca), входящих в состав растворимых горных пород, подземными водами, позволяющая подойти к изучению масштабов процессов их выщелачивания в пространстве и во времени.

В заключение следует подчеркнуть, что единственным объективным прямым методом прогноза развития карста является гидрогеологический. Для его реализации в пределах карстоопасных участков необходим систематический контроль за химическим составом и гидродинамическим режимом подземных вод с одновременным созданием постоянно действующих компьютерных моделей, включающих термодинамический и кинетический анализ процессов, реализуемых в системе вода- порода.

В результате гидрогеохимического мониторинга и использования его результатов для регулярного проведения названных исследований может быть дана оценка вероятности развития современных процессов растворения и выщелачивания растворимых горных пород на территории Березниковского промышленного района Верхнекамского соленосного бассейна.

Литература

1. *Зверев В.П.* Гидрогеохимические исследования системы гипсы–подземные воды. – М.: Наука, 1967. – 99 с.
2. *Зверев В.П., Мигунов Л.В.* Термодинамическое моделирование гидрогеохимических процессов в надсолевой толще Верхнекамского района // Литология и полезные ископаемые. – 1994. – № 2. – С. 78-85.
3. *Осинов, В.И., Зверев В.П., Костикова И.А., Мамаев Ю.А.* О гидрогеохимических особенностях взаимодействия воды и породы в Верхнекамском соленосном бассейне // Геоэкология (в печати).

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭРОЗИИ ВРЕМЕННЫХ ВОДОТОКОВ В УЛАН-БАТОРСКОМ БАССЕЙНЕ (МОНГОЛИЯ)

Е.А. Козырева, О.А. Мазаева, А.А. Рыбченко

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

Актуальность исследований продиктована широким распространением эрозии временных водотоков на территории Улан-Баторского бассейна, их интенсивностью и опасностью. Так, например, по данным Болдын Бата [1] в августе 1982 и в июне 2003 года в районе города Улан-Батор зафиксированы катастрофические селевые потоки. В результате схода одного из селей произошло разрушение части юрточных и жилых построек, были человеческие жертвы. В низовьях долины рек Сэлбэ и Толгойт сель сформировал дамбу высотой 1,5-3 м и шириной до 10 м.

Исследуемая территория Улан-Баторского бассейна характеризуется сложными инженерно-геологическими условиями, определяемыми особенностями резкоконтинентального климата с небольшим количеством осадков, умеренной тектонической активностью, геологическим строением межгорной Улан-Баторской впадины, высокой сейсмичностью до 8 баллов в пределах Хэнтэйской неотектонической зоны, экзогенными геологическими процессами.

Эрозионные процессы испытывали резкую активизацию в периоды активизации неотектонических поднятий Центральной Монголии. В последнее время усилилось влияние техногенной нагрузки на развитие эрозионных процессов временных водотоков. Так, на территории города Улан-Батор вследствие уничтожения растительного покрова в результате строительства и заселения юрточных и частных домов интенсивный характер приобрели процессы плоскостного смыва, овражной эрозии и селевые потоки сточных вод. Скорость развития оврагов в лессах городов Улан-Батор и Дархан достигает 8 м/год, в их окрестностях 3-4 м/год; за пределами городской территории она не превышает 3 м/год [1].

Зона горных степей и леса в Хэнтэйском горном районе наиболее благоприятна для жизни человека и наиболее освоена в плане развития земледелия. Самая большая по размерам – зона степей с ее разнообразием трав и диких злаков, наиболее пригодная для занятий скотоводством. В поймах рек нередки заливные луга.

По карте инженерно-геологического районирования Монгольской Народной Республики масштаба 1:12000000 [5] исследуемая территория относится к Хэнтэй-Даурской инженерно-геологической области высоко- и среднегорной, сложенной скальными грунтами, локально перекрытыми дисперсными. По зональным факторам большей частью относится к зоне редкоостровного распространения многолетнемерзлых грунтов.

Имеющиеся схематические мелкомасштабные карты инженерно-геологического районирования [2, 5] Монголии и карты геодинамических и экзогенных процессов на отдельные территории Улан-Баторского бассейна [1] являются прекрасной основой для дальнейших более детальных исследований.

Целью исследований является оценка опасных экзогенных геологических процессов, связанных с эрозией временных водотоков на территории Улан-Баторского бассейна, которая включает оценку среды, природных и техногенных условий и факторов развития процессов и их взаимодействий, определяющих тип, механизмы, локализацию и закономерности распространения форм проявления процессов в пространстве.

В структурном представлении Улан-Баторский бассейн включает Улан-Баторскую межгорную впадину и ограничен с севера водораздельной линией водосбора реки Тэрэлж притока р. Туул, в юго-западной части поднятий Бага Хэнтэй, а с юга водоразделом горы Богд уул.

В геоморфологическом отношении территория города представляет часть наклонной аккумулятивной равнины, окруженную денудационными горами.

Широкое развитие эрозии временных водотоков в Улан-Баторском бассейне объясняется слабым развитием древесно-кустарниковой растительности, достаточно мощным чехлом рыхлых отложений и выпадением экстремальных атмосферных осадков.

Развиты следующие виды эрозии: линейная – овраги, промоины и плоскостная – площадной смыв. Практически каждый элементарный водосборный бассейн имеет активное эрозионное русло, размеры эрозионных форм различны: ширина – от первых м до 10-20 и более (37 м) метров, глубина – более 3 м, протяженность – 1-2 км и более. Поперечный профиль оврагов преимущественно ящикообразный с крутыми, отвесными бортами. Местным базисом эрозии является р. Туул.

Анализ климатического фактора показал, что годовое количество атмосферных осадков составляет 200-300 мм, около 90% которых выпадает с мая по сентябрь. Суточный максимум жидких осадков может достигать 50 мм и более и провоцировать активизацию эрозионных и селевых процессов.

Средой развития эрозионных процессов являются рыхлые пролювиально-делювиальные и аллювиальные отложения. Детальная оценка среды развития оврагов выявила, что среди отложений, вскрытых расчистками на ключевых участках, преобладают крупнообломочные дресвяные грунты с супесчаным и суглинистым заполнителем (18-44,3%) или супеси и суглинки дресвяные (содержание дресвы 10-11%).

Был выполнен комплексный анализ состава, структуры и свойств заполнителя крупнообломочных грунтов представленных в различной степени пылеватыми супесью тяжелой и суглинком легким и средним. Нормативная глубина промерзания в зависимости от литологического состава пород составляет от 2,7 м в глинах и суглинках, до 4,7 м в крупнообломочных грунтах с песчаным заполнителем. По степени устойчивости грунтов к воздействию геодинамических процессов [4] грунты относятся к среднеустойчивым.

С целью выявления водосборных бассейнов, подверженных активному развитию эрозионных процессов, выбора ключевых участков для детальной оценки форм овражной эрозии и их мониторинга, выполнено районирование и морфометрический анализ водосборных бассейнов [3].

Выполнено экзогеодинамическое районирование Улан-Баторского бассейна. По морфогенетическому признаку (сочетанию определенных форм рельефа и рельефообразующих факторов) на исследуемой территории выделяются денудационно-тектонические, структурно-денудационные и аккумулятивные типы рельефа. Инженерно-геологические области выделены по высотному положению водораздельных поверхностей; подобласти – по глубине и густоте эрозионного расчленения и преобладающей крутизне склонов. Густота эрозионного расчленения определяет длину склонов, площадь водосборных бассейнов, – условия концентрации и скорости стока, в сочетании с глубиной расчленения определяющих эрозионный потенциал рельефа – одного из главных факторов развития линейной эрозии. В качестве признака отграничения районов использовался преобладающий стратиграфо-генетический комплекс пород.

По высотному положению водораздельных поверхностей было выделено три области: < 1500 м – низкие горы; 1500-2000 м – средневысотные; >2000 – высокие.

Далее был применен бассейновый подход. В пределах водораздельных границ изучаемой территории были выделены водосборные бассейны и далее вычислялись их морфометрические характеристики. В программе MapInfo созданы несколько базовых слоев: слой водосборов; слой водотоков. Далее на их основе выполнялись расчеты и построения карты густоты, глубины эрозионного расчленения, среднего угла наклона водосборных бассейнов.

В результате установлено, что глубина расчленения водосборных бассейнов изменяется от 200 до 1000 м. Густота расчленения водосборных бассейнов варьируется от 1,57 до 3,49 км/км². По этим показателям водосборные бассейны были разделены на 5 категорий.

Признаками выделения опасных водосборных бассейнов, потенциально предрасположенными к развитию эрозионных процессов, является сочетание благоприятных для развития эрозионных процессов геоморфологических условий и определенной мощности и состава рыхлых отложений.

Области с максимальной густотой расчленения соответствуют участкам денудационно-аккумулятивного и тектонико-денудационного рельефа с глубиной расчленения 200-500 м и мощностью рыхлых делювиально-пролювиальных отложений 10-30 м и озерно-аллювиально-пролювиальные отложения мощностью до 100-120 м. На основе дешифрирования крупномасштабных космоснимков эти участки выбраны нами для дальнейших детальных мониторинговых исследований.

В пределах Улан-Баторского бассейна проведены полевые работы на ключевых водосборных участках, характеризующихся различными морфометрическими характеристиками (глубиной, густотой эрозионного расчленения, абсолютными отметками), охватывающие районы распространения различных по мощности и составу рыхлых отложений.

Комплекс полевых работ включал: рекогносцировочные обследования ключевых участков, организацию геодинамических полигонов для мониторинговых исследований с закреплением на местности и GPS-привязкой продольных и поперечных профилей оврагов; морфометрические измерения поперечных профилей оврагов, расположенных в их вершинных, средних и устьевых частях; инженерно-геологическое опробование разреза делювиально-пролювиальных отложений с отбором образцов заполнителя крупнообломочных отложений.

В настоящее время выполняется комплекс мониторинговых работ по динамике форм эрозии временных водотоков на ключевых участках. Получены первые результаты. За период с 2012 по 2013 гг. в большинстве оврагов наблюдалось преобладание боковой эрозии над глубинной, сопровождающееся незначительным до 0,46 м расширением оврагов и аккумуляцией делювиально-пролювиального отложений в днище. В водосборных бассейнах с большей глубиной расчленения, площадью водосбора преобладала глубинная эрозия, что отразилось в виде положительной динамики роста ширины,

глубины и протяженности оврага. Линейное приращение вершин большинства оврагов не превысило 1 м и составило от 0,03 м до 0,29 м. Максимальные приращения протяженности зафиксированы в двух оврагах и составили 0,89-0,92 м.

Литература

1. *Бат Б.* Оценка и прогнозирование устойчивости геологической среды к природным и техногенным воздействиям территории города Улан-Батор. Автореф. дис. ... канд. геол.-мин. наук. – Иркутск: изд-во ИрГТУ, 2004.
2. *Васильев В.И., Хайме Н.М.* Геолого-структурный подход при инженерно-геологическом районировании северной и центральной Монголии // Инженерная геология. – 1984. – № 5. – С. 57-64.
3. *Мазаева О.А., Рыбченко А.А., Козырева Е.А.* Опасные геологические процессы Улан-Баторского бассейна: инженерно-геологическая оценка эрозии временных водотоков // Современная геодинамика Центральной Азии и опасные природные процессы: результаты исследований на количественной основе: Материалы Всероссийского совещания и молодежной школы по современной геодинамике. – Иркутск: ИЗК СО РАН, 2012. – Т. 2. – С. 110-113.
4. *Макаров С.А., Ряценок Т.Г., Акулова В.В.* Геоэкологический анализ территорий распространения природно-техногенных процессов в неоген-четвертичных отложениях Прибайкалья. – Новосибирск: Наука, 2000.
5. Монгольская Народная Республика. Национальный атлас. – Улан-Батор, 1990.

ИНДУСТРИАЛЬНОЕ НАСЛЕДИЕ В ЛАНДШАФТЕ И КУЛЬТУРЕ РОССИЙСКОГО СЕВЕРА (ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ)

Н.Г. Комарова

МГУ имени М.В. Ломоносова, Музей Землеведения, Москва, Ленинские горы, д. 1,
E-mail: NKomarova37@mail.ru

Российский сектор Арктики охватывает Северный Ледовитый океан в пределах границ полярных владений Российской Федерации со всеми находящимися на этой акватории островами, а также северные окраины европейской и азиатской материковых частей России, занятые тундрой.

Государственные интересы России неразрывно связаны с Арктикой. Площадь Российской Арктики, включая морские пространства, превышает 9 млн. км²; здесь проживает более 10 млн. человек, из которых около 140 тыс. человек – представители 16 коренных малочисленных народов Севера. Их жизнь в значительной степени связана с природным окружением, сохранение которого является одним из принципов устойчивого развития этого региона, выполняющего важнейшие биосферные функции планетарного масштаба.

В настоящее время Север является основной ресурсно-сырьевой базой нашей страны, причем огромный потенциал Арктики еще не раскрыт в пол-

ной мере. Богатство ресурсов Российского Севера трудно переоценить: уже сегодня около 98% российского газа добывается в Арктике, 80% добычи нефти приходится на арктический регион. Интерес к Арктике с каждым годом набирает обороты, при этом стремление к присутствию в регионе проявляют не только страны арктической зоны, такие как Канада, США, Норвегия, Дания, Россия, но и территориально отдаленные страны.

По мере возрастания промышленной эксплуатации ресурсов, все отчетливее проявляются явные признаки индустриального наследия, наиболее четко обозначившиеся в так называемых экологически напряженных районах – Норильском, Никельском, Архангельском, Нижне – Обском и др. Помимо неблагоприятных экологических последствий, для современного Севера России характерен целый спектр сложных экономических и социальных проблем. Среди них можно назвать и затяжной кризис перестроечного времени, резкие различия в уровне жизни населения внутри региона, вынужденную высокую миграционную подвижность населения, наличие «избыточного» населения (пенсионеры, безработные). Продолжает ухудшаться демографическая ситуация, остается острым вопрос защиты прав аборигенного населения. Принимаемые в регионе меры экономического и правового регулирования в области охраны окружающей среды пока малоэффективны.

Рассматриваемый регион включает в себя территории трех географических поясов: арктического, субарктического и северной части умеренного. Особенности природы региона: явление полярного дня и полярной ночи, низкий годовой радиационный баланс, близкие к 0⁰С средние температуры воздуха летних месяцев при отрицательной среднегодовой температуре, широкое развитие оледенения (морского, наземного и подземного), почти повсеместное развитие многолетней мерзлоты, бедность видового состава органического мира, развивающегося в условиях крайне непродолжительного вегетационного периода, повсеместное развитие опасных природных процессов и явлений.

Дискомфортность климата, распространение природных очагов заболеваний, природные геохимические аномалии неблагоприятно сказываются на состоянии здоровья населения. К перечисленным факторам приходится добавлять и техногенный фактор, так как степень загрязнения природной среды в ряде районов достигла критических значений.

Чрезвычайные экологические ситуации, вызванные воздействием техногенного фактора, стали проявляться на Севере России по мере хозяйственного освоения территории и роста антропогенных нагрузок на среду. В наибольшей степени они связаны с разведкой и добычей природных ресурсов, прежде всего минеральных. В дореволюционный период полезные ископаемые региона почти не эксплуатировались. Издревле сохранявшееся традиционное природопользование (промысел морского зверя, рыболовство, собирательство, охота) лежали в основе неистощающего ресурсопотребления. Освоение минеральных богатств Севера началось в первые годы Советской власти. К настоящему времени на основании многолетних исследований выявлены экономически наиболее перспективные минерагенические провинции

Российской Арктики: Карело-Кольская апатит-платиноносная-никеленосная, Якутская алмазносная, Таймыро-Норильская платиноносная-никеленосная, Яно-Чукотская олово-платиноносная. Кроме того, выделяются как перспективные: Роновская никеленосная, Пайхойско-Новоземельская флюорит-марганец-полиметаллическая, Анабарская алмазосно-редкометально-железородная, Катойско-Маймечинская флогопит-железородная-платиносно-апатитосная, Анойско-Чаунская ртутно-редкометально-золоторудная и др. Сейчас в северных районах добывается более 90% никеля и платины, 70% нефти и газа, алмазы, золото, редкие металлы. Возможна также добыча других видов полезных ископаемых: марганца (Полярный Урал), редких металлов (п-в Таймыр) и урана (Карело-Кольская провинция и Чукотка).

В арктической зоне сконцентрированы колоссальные запасы топливно-энергетического сырья. С запада на восток к арктической окраине примыкают или находятся в относительной близости от нее Печорский, Ленский, Зырянский, Тунгусский, Таймырский и другие угленосные бассейны. В арктической зоне расположены нефтегазосные бассейны: Тимано-Печорский, Берингово-Карский, Западно-Сибирский, Лаптевский, Новосибирско-Чукотский и др. Гигантским месторождением газа является Штокмановское, расположенное в Баренцевом море к западу от Новой Земли.

На основе добычи и переработки минерального сырья развились многопрофильные отрасли хозяйства, являющиеся основными источниками поступления загрязняющих веществ в окружающую среду. Это, прежде всего, разработка месторождений различных руд, нефти, газа; промышленные, перерабатывающие и ремонтные предприятия (особенно металлургические заводы); теплоэнергетика; автомобильный, авиационный и морской транспорт; военные объекты; сельское хозяйство; морские порты; муниципальные стоки городов. Многие химические элементы, попадая в результате антропогенной деятельности в природные среды, могут накапливаться в живых организмах. Привнос загрязняющих веществ в морскую среду речным и материковым стоком, воздушными потоками, морскими течениями из других акваторий представляет всё нарастающую опасность для экосистем арктических морей. Особую опасность вызывает радиоактивное загрязнение их акватории и шельфа.

Геоэкологическая оценка индустриального наследия позволила определить наиболее существенные проблемы, решение которых предопределяет направление деятельности по охране природной среды Арктики. К ним следует отнести: неудовлетворительное состояние практически всех компонентов ландшафта – атмосферного воздуха городов и населенных пунктов, водных объектов, в том числе источников питьевого водоснабжения и качества питьевой воды; угрозу качественному и количественному разнообразию животного и растительного мира, прежде всего редких и исчезающих видов, охотничье-промысловых животных, социально значимых дикоросов и ягодников; деградацию земель, в том числе естественных кормовых угодий; трансграничное загрязнение окружающей среды; ухудшение состояния здоровья населения; утрату объектов природы и культурного наследия.

В сентябре 2013 года в Архангельске и на Соловецких островах прошел XVI Международный Соловецкий форум «Гуманитарное измерение Российской Арктики». Среди поставленных проблем выделяются следующие:

- *Гуманизация социального пространства Российской Арктики* (адаптация населения, развитие человеческого капитала, качества жизни, безопасность, здоровье и отдых населения).

- *Человек и природа, качество среды* (проблемы 100 экологических горячих точек Российской Арктики, генеральная очистка загрязненных территорий, развитие особо охраняемых территорий и прогнозы развития арктического туризма).

- *Сохранение культурного наследия в Российской Арктике* (памятники истории и культуры, памятные места полярных экспедиций; духовное достояние и проблемы коренных народов, перспективы сохранения языка, консервация и развитие позитивных традиций, фольклора и т.д.).

На Международном форуме «Арктические проекты сегодня и завтра» (Архангельск, октябрь 2013г) широко обсуждались вопросы всесторонней инженерной оценки потенциальных рисков в процессе эксплуатации нефтяных месторождений, проблемы экологического мониторинга и экологического надзора в стратегии развития Арктики.

РЕЗУЛЬТАТЫ КАРТИРОВАНИЯ ЦУНАМИОПАСНОСТИ ПОБЕРЕЖИЙ ОСТРОВОВ И МАТЕРИКОВОЙ ЧАСТИ ХАСАНСКОГО РАЙОНА ПРИМОРСКОГО КРАЯ

**Г.Л. Кофф¹, И.В. Кубай², В.А. Балан³, Л.Г. Кушнир⁴,
О.В. Борсукова¹, И.В. Чеснокова¹**

¹Учреждение Российской академии наук Институт водных проблем РАН
119333 Москва, ул.Губкина, д.3. E-mail: koffgl@mail.ru

²Приморское УГМС, Владивосток; ³Администрация Приморского края РФ, Владивосток

⁴ОАО «Росстройизыскания», Москва

Морские побережья Хабаровского края и Приморья относятся к 6–9-балльным зонам сейсмической опасности. При сейсмическом районировании ОСР-97 территория Приморского края отнесена к 6–7 балльным зонам, при средних периодах повторяемости для 6-балльных зон $T = 1000$ лет, 7-балльных зон $T = 5000$ лет, а территория Хабаровского края к 8–9-балльным зонам при средних периодах повторяемости для зон с магнитудой $M = 7,5$ $T = 100 - 120$ лет. В 1993 и 1986 гг. на побережьях наблюдались волны цунами, охватившие в Приморском крае 17 бухт.

В основе расчетов сейсмической опасности для конкретного района лежит модель зон источников сейсмических колебаний (или зон ВОЗ – зон

возникновения очагов землетрясений), представляющих опасность для исследуемого района [1]. В данной работе в качестве основной использовалась линеаментно-доменная модель зон источников, которая следует идеологии, принятой при создании карты сейсмического районирования ОСР-97 [2]. В качестве альтернативы рассмотрена также модель зон ВОЗ для южной части Дальнего Востока [3], разработанная сахалинскими сейсмологами. В этой модели линеаменты не выделялись, она содержит только площадные зоны ВОЗ [5].

По данным мелкомасштабных карт опасным уровнем цунами характеризуется побережье Хабаровского края от Светлой и Самарги до Советской Гавани. Здесь максимальная высота волны может составлять 4-10 метров, при времени пробега волны от очага 5-60 минут и числе волн 3-4. Далее, на Север возможный уровень цунами для побережья от Советской Гавани до Николаевска-на-Амуре может характеризоваться как умеренно опасный с максимальной высотой волны 2-4 метра, временем пробега волны от очага 10-60 мин. и числе волн 2-3. Наконец, от Никольска-на-Амуре до южного побережья залива Академии ожидаемый уровень цунами может характеризоваться как малоопасный при максимальной высоте волны 1, 2 метра и числе волн 1-2.

Оценка риска цунами производилась по методике, предложенной Г.Л. Коффом и др. [4, 6]. При этом учитывались следующие характеристики: характер подводного берегового склона, экспозиция берега по отношению к цунами, наличие пляжа или I морской террасы, наличие речных долин в тыловой части бухты, степень открытости бухты.

В целом залив Находка и залив Восток имеют одинаковые показатели цунамиопасности -28,2 балла. Однако в пределах этих заливов выделяются отдельные бухты, имеющие повышенные оценки риска цунами. В заливе Находка, к ним относятся бухты Попова, Новицкого и Мусатого. В заливе Восток наибольшую цунамиопасность имеют бухты Гайдамак, Средняя, Подосенова. Необходимо отметить, что бухты в заливе Восток имеют более высокие значения показателей опасности проявления цунами. Из бухт, не входящих в данные заливы, следует отметить бухты Врангеля, Ливадия, Анны, Открытая. С нашей точки зрения максимального проявления волн цунами следует ожидать в бухтах Гайдамак, Подосенова.

Условно по степени цунамиопасности можно выделить три группы бухт: низкая (до 26 баллов), средняя (26-34 балла) и высокая (более 34 баллов) опасность. К первой группе относится бухта Находка, что связано с ее закрытостью от предполагаемого направления распространения волны. Ко второй группе относятся бухты Козьмино, Тунгус, Попова, Прогулочная, Прозрачная, Козина, Литовка, Восток, Рифовая и оз. Лебединое. В третью группу входят бухты Врангеля, Подосенова, Средняя, Гайдамак, Ливадия, Анна, Открытая. Определяющими факторами их повышенной цунамиопасности являются крутой подводный склон и открытость бухт к предполагаемому направлению распространения волн цунами.

Авторами выполнена оценка значимости зональных и локальных факторов формирования параметров риска цунами: высоты заплеска волны цунами над урезом и величины горизонтального заплеска. Работа выполнена с помощью корреляционного и регрессионного анализа по пяти выборкам:

Выборка 1 включает все семнадцать бухт исследованные авторами в июне 2009 года. Выборка 2, так называемый первый кластер, включающий бухты в Заливе Петра Великого.

Выборка 3, второй кластер бухты на восточном, северо-восточном побережье Приморского края, расположенные ближе всего к эпицентрам цунамигенных землетрясений.

Выборка 4, бухты третьего кластера расположенные на удалении от эпицентров цунамигенных землетрясений.

Выборка 5, группа бухт характеризующихся наиболее существенными значениями высоты заплеска и горизонтального заплеска (Валентин, Морьяк-Рыболов, Рудная Пристань, Каменка и Пластун, Терней и Джигит).

Первая выборка, включающая бухты, существенно различные по сейсмологическим, геоморфологическим, тектоническим и гидрогеографическим параметрам. Естественно, что коррелятивные зависимости оказались не высокими. Так, на высоту заплеска существенно влияет лишь гидролого-геоморфологический фактор. Тем не менее и в этой выборке прослеживается параболическая зависимость между суммами факторов и величинами горизонтального и вертикального заплеска. При анализе зависимости в кластере 1 следует принять во внимание извилистость Залива Петра Великого и наличие многочисленных денферов, в виде извилистых заливов второго и третьего порядков и островов. В этом кластере более существенной, оказалась роль речных долин в тыловой части бухт. Более яркими оказались зависимости между факторами риска цунами и параметрами цунами.

Так во втором кластере весьма информативными оказались зависимости между параметрами цунами с одной стороны и двумя факторами риска: характером подводного берегового склона и наличием речной долины тыловой части бухты. В этом кластере оказался весьма существенным коэффициент множественной корреляции между горизонтальными заплесками и суммой факторов. Однако наиболее существенными оказались корреляционные зависимости между параметрами цунами наиболее цунамиопасных бухт и факторами риска. Здесь наибольшую роль играет наличие на фронте бухты пляжа или широкой первой террасы, а также экспозиция берегового участка по отношению к коэффициенту цунамигенного землетрясения. Но наиболее существенно, как и в других кластерах, наличие в бухте пляжа или широкой первой террасы.

На Охотоморском побережье нет ни одной сейсмостанции, между тем по историческим данным только с 1894 по 1958 г. и только в Аяне было более 10 случаев интенсивных подземных толчков, а толчков различной силы насчитывалось более 77. Наиболее интенсивные толчки наблюдались в 1894 и 1926 г. Так в 1926 г. дома, находящиеся в Аяне на берегу были вместе с людьми смыты волнами цунами. В декабре-январе в открытой части

Охотского моря дрейфующий лед отсутствует и если в бухтах и заливах лед взламывается волнением его за 10-15 минут выносит из бухты даже при толщине более 50-60 см. В 1950 и 1973 году из-за этого наблюдались случаи затопления вместе с грузами самолетов и судов, а также различных плавсредств и автотранспорта.

По многолетним наблюдениям на побережье Охотского района в условиях отсутствия волнения моря и формирования нагонных вод наблюдались волны по характеру близкие к волнам цунами с высотой до 2 метров. В ходе рекогносцировочного обследования, выполнявшегося авторами весной 2010 года, выделены 3 вида типологических участков: А – абразионные и абразионно-денудационные берега в коренных скальных породах (северное побережье Амурского лимана); В – трансгрессивные берега с морскими террасами и пляжем (побережье села Аян, северо-восточное побережье Де-Кастри); С – трансгрессивные аккумулятивные берега с широкими пляжами (острова Чкалова и Байдукова, окрестности Чумикана и Тугура).

Ширина цунамиопасной и абразионно-неустойчивой зон в заливе Де-Кастри составляет до 2-3 км, а глубина вдоль побережья свыше километра. Острова Чкалова и Байдукова, как и значительная часть Охотска, включая порт, находятся в зоне риска от воздействия цунами, абразии, наводнений и подтопления. В этих же зонах риска находятся южные и юго-западные части острова Большой Шантар. На острове Чкалова развиты также дефляционные процессы. Интенсивные шторма и волны цунами откладывают вдоль берега значительное количество плавника. При рекогносцировочном обследовании территории Охотска и острова Резиденция в 1959 г. одним из авторов (Г.Л. Кофф) продолжительность стояния наводнения составляла более 1 месяца при высоте около 2,5-3 метров. Наиболее опасными по величине риска являются участки типов В и С, выявление и защита которых необходима в первую очередь. Значительные по масштабу ущербобразующие процессы проявляются в заливах и бухтах, широко открытых к морю и клинообразно сужающихся в сторону суши.

Впервые для указанных территорий выполнена характеристика цунамиопасности побережий. Анализ полученных материалов позволил выделить наиболее цунамиопасные зоны и рекомендовать использование определенных участков из планируемой застройки.

Оценка риска цунами производилась по методике, предложенной Г.Л. Коффом и др. (2007). При этом учитывались следующие характеристики: характер подводного берегового склона, экспозиция берега по отношению к цунами, наличие пляжа или I морской террасы, наличие речных долин в тыловой части бухты, степень открытости бухты.

В целом залив Находка и залив Восток имеют одинаковые показатели цунамиопасности -28,2 балла. Однако в пределах этих заливов выделяются отдельные бухты, имеющие повышенные оценки риска цунами. В заливе Находка, к ним относятся бухты Попова, Новицкого и Мусатого. В заливе Восток наибольшую цунамиопасность имеют бухты Гайдамак, Средняя, Подосенова. Необходимо отметить, что бухты в заливе Восток имеют более высокие

значения показателей опасности проявления цунами. Из бухт, не входящих в данные заливы, следует отметить бухты Врангеля, Ливадия, Анны, Открытая. С нашей точки зрения максимального проявления волн цунами следует ожидать в бухтах Гайдамак, Подосенова.

Условно по степени цунамиопасности можно выделить три группы бухт: низкая (до 26 баллов), средняя (26-34 балла) и высокая (более 34 баллов) опасность. К первой группе относится бухта Находка, что связано с ее закрытостью от предполагаемого направления распространения волны. Ко второй группе относятся бухты Козьмино, Тунгус, Попова, Прогулочная, Прозрачная, Козина, Литовка, Восток, Рифовая и оз. Лебединое. В третью группу входят бухты Врангеля, Подосенова, Средняя, Гайдамак, Ливадия, Анна, Открытая. Определяющими факторами их повышенной цунамиопасности являются крутой подводный склон и открытость бухт к предполагаемому направлению распространения волн цунами.

Авторами выполнена оценка значимости зональных и локальных факторов формирования параметров риска цунами: высоты заплеска волны цунами над урезом и величины горизонтального заплеска. Впервые для указанных территорий выполнена характеристика цунамиопасности побережий. Анализ полученных материалов позволил выделить наиболее цунамиопасные зоны и рекомендовать использование определенных участков из планируемой застройки.

Литература

1. ОСР-97 (1999): Комплект карт общего сейсмического районирования территории Российской Федерации – ОСР-97. Масштаб 1:8 000 000. Объяснительная записка и список городов и населенных пунктов, расположенных в сейсмоопасных районах. Авт. В.И. Уломов, Л.С. Шумилина. – М., 1999. – 57 с. (Объединенный институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта Российской академии наук).
2. ОСР-97 (2000). Сейсмическое районирование территории Российской Федерации. Карта М:1,800,000 на 4-х листах. Гл. ред. В.Н. Страхов, В.И. Уломов. – М.: ОИФЗ РАН – РОСКАРТОГРАФИЯ.
3. Ханчук А.И. Геологическое строение и развитие континентального обрамления северо-запада Тихого океана: Автореф. дис. ... докт. геол.-мин. наук. – Москва, 1993. – 31 с.
4. Кофф Г.Л., Рюмина Е.В. Сейсмический риск (виды, оценка, управление). – М.: Полтекс, 2003. – 108 с.
5. Кофф Г.Л., Левин Б.В., Морозов Е.Н., Борсукова О.В. Оценка риска цунами и сейсмического риска береговых зон Сахалинской области. – М., Южно-Сахалинск, 2005. – 61 с.
6. Кофф Г.Л., Ганзей К.С. Оценка риска цунами. – Владивосток: Дальнаука, 2007. – 207 с.

АНАЛИЗ И ПРОГНОЗ НАВОДНЕНИЙ И ЗАТОПЛЕНИЯ ТЕРРИТОРИИ ГОРОДОВ РОСТОВСКОЙ ОБЛАСТИ И КРАСНОДАРСКОГО КРАЯ

**Г.Л. Кофф, Л.Г. Кушнир, О.В. Борсукова,
Л.А. Гуслева, И.В. Чеснокова**

Учреждение Российской академии наук Институт водных проблем РАН
119333 Москва, ул. Губкина, д. 3. E-mail: koffgl@mail.ru

Ситуация с наводнениями на юге России в последнее время приобретает все более катастрофический характер. В августе 1991 года в Туапсинском районе от стихии погибли 27 человек. Был затоплен Хадыженск, смыты мосты через реки. В январе 2002 года вышла из берегов Кубань, эвакуированы около 3 000 жителей Темрюка и округи. В зоне затопления оказались 830 домов. Обошлось без жертв. В июне 2002 года из-за ливней вышли из берегов реки Кубань, Лаба, Белая, Уруп и другие. Пострадали города Армавир и Лабинск и несколько районов: Отрадненский, Мостовской, Апшеронский, Успенский, Новокубанский, Гулькевичский, Северский. 9 жертв наводнения (8 погибших и 1 пропавший без вести). В августе 2002 года пострадали Новороссийск и Крымск, близлежащие поселки. Были подтоплены дома в населённых пунктах Цемдолина, Верхнебаканский, Южная Озерейка, Васильевка, Глебовка и Абрау-Дюрсо. Всего около 8 тысяч жилых домов. Смерч разрушил плотину на Владимирском водохранилище. Селевыми потоками была размыта железная дорога под Сочи, на которой оказалось заблокировано 45 поездов. Камнепады обрушились на автотрассы, перекрыв сообщение. Погибли 62 человека.

В октябре 2010 года пострадали 30 населённых пунктов, в основном Туапсинском, Апшеронском районом и окрестности Сочи. В числе их посёлки Анастасиевка, Кирпичный, Дедеркой, Джубга, село Кривенковское, хутор Гойтх. Затоплено почти 2 тысячи домов. Погибли 17 человек. В ноябре 2010 года – наводнение в Туапсинском и Апшеронском районах. В Туапсинском подтоплены 3 поселка: Горный, Шаумяна, Небуг, около 40 домов. Вода в посёлке Шаумяна поднималась в домах почти до метра. Жертв не было. 14 декабря 2010 года в Туапсе был довольно крупный паводок, затопило улицы. Обошлось без жертв. В мае 2011 года от последствий ливней пострадали больше 10 тысяч человек в пяти районах: Апшеронском, Лабинском, Курганинском, Мостовском и Белореченском. Подтоплено 321 дом. Обошлось без жертв.

В ночь на 7 июля 2012 года на приморскую полосу обрушились ливни. Разгул стихии только в Крымске унёс 159 человеческих жизней. Пострадал не только Крымск, но и другие населённые пункты: Нижнебаканская, Неберджаевская, Новороссийск, Геленджик, Кабардинка, Дивноморское. Но наибольший урон понёс Крымск. Там затоплено около 12 тысяч домов.

12 августа 2012 года из-за смерчей под Сочи, в Лазаревском районе вышла из берегов река Псецуапсе. Причиной тому стал смерч. Вода на улицах аула Кирова поднялась на высоту до метра, потоком унесло автомобиль ГАЗель. Обошлось без жертв. 22 августа 2012 года произошло наводнение в Туапсинском районе. Пострадали три населённых пункта: Новомихайловский, Тенгинка и Лермонтово (последние два незначительно). Уровень воды в Новомихайловском поднялся до 2,5 метров. Было подтоплено больше 800 зданий.



**Рис. 1. Разрушенный наводнением гараж
(пос. Новомихайловский, фото Г.Л. Коффа, 2012 г.)**



**Рис. 2. Участки разрушенных наводнением берегоукреплений
(пос. Новомихайловский, фото Г.Л. Коффа, 2012 г.)**

Для выбора населенных пунктов Краснодарского края и юго-западной части Ростовской области, требующих детальных изысканий и принятия первоочередных мер, были использованы данные выполненного нами обследования по прибрежной территории Туапсинского и Сочинского района, а также данные обследования Ейского района и территорий побережья Новороссийска с прилегающими поселками, Анапского и Темрюкского районов. По всем территориям этих побережий были выделены находящиеся на этих территориях населенные пункты и курортно-рекреационные зоны, подверженные потенциальным наводнениям.

В число природных факторов риска потенциальных наводнений вошли следующие: размещение территорий перечисленных населенных пунктов и курортно-рекреационных зон на первых террасах рек, наличие притоков основных рек, значительная площадь водных бассейнов рек, протекающих по территории населенных пунктов. К числу природно-техногенных факторов риска относятся подверженные разрушению дамбы, плотины, отвалы грунта в речных долинах.

К числу факторов, влияющих на тяжесть последствий наводнений, относятся также размещение на опасных территориях линий электропередачи, связи, не снабженные инженерной защитой от наводнений мосты, нефтебазы, сооружения систем жизнеобеспечения населенных пунктов. Особую опасность представляют участки соединения крупных рек с водохранилищами. В значительной степени бедствие связано с бессистемным возведением плотин для удержания воды в летний период, отсутствием попуска воды из искусственных водохранилищ и запруд. В Ростовской области возникновению чрезвычайной ситуации также способствует неконтролируемый сброс воды с территории Украины.

В соответствии с характерными условиями образования наводнений на основании анализа гидрометеорологических факторов, включая ретроспективные данные, для каждого населенного пункта могут быть оценены факторы риска во временном аспекте. Для всех выделенных населенных пунктов априорно может быть рассчитан экономический, социальный и экологический ущерб, а также могут быть выделены участки потенциального неконтролируемого сброса воды.

При этом на преимущественно горной территории края практически отсутствует возможность снижения ущербов за счёт простого выноса застройки и хозяйственной деятельности из зон затопления. В последнее время в проблеме наводнений наметились совершенно новые аспекты – снижение качества питьевой воды при паводках, некомпенсируемое очистными мощностями, проявления паводковой опасности при неправильном управлении малыми водохранилищами.

Эффективным средством мониторинга и прогноза опасности, связанной с наводнениями, являются карты риска, основанные на его зонировании. В долинах рек выделяются морфологически однородные участки с однородным геоморфологическим строением и гидрологическим режимом. На каждом из них выделяются 4 зоны риска: А, В, С и D). Различия между этими

зонами (повторяемость, характер и интенсивность процессов затопления и водной эрозии при наводнениях) определяют условия ведения и ограничения хозяйственной деятельности на поймах, а также степень эффективности различных категорий защитных мероприятий: инженерной подготовки территории, включая подсыпку, обвалование, регулирование русел, регулирование стока.



Рис. 3. Потенциально подверженные опасности наводнения населенные пункты

Зона А – низкого риска, где вероятность ущербов от наводнений целесообразно учитывать отдельно от других видов стихийных бедствий. Она располагается выше отметки затопления паводком 1-й категории.

Зона В – среднего риска, где затопление территории происходит относительно редко и на небольшую глубину, развитие линейной и плоскостной эрозии слабое. Зона находится за пределами активных плановых деформаций русла, что обеспечивает эффективность и надежность таких локальных защитных мероприятий, как подсыпка территории и ее обвалование, не оказывающих существенного воздействия на гидрологический режим реки. Реальная надежность сооружений в этой зоне соответствует проектной. Все виды хозяйственной деятельности в зоне В необходимо вести на основании учета осредненных оценок типичных рисков. Она располагается между границей затопления паводком 1-й категории и верхней границей зоны С.

Зона С – высокого риска, где затопление территории происходит часто, а глубина и продолжительность его гораздо больше, чем в зоне В. Для этой зоны характерно развитие эрозионной деятельности водных потоков на пойме. Верхняя граница зоны С проводится по горизонту прохождения паводка 2-й или 3-й категории, в зависимости от характера и интенсивности русловых процессов. Локальные защитные мероприятия в этой зоне будут надежны и эффективны только в комплексе с регулированием русла и стока реки. Реальная надежность сооружений в этой зоне ниже проектной. Здесь не рекомендуется широкомасштабная защита земель. При проектировании и страховании в этой зоне необходима индивидуальная оценка всех возможных рисков.

Зона D – постоянной опасности. Это собственно русло с подвижными прирусловыми формами, где возможно только размещение специальных гидротехнических сооружений. Верхняя граница, отделяющая ее от зоны С, проводится по отметкам прохождения паводков 4- и или 5-й категорий.

Комплексная количественная оценка риска затопления и воздействия водно-эрозионных процессов основана на учете взаимосвязи режимов стока и русловых деформаций. Совместный анализ режимов затопления пойм и русловых деформаций позволяет количественно оценивать вероятность таких событий, как факт затопления территории, его глубина и продолжительность, разрушение хозяйственных объектов, водная эрозия земель на любой заданный период в будущем.

АКТИВНОСТЬ ОПОЛЗНЕВОГО И СЕЛЕВОГО ПРОЦЕССОВ НА ТЕРРИТОРИИ БОЛЬШОГО СОЧИ И ЕЕ ИЗМЕНЕНИЯ В НАЧАЛЕ XXI ВЕКА

Б.М. Крестин, И.В. Мальнева

ФГУП «ВСЕГИНГЕО», Московская область, Ногинский район, пос. Зеленый.
E-mail vsegingeo@rambler.ru, irmaln@rambler.ru

Авторы неоднократно давали оценку опасности катастрофических экзогенных геологических процессов на территории Б.Сочи и Красной Поляны, которая значительно увеличивается в последние годы в связи со строительством олимпийских объектов и, соответственно, чрезвычайно высоким воздействием на геологическую среду.

Для оценки опасности этих процессов на территории в числе прочих необходимы показатели, характеризующие активность проявления опасных геологических процессов, т.е. их развитие во времени.

Исходя из современных представлений о геологической среде и экзогенных геологических процессах, в ней развивающихся (ЭГП), активность проявления ЭГП можно определить как скорость изменения геологической среды [3, 4].

Градации степеней активности в настоящее время не разработана. Еще не установлены пороговые значения быстроизменяющихся факторов, определяющих разную степень активности (метеорологические и гидрологические факторы). Строго не обоснованы также градации активности ЭГП.

Оползни и сели на территории Б.Сочи представляют очень большую опасность. Пораженность территории оползнями составляет здесь 50–80%, а иногда достигает – 80–90%. Преимущественным развитием пользуются оползни-потоки. В районе Красной Поляны пораженность территории несколько меньше (30–40%), наиболее широко проявляются оползни – потоки, оплывины, сплывы и крип в делювиально-элювиальном покрове углистых и глинистых сланцев юры [3, 5].

Инженерно-геологическое обследование Черноморского побережья Кавказа и прилегающей горной территории проводилось в семидесятые годы XX века сотрудниками ВСЕГИНГЕО А.И. Шеко и др. [5]. В результате обследования были составлены карты условий и интенсивности развития экзогенных геологических процессов. За истекшие после обследования 40 лет количество оползней, по крайней мере, не уменьшилось. Селеопасные водотоки отмечены на указанных картах только в высокогорной зоне бассейна р. Мзымты. Из сопоставления материалов обследований следует, что за прошедшие годы селевая опасность на исследуемой территории увеличилась, что в значительной степени обусловлено увеличением интенсивности техногенного воздействия, в частности, вырубкой леса и усилением в связи с этим эрозии на склонах.

Если ранее повышение активности определялось в основном природными факторами, то в XXI веке значительно увеличилась, а часто стала главной роль техногенного фактора. Взаимодействие природных и техногенных факторов в настоящее время определяет степень активности оползней и селей на территории прибрежного и горного кластера.

В первом десятилетии XXI века на территории России резко изменился характер циркуляции атмосферы, определяющей погодные условия. В последней четверти XX века здесь преобладали выходы южных циклонов в сочетании с антициклонами на юге России. [1, 2]. В начале века повторяемость указанных процессов уменьшилась, но вдвое больше стала продолжительность меридиональной южной циркуляции в сочетании с меридиональной северной. Антициклон, сформировавшийся при этом над Европейской Россией в результате арктического вторжения, мешает средиземноморским циклонам пройти на север, и они всю влагу оставляют на юге. В итоге метеорологически обусловленные опасные природные процессы стали повторяться практически ежегодно, даже несколько раз в году [2].

Почти все оползневые подвижки на территории Сочи-Магистинского района происходят в наиболее влажный осенне-зимне-весенний период. Наиболее значительная активизация оползневых процессов в этом районе наблюдается в январе-феврале. Массовая (катастрофическая) активизация оползней может быть приурочена не только к сезону или месяцу, но даже к отдельным дням с максимальным количеством осадков. Например, в 1952 году такая активизация произошла в течение одного дня – 24 февраля. В этот день возникло 58 новых оползней и активизировалось 66 ранее образовавшихся. Такая активизация оползней была вызвана не только большим количеством осадков, но и их распределением в предшествующий период. Общее количество осадков за февраль составило 200% среднемесячной многолетней нормы [5].

К сожалению, после 1991 г. регулярные наблюдения за развитием опасных геологических процессов здесь практически не велись. Отмечались лишь наиболее значительные их проявления, вызывающие негативные последствия для окружающей среды.

Известно, что в начале XXI века наиболее значительная активность оползней и селей наблюдалась в 2012 и 2013 гг.

В течение января 2012 года на Черноморском побережье, а также в высокогорных и среднегорных районах погода была неустойчива. Наблюдались осадки разной интенсивности, на побережье – ливни, а в горных районах – снег.

Во второй половине месяца средняя суточная температура воздуха на побережье оказалась на 6 градусов ниже многолетних средних значений (по данным сайта meteonovosti.ru). Месячная сумма осадков практически не превысила среднее многолетнее значение, но при низких температурах воздуха, достаточно большом количестве осадков, склоны в районе Сочи были переувлажнены. Вместе с бесконтрольным техногенным воздействием это привело к активизации оползней.

Наиболее значительная активизация оползней произошла в с. Барановка Хостинского района 26 – 31 января. Активизация продолжалась и в феврале, и в марте вследствие затяжных дождей и таяния снега с инфильтрацией в покровные отложения и утечек из канализационных систем.

Все проявления экзогенных процессов, зафиксированные в январе, связаны с дополнительным воздействием техногенного фактора. Так, управляющая компания ООО «Тоннельдорстрой» производила работы по отвалу грунта на вершине горы Моисей села Барановка. После пригрузки существующего оползня этими отвалами язык оползня приблизился вплотную к строениям на дачных участках.

Увеличение активности проявления оползней и селей произошло в январе – марте 2013 года. Причина схода селей на Красной Поляне – это в значительной степени интенсивное строительство олимпийских объектов и нарушение баланса окружающей среды («Кавказский узел», 24 января). Так, сход селя 24 января произошел в районе ручья Сулимовского, где ведется интенсивное строительство Олимпийских объектов.

Март 2013 года на территории горного кластера в целом характеризуется повышенной активностью селей, которая в значительной степени обусловлена чрезвычайно неустойчивым характером погоды. По-видимому, не все случаи формирования селей зафиксированы, имеются сведения об их формировании только 13 – 14 марта и в период 27 – 29 марта.

Погодные условия способствовали интенсивному таянию снега в горах. Средняя суточная температура воздуха по данным ГМС Красная Поляна была на 1,7 град. выше среднего многолетнего значения. Значительные колебания температуры воздуха отмечались даже в течение суток. С 9 марта ежедневно шли дожди, и к 13 марта количество осадков за 5 дней составило 89 мм (55% месячной нормы). Снеготаяние и дожди вызвали переувлажнение пород на склонах, их неустойчивость. Особенно неустойчивы отвалы строительных объектов, которые стали потенциальными запасами твердой составляющей селей.

13 марта сошли селевые потоки на левобережье реки Мзымта, на участке от ручья Ржаной до реки Пслух. Селевые массы перекрыли технологическую дорогу, затем их сход продолжался. Сель сошел на дорогу Альпика сервис – кордон Пслух. Была разрушена пострадавшая ранее (в январе) галерея – проломлен ее свод и селевые массы частично ее заполнили. Во время дождя частично размыло насыпную дамбу, отделявшую вахтовый поселок строителей от русла реки Мзымта, в районе поселка Эста-Садок.

Таким образом, формированию селей в марте 2013 года на территории горного кластера способствовало чередование очень теплых и очень холодных периодов при достаточном или избыточном увлажнении и больших снеготзапасах. Интенсивное техногенное воздействие на данной территории способствовало накоплению большого количества рыхлообломочного материала, который при сложившихся погодных условиях был вовлечен в селевой процесс.

В сентябре 2013 г. сложились экстремальные погодные условия на территории Большого Сочи. Однако, активность оползней и селей в сентябре не была катастрофической.

В целом за сентябрь 2013 г. на территории прибрежного и горного кластера произошла активизация значительного количества мелких и средних оползней, большинство из которых находилось в пределах старых оползневых проявлений. Сложившаяся ситуация спровоцирована рядом факторов, решающим из которых стал метеорологический. В конце лета 2013 г. наблюдалась сильная жара на юге Европейской России. На большей части Краснодарского края фон температуры составил +30 и более градусов. Столь жаркая погода в регионе сформировалась благодаря влиянию теплого сектора циклона, который быстро смещался на северо-восток (meteonovosti.ru). В сентябре, наоборот, средняя месячная температура воздуха была на несколько градусов ниже нормы. Температурные показатели в августе и в сентябре и довольно значительное количество осадков не смогли привести к катастрофической активизации оползневого процесса, как в феврале 1952 г., являясь при этом идеальными условиями для возникновения многочисленных небольших проявлений. В пределах прибрежного кластера строительства Олимпийских объектов по метеостанции Сочи в сентябре зафиксировано выпадение 523,9 мм осадков, что в 4 раза превысило климатическую норму (130,7 мм). В пределах горного кластера строительства Олимпийских объектов, по метеостанции «Красная Поляна» в сентябре зафиксировано выпадение 431,2 мм осадков, что в 3 раза превысило климатическую норму (146,5 мм).

Наибольшее количество осадков (237 мм) отмечено в третьей декаде сентября. 23 – 25 сентября в Сочи выпало 145 мм дождя за сутки. Это больше сентябрьской нормы осадков. В Красной Поляне выпало 123 мм осадков за сутки а в Адлере 130 мм. Причина опасной погоды – глубокий циклон, находящийся в центре европейской России. Его активные атмосферные фронты атаковали черноморское побережье, в частности город Сочи (meteonovosti.ru).

В этот же период была зафиксирована существенная активизация селей и заметная активизация оползней на территории горного кластера строительства олимпийских объектов, связанная преимущественно с техногенным воздействием на территорию.

В сентябре наиболее активны были сели. 24 сентября сошел сели в районе Кепшенского тоннеля – на 27-м километре трассы Адлер-Красная Поляна. Сели смыл участок нового горного шоссе «Адлер – Альпика-Сервис».

Мощный селевой поток разрушил стометровый участок нового горного шоссе рядом с горнолыжным курортом «Роза Хутор». Гигантская лавина из грязи, камней и поваленных деревьев разрушила подпорную стену и хлынула с километровой высоты прямо на олимпийское шоссе, перерезав путь автомобилям.

По результатам проведенных работ установлено, что в сентябре 2013 г. активность основных генетических типов ЭГП (оползни, обвалы, сели), развитых на территории Большого Сочи, была выше среднемноголетних значе-

ний. Выпадение аномально большого количества атмосферных осадков вызвало массовую активизацию ЭПП, наиболее масштабные проявления которых, зафиксированы на участках с высокой техногенной нагрузкой.

Вследствие неравномерного увлажнения оползневых склонов происходит нарушение их устойчивости, приводящее к активизации оползневого процесса. Причем, если на развитие поверхностных оползней определяющее влияние имеют атмосферные осадки, то для блоковых оползней, – подземные воды и колебание их уровня, что, в конечном счете, также определяется количеством и режимом атмосферных осадков [2, 6].

Техногенное воздействие на исследуемой территории в настоящее время является одним из основных факторов развития экзогенных процессов, как в прибрежных, так и в горных районах

При увеличивающейся техногенной нагрузке в связи с Олимпийскими играми 2014 г. общая степень воздействия природных и техногенных факторов очень велика. Интенсивное строительство в районе Б.Сочи и Красной Поляны может на порядок увеличить степень оползневой и селевой активности. Сели на данной территории могут сформироваться там, где их раньше никогда не было. Многие хозяйственные объекты могут быть повреждены даже небольшими селями. Для определенных объектов, например, нефте- и газопроводов, шоссейных дорог опасны сели даже малой мощности. Они могут прерывать движение на длительное время, с ними связан большой материальный ущерб. Основной проблемой оползневой опасности в условиях данного региона может стать бесконтрольное, с нарушением норм и правил строительство, вырубка деревьев, разрушение коллекторов и ливнепроводов. Предотвратить полностью возможные катастрофические события невозможно, но при систематическом ведении мониторинга опасных экзогенных геологических процессов можно свести к минимуму их негативные последствия.

Литература

1. Кононова Н.К. Классификация циркуляционных механизмов Северного полушария по Б.Л. Дзердзеевскому / Отв. ред. А.Б. Шмакин; Российская акад. наук, Ин-т географии. – М.: Воентехиниздат, 2009. – 372 с.
2. Мальнева И.В., Кононова Н.К., Крестин Б.М. Сценарии развития опасных экзогенных процессов на территории Большого Сочи и Красной Поляны в соответствии с современными изменениями климата // Проблемы прогнозирования чрезвычайных ситуаций. Оценка рисков возникновения чрезвычайных ситуаций. X научно-практическая конференция. 5-6 октября 2010. Доклады и выступления. – М.: Центр «Антистихия» МЧС России, 2011. – С. 135-146.
3. Мальнева И.В., Крестин Б.М., Гонсировский, Д.Г., Кононова Н.К. Оценка активности экзогенных геологических процессов в районе Большого Сочи и Красной поляны // Разведка и охрана недр. – 2008. – № 6. – С. 29-33.
4. Сергеев Е.М. Проблемы инженерной геологии в связи с охраной и рациональным использованием геологической среды // Вестник МГУ. Сер. 4. Геология. – 1987. – № 5. – С. 77-86.
5. Современные геологические процессы на Черноморском побережье СССР / Под ред. А.И. Шеко. – М.: Недра, 1973. – 220 с.

РАЙОНИРОВАНИЕ НОВОЙ ТЕРРИТОРИИ МОСКВЫ НА ОСНОВЕ ГЕОМОРФОЛОГИЧЕСКОГО АНАЛИЗА

Н.В. Макарова*, С.В. Григорьева**

* МГУ им. М.В.Ломоносова, геологический факультет, кафедра динамической геологии
119991, Россия, Москва, Ленинские горы, д.1. E-mail: makarovanat@yandex.ru

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

Территория Москвы по распоряжению Правительства города увеличена почти в два раза на юго-юго-запад от старой границы мегаполиса. На территории Москвы в прежних границах ранее были выделены основные формы рельефа (возвышенности и низины), отражающие неотектонические движения – относительные поднятия и опускания, для нее составлены структурно-геоморфологические карты среднего (1:200 000) и крупного (1:50 000-1:10 000) масштабов [3,5-7].

На присоединенную территорию Москвы авторами на основе геоморфологического анализа с использованием опубликованных данных [1,2,4,6,7,8] и материалов геологической съемки масштаба 1:200 000 составлена схема геоморфологического районирования среднего (1:100000) масштаба, основанная на тех же принципах. Цель геоморфологического районирования присоединенной территории Москвы – выделить (показать) основные ландшафтно-геоморфологические единицы с характерными чертами строения рельефа, его генетической принадлежности, характеристикой литологии отложений, слагающих формы рельефа, позволяющими прогнозировать развитие различных геологических процессов. Выделенные относительно поднятые и опущенные главные формы рельефа отвечают поднятиям, а разделяющие их долины крупных рек – прогибам. Основные формы рельефа, которые косвенно отражают тенденции проявления новейших тектонических движений, подразделены на три масштабных ранга – область, район и подрайон. В основу их выделения положен морфоструктурный фактор, определяющий климат, особенности рельефа, гидрогеологические условия, литологию пород.

В истории формирования рельефа территории Москвы в ее современных границах выделяются три этапа: доледниковый (дочетвертичный), ледниковый и послеледниковый (современный).

На протяжении первого этапа с конца позднего мела до раннего плейстоцена на фоне неравномерного проявления слабых тектонических движений формировался дифференцированный расчлененный рельеф.

Во второй ледниковый этап (ранний и средний плейстоцен) образовался грядовый, холмистый или волнистый моренный рельеф и более выровненный рельеф зандров – равнинных, занимающих современные водоразделы, и долинных, сохранившихся в виде третьей и четвертой надпойменных тер-

рас в долинах крупных рек. В конце ледниковых эпох происходило образование лессовидных суглинков покровного плащеобразного залегания.

В течение третьего этапа (поздний плейстоцен и голоцен) характерна активизация эрозионных процессов, оформление современных речных долин, овражно-балочной сети, формирование поймы, первых и вторых надпойменных террас. Природный рельеф Москвы в ее прежних границах за счет вертикальной планировки местности, заключения многих рек в подземные коридоры стал более пологим и менее расчлененным.

На территории современной Москвы выделены две крупные геоморфологические области – Смоленско-Московская возвышенность (А) и Мещерская (Московско-Клязьминская) низменность (Б). Области включают по три геоморфологических района. В пределах Смоленско-Московской возвышенности это Клиньско-Дмитровская гряда (А-I), Москворецко-Окская равнина (А-II) и Долинный комплекс (А-III). В пределах Мещерской низменности выделены Центрально-Московская (Б-I) и Лосиноостровская (Б-II) возвышенности и Москворецко-Яузская низина (Б-III). В свою очередь, районы подразделены на геоморфологические подрайоны. Клиньско-Дмитровская гряда (ее южный склон) включает два подрайона – Зеленоградско-Химкинскую возвышенность (А-I-1) и Рублевско-Верхнеязускую равнину (А-I-2). В пределах Москворецко-Окской равнины выделено пять геоморфологических подрайонов: Одинцовско-Голицинская равнина (А-II-1), Теплостанская возвышенность (А-II-2), Деснинско-Пахринская (Троицкая) равнина (А-II-3), Пахринско-Мочинская равнина (А-II-4) и Нара-Мочинская равнина (А-II-5). В Долинный комплекс входят 4 подрайона – Долина среднего (Звенигородского) течения р.Москвы (А-III-1), Долина р.Десны (А-III-2), Долина р.Пахры (А-III-3) и Долина р.Мочи (А-III-4). На территории Мещерской низменности геоморфологические подрайоны выделены только в пределах Москворецко-Яузской низины: Яузская низина (Б-III-1) и Москворецкая равнина (Б-III-2).

Присоединенная к Москве территория Московской области расположена в пределах Москворецко-Окской равнины и Долинного комплекса Смоленско-Московской возвышенности, описание которых приведено ниже.

Смоленско-Московская моренно-эрозионная возвышенность – крупное новейшее субширотное поднятие, возникшее в миоцене в осевой части Московской синеклизы. Это водораздел с абс.отм. более 300 м между реками бассейна Волги и Оки, глубоко расчлененный эрозионной сетью, сложенный юрскими и меловыми породами, перекрытыми ледниковыми и водноледниковыми отложениями. Центральной ее частью является Клиньско-Дмитровская возвышенность.

Москворецко-Окская равнина (Наро-Фоминская возвышенность или Подольско-Вере́йское плато) занимает почти весь юг Подмоскovie и Москвы в ее старых границах от правобережья р. Москвы до левобережья р.Оки. Это водораздельные субширотно вытянутые моренно-эрозионные, водноледниковые и озерно-ледниковые волнистые равнины на южном крыле Московской синеклизы. Абсолютные отметки водоразделов 200-220 м (в пределах новой территории Москвы), снижающиеся к долинам рек до 130-140 м.

Равнины сложены ледниковыми и водно-ледниковыми отложениями, перекрыты покровными суглинками, расчленены глубокими речными долинами, оврагами и балками. Их склоны покрыты делювием, а в устьевых частях развиты пролювиальные конусы выноса. Развиты плоскостной смыв, глубинная и боковая эрозия. Характерно неглубокое залегание коренных отложений (меловых на водоразделах, юрских и каменноугольных в речных долинах, оврагах и балках). Покров четвертичных отложений маломощен (от первых метров до 20-30 м). В местах, где карбонатные породы карбона залегают близко к поверхности, развиты карстовые формы.

Одинцовско-Голицинская равнина – западная часть междуречья Москва-реки и Десны. В пределы присоединенной территории входит ее ЮЗ часть, примыкающая к Теплостанской возвышенности. Это моренно-эрозионная, (в районе Внуково зандровая) равнина с абс. отм. от 200 м (на западе) до 150-170 м (на востоке), с крупно-холмистым, грядовым или волнистым рельефом. Равнина сложена моренными суглинками московского оледенения (мощность – первые метры), перекрытыми лессовидными покровными суглинками. Ниже морены глубокими оврагами и притоками рек Москвы, Десны, Сходни вскрыты межморенные московско-донские флювиогляциальные пески, местами суглинки и глины озерного генезиса, а еще ниже суглинки донской морены, что обуславливает развитие оползней. Характерно высокое залегание коренных пород (нижнемеловых и среднеюрских песков и глин), вскрытых в долинах левых притоков р. Десны.

Теплостанская возвышенность занимает правобережье р. Москвы и простирается на запад до левобережий Десны и Пахры. Это высокая (с абс. отм. от 120-140 м до 254 м) ступенчатая моренно-эрозионная возвышенность, считается крупным доледниковым эрозионно-тектоническим останцом мезозойских (меловых и юрских) пород с сильно расчлененным, увалисто-холмистым ступенчатым рельефом. С поверхности коренные породы перекрыты маломощным (до 2-3 м) чехлом московской морены и водно-ледниковыми песками, в связи с чем современный рельеф повторяет рельеф поверхности коренных пород. В понижениях рельефа мощность четвертичных отложений увеличиваются до 10 м, местами до 30 м. К нижним ступеням приурочены фрагменты зандровых равнин, а более высокие покрыты донской и московской моренами. Теплостанская возвышенность является водоразделом между долинами рек Москвы и Пахры. Она расчленяется многочисленными речками, берущими начало в ее пределах. Глубина расчленения изменяется от 30-40 м до 60-70 м и в этих глубоких врезках речек, оврагов и балок вскрываются коренные преимущественно меловые породы и донская морена. Широко развиты оползни.

Деснинско-Пахринская (Троицкая) моренно-эрозионная равнина шириной около 10 км на западе до 4 км в районе Троицка занимает водораздел рек Десны и Пахры. Абс. отм. ее поверхности снижаются с запада на восток с 200 м до 170 м. На западе это моренная равнина московского оледенения, имеющая пологоволнистый рельеф. На востоке более плоскую поверхность имеет водно-ледниковая (аллювиально-флювиогляциально-озерная) равнина

времени отступления московского оледенения, сложенная песками, местами глинами с торфом озерного генезиса. Четвертичные отложения залегают на неровной поверхности коренных пород (нижнемеловых в западной и среднеюрских в восточной частях). В последней под юрскими отложениями близко к поверхности залегают каменноугольные породы. Покровные суглинки сглаживают моренный и водно-ледниковый рельеф.

Пахринско-Мочинская моренно-эрозионная равнина. Абсолютная ее высота колеблется около 200 м. Широкая (10-12 км) слабохолмистая равнина сложена меловыми отложениями в западной части, юрскими и каменноугольными – в восточной. Четвертичный покров представлен маломощными (1-3 м) моренными суглинками, водно-ледниковыми (флювиогляциальными) песками и озерно-ледниковыми песками, алевритами и глинами, перекрытыми покровными лессовидными суглинками мощностью до 3 м. В рельефе это волнистая, местами мелкохолмистая, на флювиогляциальных отложениях плоская равнина, с врезанными на глубину 30-40 м речками – притоками Мочи и Пахры.

Нара-Мочинская равнина имеет сложное геолого-геоморфологическое строение с абс. отм. от 220 м на западе до 190-200 м на востоке. В отличие от предшествующих водораздельных равнин она вытянута в ЮВ направлении. Она интенсивно дренируется притоками Мочи, текущими на север, притоками Нары, текущими на запад, и р. Лопасней в верхнем течении, текущей на юг в р. Оку. Равнина сложена в западной части мореной, перекрытой флювиогляциальными отложениями отступления московского оледенения, общей мощностью 8-10 м. Они залегают на нижнемеловых (готерив-аптских) песках с прослоями глин. На востоке равнина сложена донской мореной, мощностью 3-5 м, залегающей на известняках среднего карбона, которые на водоразделе правого притока Мочи и Нары находятся на высоте 170 м (с. Ворсино), а на междуречьях поднимаются еще выше. Вследствие этого здесь широко развит карстовый рельеф (верховья р. Лопасня).

Долинный комплекс рельефа (долины рек Москвы, Десны, Пахры, Мочи) выделен как самостоятельный, развит во всех областях, районах и подрайонах. Это долины рек Москвы восточнее Звенигорода (входит в новую территорию участком длиной около 15 км), долины рек Десны, Пахры и Мочи. Все они показаны едиными контурами, без выделения в них пойм и террас. Последние сложены позднеплейстоценовыми аллювиальными и водно-ледниковыми песчано-гравийно-галечными отложениями, врезанными в ледниковые, а часто в коренные меловые, юрские и каменноугольные отложения. Поймы сложены голоценовыми супесчано-суглинистыми осадками, часто с торфом. Высоты позднеплейстоценовых аллювиальных террас в долинах рек практически одинаковы. На склонах развиты фрагменты третьей и четвертой террас, сложенных среднеплейстоценовыми в основном флювиогляциальными отложениями. Помимо аллювия дно долин часто выполнено раннеплейстоценовыми моренами – сетуньской в наиболее глубоких частях и донской, последняя спускается по склонам водоразделов в долины рек.

Геоморфологическое районирование присоединенной территории Москвы позволяет использовать его в качестве основы для специализированного структурно-геоморфологического крупномасштабного картирования, анализа новейшей тектонической структуры, ее современной активности с оценкой геоэкологического состояния геологической среды новой территории города при изысканиях и проектировании сооружений.

Литература

1. Вагнер Н.Г., Манучарян Б.О. Геология, рельеф и полезные ископаемые Московского региона: Учеб. пособие по курсу «География и экология Московского региона». – М., 2003.
2. Геология СССР. Т.4. – М., 1971.
3. Григорьева С.В., Макаров В.И. Крупномасштабное картографирование новейшей тектоники платформенных территорий (на примере Москвы) // Геоэкология. – 2010. – № 2. – С. 99-114.
4. Дик Н.Е., Лебедев В.Г., Соловьев А.И., Спиридонов А.И. Рельеф Москвы и Подмосковья. – М.: Гос. изд-во геогр. лит-ры, 1949.
5. Коробова И.В., Григорьева С.В., Макеев В.М. Структурно-геодинамические условия – один из главных факторов стабильности территории освоения (на примере Москвы). // «Сергеевские чтения». Вып. 15. – М.: РУДН, 2013. – С. 255-259.
6. Макаров В.И., Бабак В.И., Гаврюшова Е.А., Федонкина И.Н. Новейшая тектоническая структура и рельеф Москвы // Геоэкология. – 1998. – № 4. – С. 3-20.
7. Москва. Геология и город / Ред. В.И. Осипов, О.П. Медведев. – М.: Московские учебники и картография, 1997. – 400 с.
8. Спиридонов А.И. Геоморфологическое картографирование. М.: Недра, 1975.

РАЗВИТИЕ ИДЕЙ АКАДЕМИКА Е.М. СЕРГЕЕВА В ОБЛАСТИ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКОГО КАРТОГРАФИРОВАНИЯ НА ПРИМЕРЕ КАРСТООПАСНОЙ ТЕРРИТОРИИ ПЕРМСКОГО КРАЯ

Ю.А. Мамаев, А.А. Ястребов, Л.В. Канаева

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

Академик Е.М. Сергеев относится к плеяде российских ученых мирового уровня. Обширные знания, твердый целеустремленный характер, организаторский талант и человеческая мудрость снискали ему заслуженное уважение, симпатии и благодарную память его коллег, учеников, студентов и просто знакомых с ним людей.

Знания и опыт, наряду с корректностью, демократизмом и доброжелательностью в отношениях с людьми обеспечивали ему безусловный авторитет и безоговорочные позиции в руководстве разными коллективами: от

крупнейших образовательных учреждений: МГУ им. М.В. Ломоносова, Академия народного хозяйства при Правительстве РФ, до Всероссийских и международных творческих коллективов, создававшихся для решения важных научных и практических задач.

Огромный вклад академик Е.М. Сергеев внес в развитие всех направлений инженерно-геологических исследований: грунтоведение, механика грунтов, техническая мелиорация грунтов, физико-химические процессы в грунтах, инженерная геодинамика, региональная инженерная геология и картографирование и другие.

Воспринимая все новое, неординарное каким бы сложным оно не казалось, сразу оценивая перспективы и преимущества новаций, академик Е.М. Сергеев стоял у истоков таких научных направлений как региональная инженерная геология, инженерная геология Земли, охрана и рациональное использование геологической среды и геология урбанизированных территорий.

Трудно переоценить его роль в развитии региональной инженерной геологии, в изучении и картографировании инженерно-геологических условий таких огромных регионов как Восточная и Западная Сибирь, Нечерноземская зона Европейской части РФ, трасса Байкало-Амурской магистрали, долины рек Ангара, Енисей, Обь других территорий.

Большое внимание академик Е.М. Сергеев уделял разработке методологии составления и использования информации инженерно-геологических карт. Под его научным руководством разрабатывались атласы карт: «Инженерно-геологическая карта Западно-Сибирской плиты», масштаб 1:1500 000; «Карта прогноза и просадочности лессовых пород СССР», масштаб 1:2500 000; «Карты для территории Нечерноземной зоны Европейской части РСФСР», масштаб 1:1500 000 и другие.

В каждой из этих работ помимо хорошо известных карт инженерно-геологических условий и районирования, всегда разрабатывались новые карты: «Карта геоморфолого-неотектонического районирования», «Карта грунтовых толщ», «Карта геокриологических условий» и другие.

В этих работах впервые была сделана попытка составления карт геоэкологического содержания, а именно: цикл карт изменения геологической среды в связи с разной хозяйственной деятельностью человека, в т.ч. энергетическим дорожным, гидромелиоративным, гражданским и промышленным строительством.

Последнее направление: инженерно-геологическое картографирование урбанизированных территорий поддержали и развили в своих работах сотрудники Института геоэкологии им.Е.М. Сергеева РАН, руководимые академиком В.И.Осиповым. Ими созданы карты г.Москвы, отдельных территорий Северного Кавказа, Урала, Дальнего Востока.

Были разработаны инженерно-геологические карты нового поколения, которые включают следующие наименования: «Карты распространения чрез-

вычайных ситуаций природного и техногенного характера на территории РФ», масштаб 1:25 000 000, «Карта индивидуального риска на территории РФ», «Карта районирования территории РФ по степени геологического риска», «Карта районирования по степени геохимического риска», «Карта устойчивости территории к техногенным воздействиям», «Карта районирования по степени опасности развития геологических процессов», «Карта уязвимости территории и объектов опасными природными процессами» и другие.

Примером разработки новых карт является составление комплекта инженерно-геологических карт на территорию г. Березники Пермского края.

Город расположен в центре крупнейшего в РФ Верхнекамского месторождения калийно-магниевых солей. Выработанное подземное пространство шахтного поля, расположенного здесь рудника простирается под промышленной зоной и жилыми кварталами города. В 2006 г. на руднике произошла крупная техногенная катастрофа – прорыв подземных вод в шахтные выработки объемом более 80 млн.м³. Затопление рудника продолжалось два года и привело к образованию в 2007 г. провала дневной поверхности с плановыми размерами 300х400 м и глубиной более 90 м. В 2010 и 2011 гг. случились еще два провала меньших размеров. На территории города мониторинговыми наблюдениями установлены участки с высокими скоростями опускания поверхности, что указывает на продолжающееся развитие процесса.

Целью комплексных инженерно-геологических работ является оценка и прогноз развития опасных деформаций и провалов поверхности для разработки мер по стабилизации ситуации и минимизации рисков.

Картосоставительские работы включали разработку легенд и макетов инженерно-геологических карт, в масштабе 1:25 000. Были выполнены следующие картографические материалы: цифровая модель рельефа; структурно-геоморфологическая карта; карта инженерно-геологических условий; карта-схема зонирования территории г.Березники по степени опасности геологических процессов.

Целью составления схемы зонирования территории города по степени опасности развития геологических процессов (рис.1) являлось выявление природных рискообразующих факторов и установление пространственного положения зон проявления и видов опасных геологических процессов. Это важно для целенаправленного планирования изыскательских и мониторинговых работ и учета в строительных проектах.

В соответствии с классификацией инженерно-геологических карт данная схема относится к синтезированным (обобщенным) специализированным картам инженерно-геологического районирования оценочно-сравнительного типа.

Составление данной схемы осуществлялось на основе анализа информации, содержащейся на тематических картах и схемах по исследуемому району: геоморфологической, геологической, структурной, гидрогеологической, инженерно-геологической, функционального зонирования территории и других. Анализировались также данные изыскательских работ и дистанционных съемок.

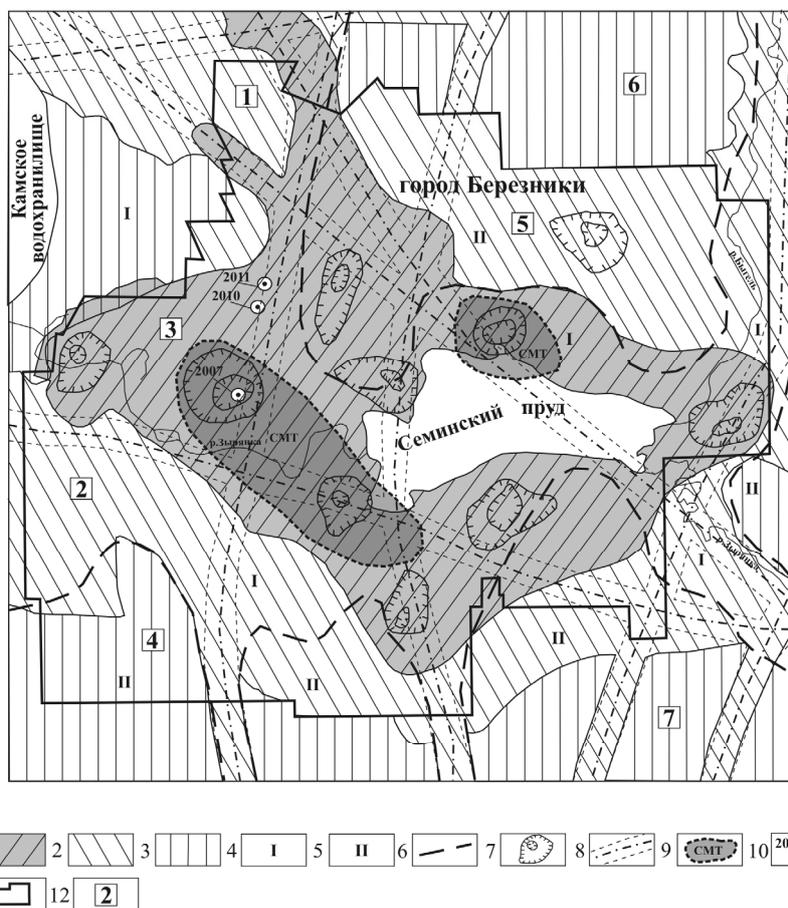


Рис. 1. Схема зонирования территории г. Березники по степени опасности развития геологических процессов:

Участки территории с разной степенью опасности геологических процессов: 1 – высокой; 2 – средней; 3 – низкой. Инженерно-геологические области: 4 – область долин рек Камы и её притоков; 5 – область водораздельных массивов коренных пород (терригенно-карбонатной толщи); 6 – границы инженерно-геологических областей; 7 – участки со значительными (0.7-4.3 м) оседаниями земной поверхности; 8 – зоны тектонических нарушений в надсолевой толще пород; 9 – границы участков с близким к поверхности залеганием пород соляно-мергельной толщи (СМТ); 10 – участки провалов земной поверхности и годы их образования; 11 – граница выработанного подземного пространства шахтного поля БКПРУ-1; 12 – номера участков.

При разработке схемы на территории г. Березники и прилегающих районов были выделены инженерно-геологические таксоны разных порядков, а именно: по геоморфологическим признакам две крупные области: (область I – долины рек Камы и её крупных притоков; область II – водораздельные массивы, сложенные коренными породами верхней перми), а внутри их более

мелкие районы – по особенностям геологического строения. Критериями выделения инженерно-геологических районов служили возраст, генезис, литологический состав и мощности четвертичных отложений, а также особенности геологического разреза подстилающих коренных пород. Таким образом, территория была подразделена на несколько типовых территориальных выделов (таксонов) с многослойной геологической средой. В границах одних районов отмечается активное развитие опасных геологических процессов, в т.ч. оседания и провалы земной поверхности, в других – устойчивое состояние геологической среды.

По совокупности геологической и мониторинговой информации о составе, состоянии и свойствах геологической среды и геологических процессах для каждого типа районов определялись основные (ведущие) природные рискообразующие факторы, которые наносились на схему в кодах пронумерованных участков, в числителе дроби. По этим факторам устанавливаются (прогнозируются) возможные наиболее опасные инженерно-геологические процессы, которые влияют на устойчивость (безопасность) геологической среды. Они также нанесены на схему значками в кодах участков, в знаменателе дроби.

По совокупности рискообразующих факторов и опасных геологических процессов для выделенных районов экспертным путем определялась степень опасности развития геологических процессов.

На основе данной схемы зонирования в более крупном масштабе 1:10 000 составлена карта уязвимости промышленных и гражданских объектов города от опасных природных процессов, учитывающая также степень ответственности объектов и класс опасности промышленных производств. Данная информация важна для разработки организационных и инженерно-технических мероприятий, направленных на минимизацию экономических и социальных рисков.

ВЛИЯНИЕ ГЕОЛОГИЧЕСКОГО И ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКОГО СТРОЕНИЯ НА ФОРМИРОВАНИЕ РЕЧНОГО СТОКА В РЕСПУБЛИКЕ АРМЕНИЯ

В.Г. Маргарян

Ереванский государственный университет, г. Ереван, ул. А. Манукяна, 1.
E-mail: vmargaryan@ysu.am

Формирование речного стока на реках Республики Армении определяется, в основном, влиянием физико-географических и меняющихся от года к году метеорологических факторов.

Территория Республики Армении характеризуется большим разнообразием геолого-гидрогеологических условий. Здесь представлена почти без перерывов вся стратиграфическая колонна от древнейших докембрийских до самых молодых четвертичных отложений.

Речной сток Армении принадлежит двум бассейнам: Куры и Аракса. Из всей территории республики 29,8 тыс. км² на долю Куринского бассейна приходится 26,5 %, а Араксинского бассейна – 73,5, в том числе на долю Севанского бассейна падает 16,0 %.

В республике больше 330 рек длиной 10 и более километров. Однако многие реки не имеют постоянного стока и летом пересыхают. Основу гидрографической сети составляют малые реки длиной менее 10 км (97,4 % общего количества водотоков и 68,3 % суммарной их длины) [3].

Геологическое строение водосборов оказывает существенное влияние на величину потерь талых вод и жидких осадков, которая в различных бассейнах рек имеет различный характер. Так, например, бассейны рек притоков Куры сложены сравнительно менее проницаемыми породами. Здесь происходят меньшие потери талого стока, нежели в бассейнах рек притоков Аракса, где распространен молодой сильно трещиноватый покров вулканических лав, поглощающих основную массу талых и дождевых вод.

Вулканизм наложил своеобразный отпечаток на всю природу республики. Новейшие излияния лав, сопровождаемые туфами и вулканическими брекчиями, почти повсюду распространены на нагорьях Армении. Кроме лав, на нагорьях Армении широко распространены туфовые поля, полигенные вулканы с центральными кратерами, интрузивные купола и многочисленные кратерные шлаковые конусы.

Вулканические породы способствуют впитыванию атмосферных осадков вглубь, а сильно расчлененные горные хребты – интенсивному дренированию подземных вод, которые в дальнейшем аккумулируются в речных долинах и межгорных прогибах.

По фильтрационным свойствам зона вулканических нагорий резко отличается от остальных орографических зон тем, что подземная составляющая водного баланса здесь значительно больше, ввиду трещиноватости плиоценовых и четвертичных лав (базальтов, андезито-базальтов, дацитов, трахитов) и наличия хорошо проницаемых почвогрунтов.

В высокогорьях вследствие морозного выветривания лавы образуют хаотические глыбовые нагромождения – чингилы, которые являются прекрасными коллекторами атмосферной влаги. С чингилами связаны выходы мощных родников у подножья вулканических массивов, чего почти нет в зонах складчато-глыбовых хребтов [1].

Территория республики, тяготеющая к Куринскому бассейну, в основном сложена осадочными и интрузивными, слабо фильтрующими породами, тогда как зоны, относящиеся к Араксинскому бассейну, имеют обширные площади, сложенные трещиноватыми эффузивными породами, поглощающими атмосферные осадки и затем равномерно отдающими их рекам через многочисленные родники. Поэтому сток рек Куринского бассейна, имеет рез-

ко выраженный сезонный характер, а сток рек Араксинского бассейна – сравнительно равномерный и с повышенной зарегулированностью (рис. 1).

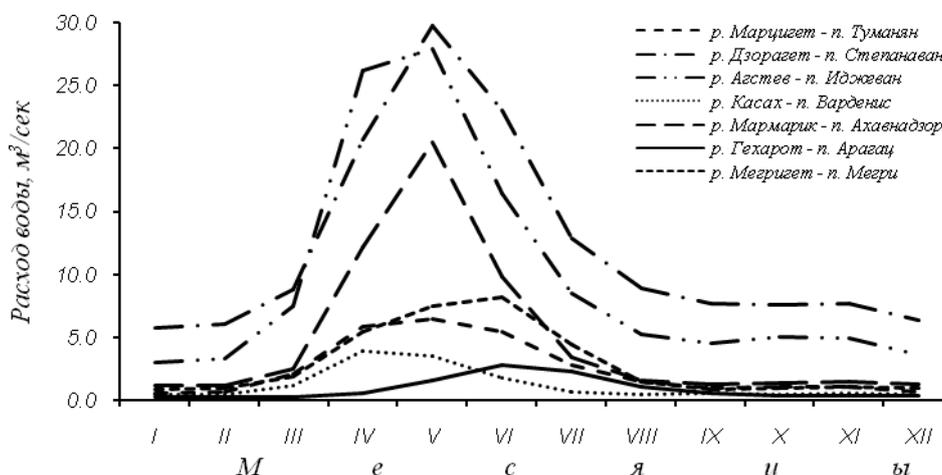


Рис. 1. Годовой ход речного стока в бассейне Куры (Марцигет, Дзорагет, Агстев) и Аракса (Касах, Мармарик, Гехарот, Мегригет)

В годы с примерно одинаковыми снегозапасами, осенним увлажнением и характером весны на реках притоков Куры, бассейны которых сложены непроницаемыми породами, слой стока весеннего половодья значительно выше, чем на реках притоков Аракса, покрытых трещиноватыми породами. В гидрогеологических условиях большую роль играют лавовые покровы, занимающие центральную часть республики и сnivelировавшие древний рельеф. Благодаря большой трещиноватости лавовые покровы являются хорошими аккумуляторами атмосферных осадков [4].

Атмосферные осадки, выпадая на такие участки, а также и талые воды, теряют значительную часть своих запасов на инфильтрацию в грунт. Благодаря этому создаются благоприятные условия для питания рек грунтовыми и подземными водами. Значительная часть подземных запасов влаги вскрывается эрозионными врезами и дренируется реками.

К участкам с трещиноватыми лавами относятся бассейны рек Касах, Севджур, Гаварагет, Азат, где подземное питание, связанное с обильными выходами подземных вод в русла рек, составляет 55-90 % годового стока. Трещиноватыми породами сложено также левобережье р. Раздан, с которого почти не происходит поверхностного стока. В то же время правобережье реки сложено преимущественно слабопроницаемыми породами осадочного происхождения.

На северо-востоке, в пределах зоны складчато-глыбовых хребтов, развиты осадочные, сильно складчатые отложения мезозоя и палеогена – известняки, песчаники и др. Вследствие сильной изрезанности территории и боль-

ших уклонов атмосферные осадки инфильтруются здесь несравненно слабее, чем в вулканических районах, и подземные воды в питании рек не принимают заметного участия. Так, например, в бассейне оз. Севан, где северо-восточная часть относится к складчато-глыбовым хребтам, а юго-западная к вулканическим, в пределах сильно трещиноватых лав Гегамского хребта весенний сток составляет всего 22-30% годового, на северных склонах Варденисского хребта 60-70%, на склонах хребтов Арегуни и Севанского 68-72% и в бассейне р. Дзыгнагет 87% [4].

Относительными водоупорами являются породы кислых и средних интрузий: граниты, гранодиориты, сиениты и др. Они встречаются на северо-западе в Сомхетских горах, в средней части Памбакского хребта и особенно распространены на крайнем юго-востоке республики, в бассейнах рек Вохчи и Мегригет.

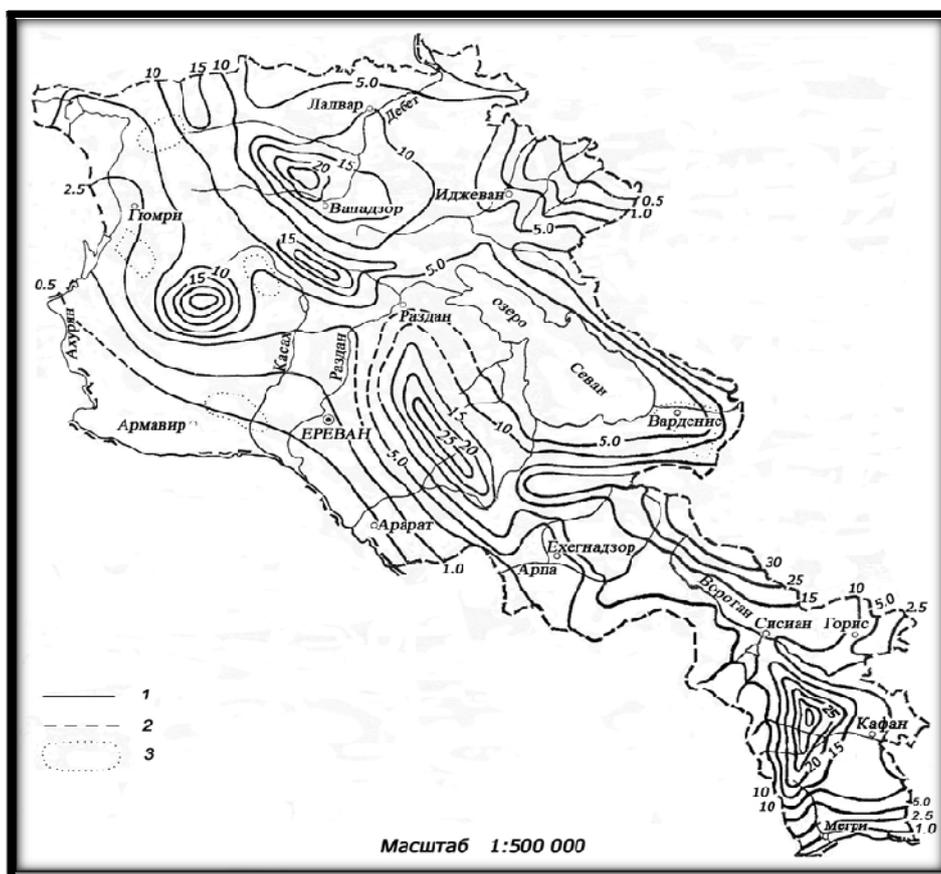


Рис. 2. Карта общего речного стока (л/сек км²) Республики Армении:

- 1 – изолинии модулей стока, 2 – изолинии, проведенные приближенно,
- 3 – контуры участков аномальных условий формирования стока [3]

К группе водонепроницаемых пород относятся также породы основных и ультраосновных интрузий, как габбро, змеевики, габбродiorиты. Они встречаются у вершин Севанского хребта в верховьях р. Веди и небольшими пятнами в некоторых других частях территории. В районе Цахкуникских гор в водосборах рек Мармарик и Даллар распространены докембрийские метаморфические кварциты и сланцы.

В зоне складчато-глыбовых хребтов на юго-западе и юге республики инфильтрация атмосферных осадков очень незначительна и здесь же отмечается мало родников с большим дебитом, в результате чего наблюдается крайне слабая зарегулированность стока. В этих районах хребты сложены вулканогенными, отчасти осадочными породами, встречаются также большие массивы интрузивных пород. Здесь водоносность пород обуславливается только их трещиноватостью. Поэтому подземные воды в основном циркулируют в поверхностной зоне, где развиты трещиноватые породы, а именно: в делювии и на контакте его с коренными породами. Вследствие этого большая часть поступающей влаги уходит в виде поверхностного стока (рис. 2).

Таким образом, геологические и гидрогеологические условия каждого бассейна определяют путь стекания образовавшихся от выпадения осадков или инфильтрации вод в недра земли, при этом образуется так называемый базисный сток.

Литература

1. *Габриелян Г.К.* Эрозия рек Армянской ССР (на армянском яз.). – Ереван: Изд. ЕГУ, 1973. – 175 с.
2. *Гидрография Армянской ССР* (на армянском яз.). – Ереван: Изд-во АН Арм. ССР, 1981. – 177 с.
3. *Мусаелян С.М.* Водные ресурсы Армянской ССР. – Ереван: Изд. ЕГУ, 1989. – 208 с.
4. *Шагинян М.В.* Основные закономерности формирования элементов стока рек Армянской ССР и методика их прогнозирования. – Л.: Гидрометеоздат, 1981. – 176 с.

ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ РАЙОНИРОВАНИЕ УРБАНИЗИРОВАННЫХ ТЕРРИТОРИЙ ДЛЯ ЦЕЛЕЙ ГРАДОСТРОИТЕЛЬНОГО ОБОСНОВАНИЯ

**В.И. Осипов, В.Н. Бурова, В.Г. Заиканов, С.В. Козловский,
И.В. Козлякова, О.К. Миронов**

ИГЭ РАН, 101000 Москва Уланский пер. д. 13 стр. 2.

Инженерно-геологические условия исследуемых территорий формируются в процессе длительного геологического развития, которое обуславливает пространственно-временную изменчивость геологических объектов и тем самым отражает основные фундаментальные свойства литосферы.

Наиболее достоверным способом определения инженерно-геологических закономерностей пространственно-временной изменчивости геологических объектов могут быть обеспечены комплексным изучением состава и свойств геологической среды на основе принципов и подходов, применяемых при инженерно-геологическом районировании территорий. При этом совокупность инженерно-геологической обстановки, имеющей значение для проектирования, строительства и эксплуатации зданий и сооружений следует воспринимать как инженерно-геологические условия. По существу инженерно-геологические условия следует обосновывать с позиции системного анализа.

В основе методологического подхода инженерно-геологического районирования урбанизированных территорий Институтом геоэкологии им. Е.М. Сергеева РАН предложено использование индексного метода характеристики таксонов различных рангов. Взамен набора таксонов «регион–область–район–участок» обосновано введение в практику инженерно-геологического картографирования таксономия единиц геологических массивов «мегамаассив–макромаассив–мезомаассив–инженерно-геологический массив», представленных в табл.1.

Наименование уровней организации таксономических единиц инженерно-геологической информации, совпадающей с наименованиями административно-территориального деления, создает определенные трудности при районировании урбанизированных территорий.

Для выделения таксонов уровня «мегамаассив» используется структурно-геодинамический подход, заключающийся в определении тенденции территории к относительному поднятию или опусканию.

Уровень районирования «макромаассив» характеризует геоморфологическое строение территории города, отражающее историю развития рельефа в четвертичное время.

Таблица 1

Система таксономических единиц геологических тел для целей реализации инженерно-геологического районирования

Уровни организации таксономических единиц инженерно-геологической информации		Ведущие признаки районирования
Геологических параметров (предлагаемые)	Административно-территориального деления (наименования по административно-территориальному признаку)	
Мегамаассив	Регион	Структурно-геодинамические
Макромаассив	Область	Геоморфологический
Мезомаассив	Район	Литолого-стратиграфический
Инженерно-геологический массив	Территория (участок)	Инженерно-геологические

Мезомассивы следует выделять в границах макромассивов по типу геологического строения с учётом наличия сочетаний в разрезе до глубины картируемой толщи литолого-стратиграфических комплексов. Заключительный уровень районирования соответствует выделению в пределах мезомассивов оценочных таксонов – инженерно-геологических массивов.

Сложность инженерно-геологических условий определяется по наличию неблагоприятных геологических процессов, слабых и специфических грунтов.

Оценка инженерно-геологического массива предполагает три категории сложности – низкую, среднюю и высокую.

В зависимости от целей и задач составления карты инженерно-геологического районирования, результаты картирования следует применять для обоснования проектных и строительных решений различного назначения или решения прочих задач градостроительного обоснования, в том числе условий освоения подземного пространства, инженерной защиты, постановки системы мониторинга геологической среды и гидрогеологических условий, при возникновении аварийных и чрезвычайных ситуаций, на предпроектных стадиях выполнения инженерно-геологических изысканий для расчёта видов и объёмов планируемых работ, принятия планировочных и градостроительных решений.

Основу составления карты инженерно-геологического районирования составляют классический тематический информационный ресурс о составе и свойствах геологической среды (карты четвертичных отложений, карты коренных пород, гидрогеологические карты, карта сейсмического микрорайонирования и др.).

В качестве частного решения задач градостроительного обоснования одним из методологических подходов является создание синтетических тематических карт на основе имеющейся геологической и инженерно-геологической информации различных уровней генерализации.

К результатам подобного типа исследований следует относить карты развития неблагоприятных геологических процессов, условий взаимосвязей водоносных горизонтов, условий освоения территории и (или) подземного пространства по комплексу системообразующих критериев

Принципиальной новизной подобного подхода при интерпретации исходной информации является методологический подход, заключающийся в генерализации исходных классических геологических и инженерно-геологических сведений, применительно к районированию по критериям позволяющим выполнить оценку природных условий с точки зрения систематизации неблагоприятных факторов, влияющих на проектирование, строительство и безопасную эксплуатацию зданий и сооружений.

Результаты подобных исследований являются весьма ощутимыми уже на первоначальных этапах подготовки и составлении концепции градостроительного обоснования, когда недостаточный объём инженерно-геологической информации является существенным аспектом в принятии исходных или предварительных решений.

Критериями выделения категорий опасности служат длительность и интенсивность неблагоприятных геологических процессов, степень развития процесса и наличие современных проявлений, геологическое строение, гидрогеологические условия. Это позволяет оценить природные опасности и риски, обусловленные наличием неблагоприятных геологических процессов на территориях проектируемого строительства.

Основной задачей использования информационного ресурса является систематизация и анализ информации на основании имеющейся архивной документации различного назначения, создание геоинформационного ресурса для дальнейшего решения градостроительного обоснования развития, совершенствования генерального плана, проектирования, строительства и безаварийной эксплуатации, рационального освоения подземного пространства, обеспечение управленческих решений и ключевых подходов при возникновении чрезвычайных ситуаций.

С использованием карты инженерно-геологического районирования решение задачи градостроительного обоснования может проводиться на основе существующих представлений о геологическом строении, гидрогеологических условиях, экзогенных и эндогенных процессах, существенно влияющих на проектирование, строительство и в дальнейшем безаварийную эксплуатацию зданий и сооружений.

По существу, после введения СП_47.13330.2012 (Инженерные изыскания для строительства. Основные положения) выполнение инженерно-геологических изысканий на основании Градостроительного кодекса следует проводить в одну стадию для подготовки проектной документации. Подобный административный подход существенно повлиял на изучение геологической среды на предпроектных этапах исследований. При этом систематизация существующей инженерно-геологической информации в качестве картографического продукта, отвечающего критериям типизации верхней части литосферы, безусловно, является существенным аспектом в принятии решений.

В 2006-2009 г.г. Институтом геоэкологии РАН осуществлена подготовка карты инженерно-геологического районирования территории г. Москвы масштаба 1:10000, которая подтвердила достоверность методологического подхода при составлении крупномасштабных геологических тематических карт инженерно-геологического назначения.

Литература

1. Кутепов В.М., Анисимова Н.Г., Ерёмкина О.Н., Кожевникова И.А., Козлякова И.В. Карта дочетвертичных отложений как основа крупномасштабного геологического картирования территории г. Москвы // Геоэкология. – 2011. – № 5. – С. 399-410.
2. Москва. Геология и город // Под ред. В.И. Осипова, О.П. Медведева. – М.: Изд-во Московские учебники и Картолитография, 1997. – 399 с.
3. Осипов В.И. Геологическая среда и будущее городов: проблемы и решения. Инженерно-геологические проблемы урбанизированных территорий. Материалы международного симпозиума. – Екатеринбург: Изд-во Аква Пресс, 2001. – С. 72-78.

4. *Осинов В.И.* Геологические условия градостроительного развития г. Москвы. – М.: Московские учебники СиДиПресс. – 18 с.

5. *Осинов В.И., Бурова В.Н., Заиканов В.Г., Молодых И.И., Пырченко В.А., Савицько И.С.* Карта крупномасштабного (детального) инженерно-геологического районирования территории г. Москвы // Геоэкология. – 2011. – № 4. – С. 306-318.

6. *Осинов В.И.* Крупномасштабное геологическое картирование территории г. Москвы // Геоэкология. – 2011. – № 3. – С. 195-197.

ВЛИЯНИЕ НЕКОТОРЫХ НЕГАТИВНЫХ ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ (НА ПРИМЕРЕ КАШКАДАРЬИНСКОЙ ОБЛАСТИ)

Ф.А. Охунов

Государственное предприятие «Институт ГИДРОИНГЕО», г. Ташкент, ул. Олимлар, 64.
E-mail: hydrouz@olam.uz

Мы уже убедились в том, что гидрогеология играет жизненно важную роль на всех этапах городского и регионального планирования, в строительстве и процветании страны. Люди начинают понимать, что скрывающиеся под различными сооружениями геологические особенности должны быть выявлены и описаны, так как без этого невозможно всесторонне понять природу земной коры. Как и в большинстве крупных промышленных стран, из-за ускорения процесса урбанизации и увеличения техногенного воздействия на природную среду быстро ухудшается качество окружающей среды, повышается экологический и геологический риск проживания людей.

Все это создает территориально сосредоточенное воздействие на геологическую среду и другие компоненты окружающей среды, вызывая в них необратимые изменения. Нарушение устойчивости первой провоцирует развитие различных геологических процессов, вызывающих преждевременные деформации зданий и сооружений, ускоренное разрушение подземных коммуникаций.

Геологический риск определяется вероятностью развития нежелательных природных или природно-техногенных явлений в результате активизации геодинамических процессов, создающих угрозу населению, ухудшающих экологическую обстановку в городе и способствующих преждевременному износу и выходу из строя зданий и сооружений. Развитие факторов геологического риска и их проявление зависят от состава, строения и состояния геологической среды, а также вида и интенсивности техногенного воздействия.

По степени геологического риска выделены три типа территории: актуального риска, потенциального риска и устойчивые. К первому относятся территории, в пределах которых развитие одного или одновременно нескольких геодинамических процессов уже привело к возникновению опасных яв-

лений в виде просадочных деформаций зданий и сооружений, подтопления, загрязнения, суффозии и оползней и т.д. На территориях второго типа риска идут геодинамические процессы, способные вызвать опасные явления. Территории третьего типа природным и техногенным воздействиям не подвержены. Развитие каждого процесса приурочено к определенным геологическим условиям и видам техногенного воздействия, имеет свои пространственные и временные закономерности, характеризуется определенными причинно-следственными связями при оценке риска.

Подтопление, один из негативных гидрогеологических процессов, связано с повышением уровня подземных вод на данной территории. Территории, в пределах которых УГВ залегает на глубине менее 3,0 м от поверхности земли (здесь расположено большинство подземных коммуникаций, подвалов зданий и сооружений), являются подтопленными. К ним относятся также территории с глубиной залегания УГВ от 3 до 5 м (здесь расположены здания и сооружения повышенной этажности с эксплуатируемыми подвальными помещениями). Основная причина регионального подтопления – расширение орошаемых земель, увеличение питания грунтовых вод из-за утечек при реконструкции ирригационной сети и повышения ее пропускной способности, из водонесущих коммуникаций (водопровода и канализации, систем теплоснабжения); фильтрации из каналов, водохранилищ, строительных котлованов, при поливах зеленых насаждений, таянии снега над теплонесущими коммуникациями и подземными сооружениями.

Кашкадарьинская область находится в благоприятных климатических условиях, способствующих выращиванию ценных тонковолокнистых сортов хлопчатника, производству зерновых (богарных) культур, продуктов садовинаградарства, развитию отгонного животноводства, где первое место принадлежит развитию каракульных овец. Основным направлением в развитии народного хозяйства области, является расширение орошаемого земледелия и повышение его урожайности. По данным отдела землеустройства Облводхоза на 01.01.2007 общий земельный фонд составлял 2483631 га, из которых 499005 га орошаются. Эти данные свидетельствуют, что за последние 50 лет орошаемые территории увеличивались два раза (рис. 1).

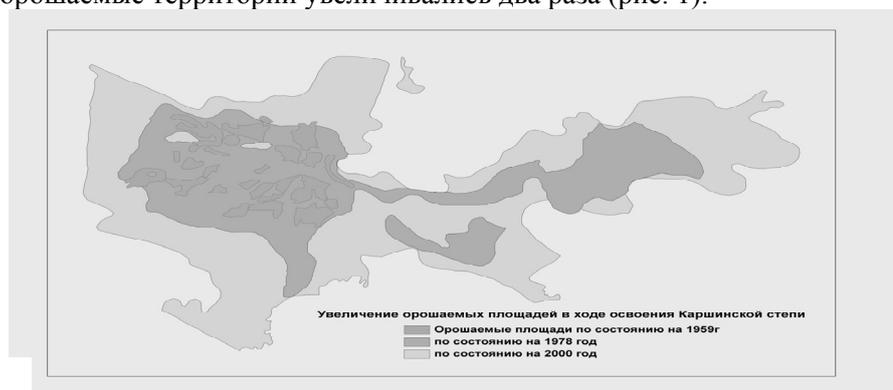


Рис. 1.

В связи с освоением Каршинской степи также поднимались уровни грунтовых вод. Это привело к ухудшению экологической ситуации, в связи с подтоплением территории.

Опыт показывает, что на массивах нового орошения уже на 2-3 год орошения уровень грунтовых вод поднимается на 3-4 метра при исходной глубине в 5-7 м от поверхности земли. Это обуславливает необходимость проведения гидрорежимных исследований для разработки мероприятий по мелиоративному регулированию режима грунтовых вод.

Загрязнение подземных вод также является одним из негативных гидрогеологических процессов. По данным Всемирной Организации Здравоохранения вода содержит 13 тысяч потенциально токсичных элементов, 80% заболеваний передаётся водой. От них на планете ежегодно умирают 25 млн. человек.

Основные источники загрязнения водных ресурсов принесла цивилизация. Поверхностные и подземные воды нашей стране в наибольшей степени загрязнены нефтепродуктами, фенолами и легко окисляемыми органическими веществами.

При интенсивном антропогенном воздействии на природную среду подземные воды подвергаются загрязнению. Техногенная нагрузка на подземные воды, обусловленная различными видами хозяйственной деятельности, продолжает оставаться одним из основных факторов, влияющих на гидрогеохимические процессы и вызывающих загрязнение пород зоны аэрации и подземных вод.

Применительно к подземным водам, являющимся элементом окружающей среды, понятие «загрязнение подземных вод» определяется следующим образом – это вызванное хозяйственной деятельностью изменение качества подземных вод (физических, химических и микробиологических показателей и свойств) по сравнению с естественным состоянием и санитарно-гигиеническими нормами к качеству питьевой воды, которые частично или полностью исключают возможность использования этих вод в питьевых целях без предварительной их водоподготовки или обработки.

Литература

1. Охунов Ф.А., Абдуллаев Б.Д., Тахиров Н.Т., Исабаев К.А., Авулчаев Т.Я. Наманган вилоятда захланишни юзага келтиривчи омиллар // Материалы Республиканской научно-технической конференции. Институт ГИДРОИНГЕО. – Ташкент, 2003. – С. 57-59.
2. Охунов Ф.А. Некоторые вопросы гидрогеолого-мелиоративных условий Каршинской степи // Материалы Республиканской научно-технической конференции. Институт ГИДРОИНГЕО. – Ташкент, 2013. – С. 64-66.
3. Ходжибаев Н.Н., Арипов К.М. Гидрогеолого-мелиоративные условия Каршинской степи. – Ташкент: Изд-во «ФАН», 1975. – 315 с.

РАЙОНИРОВАНИЕ ТЕРРИТОРИИ ОСТРОВА ОЛЬХОН ПО ГРУППАМ ЭКЗОГЕННЫХ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

В.А. Пеллинен

Институт земной коры СО РАН, 664033. E-mail: pellinen@crust.irk.ru

В основу методики районирования территории с последующим построением картографического материала взяты инженерно-геологические принципы, разработанные И.В. Поповым (1959), Г.А. Голодковской (1969), А.И. Шеко (2000), В.М. Литвиным (1989), В.Н. Островским и И.Н. Ципиной (1992), И.П. Ионовым и Ю.Б. Тржцинским (2001), В.К. Лапердиным (2003), К.Г. Леви и Е.А. Козыревой (2006). Также при районировании территории острова использовались качественные и количественные данные собранные лично автором за период с 2007 по 2012 год.

Анализ материалов исследований экзогенных геологических процессов (ЭГП) и форм их проявлений острова Ольхон показывает, что особенности из распространения, генезис, динамика и степень проявления тесно связаны с геолого-геоморфологическим строением территории, мерзлотно-гидрогеологическими, климатическими и техногенными условиями.

Наиболее важные различия в развитии ЭГП определяются геолого-структурным планом территории и связанным с ним составом и свойствами пород.

Метаморфические, магматические породы и осадочные отложения, слагающие о. Ольхон существенно различаются по физико-механическим свойствам, которые в свою очередь обуславливают проявления определённых ЭГП и различия инженерно-геологических, гидрогеологических и мерзлотно-условий в целом.

При районировании территории по характеру развития ЭГП с учетом среды их развития в основу выделения наиболее крупных единиц – областей положен геолого-морфоструктурный принцип, описанный В.М. Литвиным [4] и применённым на региональном уровне для территории юга восточной Сибири. На основе полученных данных и пользуясь данной методикой, для территории острова Ольхон было проведено локальное экзогеодинамическое районирование масштаба 1:200 000. Каждому выделенному полигону свойственно вполне определённое геологическое строение, тип рельефа, комплексы поверхностных отложений, характер распространения подземных вод и типичный набор ЭГП и форм их проявлений.

Все получившиеся полигоны можно разделить по морфологии на два типа – мелкосопочные (в основном равнинные территории незанесённые, высотные отметки не превышают 800 м, а углы наклона от 2° до 15°) и горные (расположены в северо-восточной части острова, высотные отметки от 800 до 1200 м, углы наклона от 15° до 70°). По площадной градации полигоны разделяются на большие (от 10 до 47 км²) и малые (менее 10 км²). Также поли-

гоны можно разделить на: закрытые (не имеющие выхода к водам Байкала) и открытого, причем последние составляют 90% от всего количества выделенных полигонов.

Чтобы узнать площадь, на которой развиты ЭГП, а в большей мере формы их проявления использовалась методика построения карт отображающих распространение каждого типа процесса или его форм проявления на данной территории. Для этого основной «оценочной» территориальной единицей является район-клетка со сторонами равной масштабу районирования территории. Алгоритм построения такой карты-схемы следующий: в начале была произведена разбивка исследуемой территории на квадраты со сторонами $\Delta X = \Delta Y = \text{CONST}$, где X, Y – координаты центра квадрата, далее определены координаты центров X, Y и численное значение самого центра, которые были внесены в таблицу с последующим ее экспортом в ГИС MapInfo. Формирование базы данных производилось в программе MS Excel, отсюда они экспортировались в программу Surfer, где строилась двумерная модель. Конечным действием стало экспортирование модели в ГИС MapInfo, где создавались слои электронной карты. [1]. Для территорий острова Ольхон в целях локального экзогеодинамического районирования использовались клетки со сторонами 2×2 км ($S_{\text{кл}} = 4 \text{ км}^2$) это обосновано масштабом созданной карты (1:200 000). В результате исследуемая территория была разделена на 220 квадратов. Для каждого квадрата был подсчитан коэффициент плотности каждого типа процесса. Коэффициент представляет из себя отношение площади квадрата к площади формы определённого ЭГП или области распространения. На основе многолетних исследований за ЭГП, автором были выделены пять групп процессов, которые наиболее распространены на исследуемой территории.

Развитие ЭГП обусловленных преимущественно деятельностью поверхностных вод определялась по площади эрозионных (овражных) форм. Получившийся карта прокоррелирована с картой густоты эрозионного расчленения [7]. Результатом такой корреляции стало совпадение полей наибольшей плотности дорог с территориями максимального расчленения. Также по данным дешифрирования космоснимков 2012 года было подсчитано, что протяженность системы дорог, тяготеющих преимущественно к северо-западному побережью острова, составляет 1311 км. В отличие от 1980 года, когда их протяжённость была 165 км. При совмещении информационных слоев по плотности распространения эрозионных форм и дорожной сети оказалось, что места проявления новых форм соответствуют участкам наибольшей плотности дорог. Это свидетельствует о том, что современная овражная эрозия и ее высокая скорость развития на острове определяется техногенной нагрузкой на геологическую среду.

Развитие ЭГП обусловленных преимущественно деятельностью подземных вод определялась по площади распространения карстовых форм. Данный слой отличается от других тем, что плотность на ней посчитана только в пределах границ карстующихся пород. Подсчет проводился по площади замкнутых и открытых (полуоткрытых) котловин, которые были выде-

лены по методике Г.П. Вологодского (1975) [2]. Активность современного карстового процесса на сегодняшний день минимальна и связана с небольшим количеством осадков и отсутствием постоянных водотоков на территории острова. В ходе натурных наблюдений в местах выхода на поверхность карстующихся пород, а это в основном мрамора с включением графита, были обнаружены такие формы проявления карста как каверны и небольшие пещеры сифонной формы, ниши. Одним из факторов активизации карста на Ольхоне могут стать утечки из коммуникаций зданий кемпинг-отелей и баз отдыха построенных на территории распространения карстующихся пород. Наиболее вероятное место активизации карста по данным построенного слоя на острове, является территория прилегающая к заливу Семь Сосен, а также урочищ Идиба и Хадай.

Развитие ЭГП обусловленных преимущественно деятельностью атмосферных, поверхностных, подземных и техногенных вод определялось площадью распространения заболоченности и подтопления территории. По данным дешифрирования космоснимков 2006 года и топоосновам масштаба 1: 25 000, нами были выделены предполагаемые заболоченные территории. В ходе полевых работ эти участки были уточнены. Болота на территории острова отсутствуют, поскольку измерены на всех участках мощности торфа, не превышают 30 см. Таким образом, все участки можно отнести к заболоченным. В центре поселка Хужир результате нарушения природных гидрогеологических условий возникло техногенное подтопление в виде небольшого озера глубиной 1-1,5 и площадью 0,0021 км² [3]. На территории острова заболоченные участки по месту положению можно разделить на открытые, которые примыкают к северо-западному побережью и закрытые находящиеся в понижениях горной части острова. Площадь и интенсивность распространения заболоченных земель меняется год от года и зависит предположительно от динамики подземных вод. Исключить атмосферные воды позволили натурные наблюдения. Так в 2010 территории урочищ Ургентей, Ташкиней были затоплены, у родников расположенных в береговой зоне наблюдалась активная разгрузка. Противоположная картина была зафиксирована уже на следующий год, а именно уровень воды в урочищах стал ниже поверхности и был встречен на глубине 70 см, что касается родников количество их, в береговой зоне, значительно снизилось. Исключить осадки позволил анализ метеорологических данных за период с 2010 по 2012 год, который показал, что количество выпавших осадков в первый и второй год было одинаковым. К наиболее заболоченным территориям можно отнести участки, примыкающие к заливам Хужирский, Сарайский (западная часть), Харалдайский (восточная часть) Баян Шунген (западная часть), Хага Яман, а также урочищ Ургентей, Ташкиней.

Развитие ЭГП обусловленных преимущественно деятельностью гравитационных сил определялась по площади оползней. Средой развития оползневых смещений на исследуемой территории являются неоген-четвертичные отложения, распространённые вдоль северо-западного побережья о. Ольхон и занимают 2% от общей площади острова. Они залегают на слож-

но дислоцированном фундаменте из метаморфических и изверженных пород [5]. Береговые склоны поражены оползнями пластического типа, смещение которых происходит по круглоцилиндрической или наклонной поверхностям скольжения. Мощности оползневых масс достигают 50-70 м. Протяженность оползневых склонов вдоль берега составляет около 7 км. Оползни, деформируя берега, образуют специфические формы проявления процесса: потоки, цирки, гряды, террасы. [8]. Общая площадь оползневых смещений на острове в период с 1958 по 2012 год увеличилась с 1,19 до 1,38 км². Изучение динамики оползней, а также состава и свойств отложений происходило на стационарном участке Харалдай. Инженерно-геологические исследования и мониторинг оползней на стационаре показали, что в современных условиях склон находится в активной стадии развития. Лабораторные исследования рыхлых глинистых неоген-четвертичных отложений из зоны скольжения выделили общие особенности. Грунты сильно агрегированы, обладают повышенной пластичностью ($I_p - 18,1-24\%$), не набухают, но проявляют существенную объемную усадку (от 23,6 до 26,6%). Проведенный лабораторный эксперимент по оценке прочностных свойств разновозрастных глинистых образований, которые выделены в качестве потенциальных зон пластических деформаций, показал, что данные отложения имеют низкие деформационно-прочностные характеристики. На основе построенного слоя области проявления оползней сосредоточены вдоль северо-западного побережья. В основном это территории примыкающие к заливам Тогай, Хужирский (восточная часть) Харалдайский, Баян Шунген, Сарайский.

Развитие ЭГП обусловленных преимущественно деятельностью ветрового переноса и определялась по площади эловых полей. По данным проведенного анализа общая площадь эловых полей за период с 1958 по 2012 год уменьшилась с 6,256 км² до 5,888 км². За анализируемый период направление оси эловых полей отклонялось в пределах 15-20°, что способствовало настианию песков на новые площади. За последние 10 лет динамика размываемых берегов в местах проявления эловых форм снизилась. Строительство отелей кемпингов в береговой зоне способствовало укреплению песка, что еще больше снизило динамику перемещения. Площадь распространения эловых полей значительна, а интенсивность незначительная. Наиболее активными эловыми полями являются Песчанка, Улан-Хушин, Харанцы, Большой Хужир [7]. Сохранение тренда обусловленного стабилизацией абразионного склона и укреплением берегов на участках интенсивного освоения береговой зоны, существующие эловые поля как природные памятники природы, могут исчезнуть (зарастить растительностью).

Процессу выветривания подвержена вся верхняя часть геологической среды острова, в зависимости от локальных условий изменяется только его вид. В среднегорье преобладает морозное и физическое, а с переходом на более низкие гипсометрические уровни химическое и биохимическое выветривание. Интенсивность выветривания локальна.

На большей части территории, особенно в пределах северо-западного побережья от мыса Шара-Шулун до мыса Хобой и восточному от мыса Хо-

бой до залива Хага Яман, а также площадь которая включает в себя такие пади, как Идиба, Шара-Нур, Ташкиней и Семь Сосен, площадное распространение наиболее важных в инженерно-геологическом отношении ЭГП и форм их проявления (осыпей, обвалов, оползней, оврагов, карста, дефляции, заболоченных земель) составляет 40% всей площади о. Ольхон.

Анализ построенных карт отображающих распространение определённых групп ЭГП на исследуемой территории показывает, что для острова Ольхон характерно развитие таких экзогенных процессов как: выветривание, гравитационные, эрозионные, водного характера (растворение, заболачивание) и дефляция. Их распространение и активность в первую очередь обусловлено: геологическими (особый состав и свойства грунтов, условия их залегания и распространения на территории), структурно-геоморфологическими (разнообразие форм рельефа), гидрогеологическими (влиянием поверхностных и подземных вод на свойства грунтов), климатическими (небольшое количество осадков и температурный режим оказывающий влияние на грунты) условиями, плюс повышенной сейсмичностью района. Кроме того активность большей части во многом predetermined такой техногенной нагрузкой как развитие инфраструктуры и увеличения количества туристов год от года. Все это требует грамотного подхода к освоению и использованию территории в туристско-рекреационных целях.

Литература

1. *Аузина Л.И.* Комплексный показатель как основа устойчивости подземной гидросферы // Город: прошлое, настоящее, будущее. – Иркутск: Изд-во ИрГТУ, 2000. – С. 152-158.
2. *Вологодский Г.П.* Карст Иркутского амфитеатра. – М.: Наука, 1975.
3. *Козырева Е.А., Рыбченко А.А., Щипек Т., Пеллинен В.А.* Солифлюкционные оползни побережья острова Ольхон // Вестник ИрГТУ. – 2011. – №4(51). – С. 41-49.
4. *Литвин В.М.* Региональная инженерно-геологическая оценка экзогенных геологических процессов юга Восточной Сибири: Автореф. дис. ... канд. геол.-мин. наук. – Иркутск, 1986. – 21 с.
5. *Логачев Н.А., Ломоносова Т.К., Климанова В.М.* Кайнозойские отложения Иркутского амфитеатра. – М.: Изд-во Наука, 1964. – 196 с.
6. *Шенькман Б. М.* Подземные воды в районе пос. Хужир (о. Ольхон) – ресурсы, качественное состояние, перспектива использования, естественная защищенность: Гос. доклад о состоянии и об охране окружающей среды иркутской области в 2008 году. – Иркутск, 2009. – С 342-350.
7. *Szczypek T., Kozryiewa E.A., Rybczenko A.A., Chak W.A., Mazajewa O.A., Wika S.* Wyspa Olchon na Bajkale. – WNoZ UŚ, ISZ SO RAN.: Sosnowiec–Irkuck, 2011. 54 p

АНАЛИЗ ВОЗМОЖНЫХ КРИТИЧЕСКИХ ДЕФОРМАЦИЙ ГРУНТОВОГО ОСНОВАНИЯ МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНОГО КОМПЛЕКСА (В РАЙОНЕ ХОРОШЕВО, МОСКВА)

Г.П. Постоев, Б.К. Лапочкин, А.И. Казеев

Институт геоэкологии им. Е.М. Сергеева РАН,
101 000, г. Москва, Уланский пер., д. 13, стр. 2. E-mail: opolzen@geoenv.ru

При проведении изыскательских работ на площадке проектирования здания МФК и анализе их результатов были выявлены и оценены возможные геологические опасности, включающие склоновые (оползневые) процессы, карстовые деформации и осадку здания. Наличие названных процессов обусловлено инженерно-геологическими и гидрогеологическими особенностями строения территории, обуславливающими возможные изменения устойчивого состояния геологической среды.

Площадка проектируемого строительства расположена на пойменной части левого борта долины р. Москва. Местоположение участка приурочено к низовьям бассейна небольшого притока реки Москвы – р. Таракановки, к ее правобережью. Русло р. Таракановки с 1956 года заключено в коллектор шириной 3,4 м, высотой 3,2 м. После сооружения коллектора территория, прилегающая к нему (и сам коллектор) была покрыта техногенными грунтами и строительным мусором до отметок около 127-131 м.

Эти работы были обусловлены необходимостью ликвидации зоны затопления, образующейся вдоль долины р. Таракановки в паводковые периоды на протяжении длительного геологического времени.

На площадке проектирования объекта развиты четвертичные образования (современные техногенные и аллювиальные грунты), юрские отложения бат-келловейского яруса и каменноугольные образования (неверовская, ратмировская, воскресенская, суворовская толщи).

Техногенные отложения (насыпные грунты- tQIV) развиты повсеместно до глубины 4,0-9,0 м. На большей части территории участка их мощность составляет 6-7 м. Мощности 4 м вскрыли единичные скважины.

Аллювиальные отложения – (aQIV) развиты повсеместно под техногенными грунтами. Их мощность 5,0-11,0 м.

Юрские отложения (бат-келловейский ярус) (J_{2-3} bt-cl) залегают на участке исследований под аллювиальными образованиями и относятся к среднему отделу юры. Данные отложения распространены повсеместно и имеют мощность, изменяющуюся от 0,6 до 2,5 м.

Каменноугольные отложения на участке представлены верхним и средним отделами (C_2 и C_3).

Неверовская толща (C_3nv) представлена глинами твердой консистенции и мергелями средней и низкой прочности, местами сильнотрещиноватыми. Их мощность изменяется от 0,5 до 4,3 м.

Ратмировская толща (C_3rt) сложена известняками органно-детритовыми и скрытокристаллическими, малопрочными, трещиноватыми, интервалами – сильнотрещиноватыми, кавернозными с тонкими прослойками мергелей. Мощность отложений составляет 4,5 – 7,1 м.

Воскресенская толща (C_3vs) представлена глинами пестроцветными, твердой консистенции, с прослоями мергеля. Данные отложения вскрыты под известняками ратмировскими. Мощность отложений составляет 7,7 – 10,9 м.

Суворовская толща (C_3sv) представлена известняками микро-, скрыто- и мелкокристаллическими, местами трещиноватыми, с редкими кавернами размером 1-2 см, с прослоями мергелей.

Первым от поверхности постоянным водоносным горизонтом в пределах площадки является надъюрский горизонт. Водовмещающими грунтами горизонта являются техногенные и аллювиальные отложения, представленные песками пылеватыми с прослоями песков мелких и средней крупности. Нижним водоупором горизонта являются юрские глины.

Второй от поверхности водоносный горизонт залегает преимущественно в ратмировских известняках. Горизонт напорный. Уровни устанавливаются на отметках, превышающих на 1,0-2,0 м абсолютные отметки поверхности (скважины с самоизливом).

Верхним водоупором горизонта являются глины юрского и каменноугольного (C_3nv) возрастов. Общая мощность их изменяется в пределах от 1,0 до 7,2 м. Нижним водоупором служат глины с прослоями доломитов воскресенской толщи.

Зона питания горизонта находится за пределами исследуемой площадки, разгрузка происходит за счет перетекания в вышерасположенный горизонт и в русло р. Москвы.

Третий водоносный горизонт залегает преимущественно в суворовских известняках (C_3sv). Горизонт также напорный. Уровни устанавливаются на отметках 129,92-126,95 м (отметки поверхности площадки 127,46-131,20 м).

Верхним водоупором горизонта являются глины с прослоями доломитов воскресенской толщи (C_3vs). Нижний водоупор бурением не вскрыт.

Оползневая опасность на площадке оценивалась в силу близости ее местоположения к береговому склону р. Москвы, пораженному на данном участке оползневым процессом. В частности, левый берег р. Москвы в излучине от Карамышевского гидроузла до сечения по 3-му Силикатному проезду, на протяжении 1100 м поражен относительно глубокими блоковыми оползнями. Следует также указать, что выше по течению р. Москвы, тоже на левом берегу, в 2007 году произошла катастрофическая активизация оползневого процесса с отделением и оседанием части плато в виде нового оползневого блока протяженностью вдоль берега около 330 м.

Установлено, что блоковое развитие (активизация) оползневого процесса происходит по схеме сжатия. В прибровочной части плато горизонт, в котором в дальнейшем формируется поверхность скольжения, находится под вертикальным давлением вышележащих слоев грунтовой толщи, превышающем структурную прочность (предельное давление на одноосное сжатие) грунта горизонта. Грунт «раздавливается» упомянутым давлением с возникновением горизонтальных напряжений «распора» (напора). Устойчивость прибровочной части плато сохраняется, пока пригрузка на рассматриваемый горизонт от склоновых оползневых отложений формирует достаточное горизонтальное давление «отпора», обеспечивающее равновесное состояние на границе «склона» и «плато».

Следует отметить, что блоковое развитие оползневого процесса захватывает глубокие горизонты массива, оказывая влияние на устойчивость и состояние сооружений, расположенных на прилегающей к склону территории. Обычно принимается, что основное влияние активных деформационных процессов распространяется от бровки склона вдоль территории на величину $2h$ (где h – высота склона). Однако известны случаи, когда зона влияния достигает $10h$ и более [1].

На основе разработок ИГЭ РАН расчетным путем определено положение скольжения оползневых блоков, а также проведены расчеты устойчивости по основным створам для оценки оползневой опасности в пределах проектируемой строительной площадки. Расчеты устойчивости по методике ИГЭ РАН показали, что склон устойчив в районе площадки МКФ (без учета условий обводнения грунтов и, соответственно, возможного влияния гидродинамического давления), с коэффициентом устойчивости $K_{st} = 1,0-2,5$.

Карстовая опасность. Наличие карстующихся известняков в основании площадки исследований является негативным фактором, обуславливающим возможное проявление карстовых полостей опасных размеров и образование карстового провала.

При проведении изысканий в районах развития карста одной из главных задач является выявление полостей в карстующихся породах (если они имеются). Однако, как правило, бурением и геофизическими исследованиями карстовые полости, хотя бы расчетных размеров (в соответствии с диаметром карстового провала), не выявляются, если не считать трещины и пустоты незначительных размеров.

Чтобы создать угрозу карстового провала необходимо наличие полости в карстующихся породах и контакта полости с покрывающей глинисто-песчаной толщей. При этих условиях на контакте глинисто-песчаного слоя с полостью в известняках происходит деформация глинистых пород с перемещением деформирующихся пород в полость. Индикатором этого процесса является мульда проседания, фиксируемая на поверхности.

В основу анализа карстовой опасности (возможного образования карстового провала) авторами приняты теоретические разработки по оценке пре-

дельного состояния грунтовых массивов, в частности, на локальных участках, где происходит разгрузка и перераспределение напряжений (формирование свода) над карстовой полостью. Убедительным свидетельством объективности данного подхода к расчетам предельной величины диаметра возможного карстового провала является получение единой технологии расчета напряженно-деформированного состояния для оползневых массивов, карстовых провалов и расчета осадок грунтовых оснований [2]. По всем перечисленным направлениям результаты расчетов получили хорошее совпадение с фактическими данными.

Выполненные расчеты показали, что для условий массива с возможными карстовыми полостями в ратмировских известняках образование карстового провала маловероятно и его предельный диаметр менее 1,5-3,0 м. В силу неопределенности влияния кривизны цилиндрического сечения карстового провала, точно определить диаметр возможного провала не представляется возможным. Следует указать, что провал указанного размера не может представлять опасность для проектируемой фундаментной плиты. Кроме того установлено, что в неверовских глинах, даже с учетом расчетных значений φ и c , напряженное состояние у кровли суворовских известняков близко к равновесному $\sigma_{1a} \approx \sigma_{str}$, что также указывает на малую вероятность образования провала. Однако нельзя исключить того, что карстовая полость может быть и в известняках суворовской толщи. При этом предельный диаметр возможного провала и деформирования в него воскресенских глин каменноугольных отложений, как показали расчеты, может составить 18 м.

Что касается вероятности образования провала указанных размеров, то здесь можно высказать следующие суждения.

а) В данном районе до сих пор не отмечено случаев проявления признаков карстовых деформаций подобных размеров, тем более с наличием полости в толще суворовских известняков.

б) В процессе инженерных изысканий бурением не было выявлено полостей в указанной толще.

в) Известняки суворовской толщи, по сравнению с ратмировскими, характеризуются меньшей трещиноватостью и более высокой прочностью.

Однако, учитывая высокую степень ответственности проектируемого сооружения, следует предусмотреть мероприятия, снижающие опасность карстовых провалов для здания МФК.

Оценка опасности критических значений осадки проектируемого сооружения. Проблема достоверной оценки возможных осадок грунтового основания, несмотря на наличие значительного количества расчетных моделей грунтового основания, весьма актуальна. Даже применение современных программ расчета численными методами не решает проблемы – «расчетные осадки практически всегда отличаются от фактических», достигая расхождения в $\pm 50\%$ и более [3].

Основные трудности связаны с определением модуля деформации, определяющего деформативность основания в соответствии с фактической ситуацией по прочности грунта и напряженным состоянием.

В ИГЭ РАН разработана новая расчетная модель для определения осадок, в основе которой лежат закономерности формирования предельного состояния в рассматриваемом слое грунтового массива и реальные деформативные параметры в соответствии с прочностью грунта и фактическим напряженным состоянием.

По данной методике выполнялись расчеты осадки фундаментной плиты с давлением по подошве фундамента 0,9 МПа и заглублением на 10 м.

Технология расчета осадки основана на теоретических решениях по оценке предельного состояния в грунтовом массиве при возрастании вертикального давления на локальном участке (давление фундамента).

При этом принимается, что глинистый грунт при вертикальном давлении, превышающем структурную прочность, ведет себя как песчаный грунт, перераспределяя вертикальное давление в соответствии с изменением боковых напряжений. В связи с этим были использованы, при выводе выражения для расчета осадки i -го слоя грунтового основания, результаты стабилметрических испытаний песка [4].

Технология расчета осадок учитывает, что под фундаментом в пределах сжимаемой толщи образуется ядро, и осадка ядра вместе с фундаментом происходит по границам ядра в зависимости от структурной прочности грунта i -го слоя основания и степени близости его состояния к расчетному предельному.

Получено, что без учета взвешивания аллювиальных грунтов основания, слагающих верхнюю часть разреза, расчетное значение осадки составило 46,9 см. С учетом взвешивания этих грунтов в водонасыщенном состоянии осадка составила уже 73,4 см. Принимая во внимание изношенность подземного коллектора по сбросу вод р. Таракановки и ливневых вод (коллектор сооружен в 1956 г.) в «спокойные» периоды коллектор работает как дренажная труба, что подтверждается данными измерений уровней грунтовых вод надъюрского горизонта (уровни понижаются в сторону коллектора). В периоды паводка уровни грунтовых вод уравниваются за счет восходящей фильтрации в массиве над коллектором. Учитывая это, были выполнены расчеты с повышением УГВ на 2,5 м вблизи коллектора, у восточного фланга фундамента здания (вполне вероятное событие). Осадка в этом месте составила 92 см. Уклон поверхности фундаментной плиты достигает 0,005, что выше допускаемого значения (0,003).

Таким образом, результаты расчетов показывают, что в проекте необходимо: предусмотреть мероприятия по снижению величин осадки (тем более неравномерной), связанной с обводнением грунтового основания из расположенного вблизи строительной площадки коллектора; снизить эффект влияния до допустимого уровня возможных оползневых и карстовых дефор-

маций. Рекомендуется углубить фундаментную плиту на 10-15 м или использовать проектное решение по свайным основаниям, с расположением концов свай в известняках ратмировской толщи.

Литература

1. *Постоев Г.П.* Проблемы строительства в оползнеопасных зонах г. Москвы // Уникальные и специальные технологии в строительстве. Информационный сборник. – 2006. – № 1 (4). – С. 28-31.
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. *Барвашов В.А.* Расчет осадок грунтовых оснований и свай фундаментов без допущения о конечности глубины сжимаемой толщи // Геотехника. – 2010. – № 4. – С. 42-57.
4. *Лобанов И.З.* Влияние напряженно-деформированного состояния на деформационные характеристики песчаного грунта // Основания, фундаменты и механика грунтов. – 1982. – № 1. – С. 23-25.

ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ РАЦИОНАЛЬНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПРИРОДНЫХ РЕСУРСОВ И ПУТИ ПРЕДОТВРАЩЕНИЯ РАЗВИТИЯ НЕБЛАГОПРИЯТНЫХ АНТРОПОГЕННЫХ ПРОЦЕССОВ И ЯВЛЕНИЙ

В.А. Рафиков

Институт сейсмологии Академии наук Республики Узбекистан, г. Ташкент, 100128,
ул. Зулфияхоним, 3. E-mail: uz-hydrolog@mail.ru

Развитие негативных антропогенных явлений и процессов в пустынной зоне Узбекистана непосредственно связано с отрицательным воздействием нерационального использования естественных ресурсов. Как известно, аридные ландшафты при значительной нагрузке антропогенного фактора, превышающей нормы, весьма неустойчивы. Неустойчивость природной среды определяется ее хрупкостью и высокой динамичностью. Этим объясняется зарождение и становление барханных песков, крутостенных котловин, засоление поливных земель, эрозия наклонных равнин, сказывающаяся на деградации пастбищ, выдувание, выпад освоенных земель из хозяйственного оборота. Все это обуславливает необходимость соблюдения строгого режима по рациональному природопользованию, исходя из учета индивидуальных особенностей и свойств гео- и экосистем, их потенциальной возможности восстановления естественным путем. Только достоверный учет этих особенностей ландшафтов при эксплуатации натурального состояния природы, предотвратит развитие различных негативных явлений и т.д. [1-2].

Забор значительной части речного стока рек Средней Азии на орошение привел к деградации геосистем дельтовых равнин Амударьи и Сырдарьи.

Истощение и загрязнение речных вод, повышение их солености, частое сильное маловодье или отсутствие хотя бы минимального стока, обуславливает деградацию тугайных ландшафтов, развивавшихся раньше в субквальных и суперквальных условиях дельт Приаралья, пойменных террасах всех рек равнинной зоны региона.

В целях полного сохранения и восстановления деградированных тугайных геосистем в пойменных и дельтовых равнинах считаем необходимым организовать регулярный сток в речных системах и протоках, а в пределах дельт при отсутствии регулярного стока, следует осуществить обводнение хотя бы два раза в год, крайнем случае один раз, но с большой нормой. Прирусловые валы, расположенные выше уреза воды, необходимо обводнить путем машинного подъема вод. В пределах дельты Амударьи обводнению подлежат все ныне сухие русла-протоки: Эркиндарья, Кунядарья, Акбашли, Картабайузек, Кипчакдарья, Казахдарья, Гедейузек и другие.

В целях создания и восстановления сильнодеградированных тугаев вдоль Амударьи, Сырдарьи, Чирчика, Ахангарана, Сурхандарьи, Кашкадарьи, Зеравшана и др. необходимо выделить по обе стороны побережья 300-метровую полосу. На сильнодеградированных тугаях создать соответствующие экологические условия (распашка, очистка от разных посторонних предметов, т.е. от техногенного мусора, прекращение выпаса скота, регулярное обводнение и др.), а также осуществить посев семян ценных тугайных древесных пород и других полезных кустарников и деревьев. Регулярное обводнение и распашка земель будут способствовать повсеместному всходу травянистых и полукустарниковых, кустарниково-древесных сообществ.

Прибрежные древесно-кустарниковые в сочетании с травянистыми растениями должны быть сохранены, обогащены и восстановлены повсеместно на всех реках равнинной и предгорной части Узбекистана как естественные гидроморфные интразональные ландшафты со своеобразным растительным и животным миром. Тугаи, приречные природные комплексы, имеют большое природоохранное значение по предотвращению дефляции аккумуляции веществ, эрозии и расчленения покатых склонов пойменных и прирусловых валов. Являясь продуктивными пастбищами и зонами рекреации, они создают густую тень по побережью, что уменьшает количество испарения с зеркала протоков и рек; тугайные заросли предотвращают заболачивание низин за счет инфильтрации через русло. Увеличение величины относительной влажности воздуха особенно летом позволяет не только осуществить нормальный выпас, но и создает хорошие условия для отдыха людям во время знойного лета.

В настоящее время тугайные природные комплексы вдоль Сырдарьи, Амударьи, Чирчика, Ахангарана, Зеравшана, Кашкадарьи, Сурхандарьи, Карадарьи, Соха и многих других рек практически ликвидированы, если не считать отдельных небольших массивов, специально охраняемых государством. Земли бывших тугаев используются под орошаемое земледелие, частично под различные инженерные сооружения, населенные пункты и т.д. В результате вырубки древесных насаждений тугаи превращены в опустынившиеся

угодья, заросшие различными растениями, не имеющие значения в пастбищном животноводстве или сенокосе. Частые сбросы отработанных вод поливных земель в русла рек привели к ирригационной эрозии прирусловых валов, т.е. к расчленению побережья, к превращению при этом земельных угодий в неудобья. Ликвидация кустарниково-древесных насаждений способствует интенсификации выдувания супесчано-песчаных субстратов и образованию подвижных песков и крутостенных котловин. Все эти негативные последствия орошения должны быть максимально ликвидированы путем восстановления прежних тугаев на основе посева семян древесных пород и созданием нормальных условий роста и вегетации тугайных сообществ.

Большое практическое значение имеет увеличение количества топольных насаждений с целью заготовки строительных материалов. Ведь в тугаях хорошо растет тополь, туранга; но установлено, что здесь неплохо вегетируют и другие виды тополя, используемые в строительстве. При расширении тополевых тугаев вдоль побережий рек можно намного сократить объем транспортировки леса из Сибири в республику.

Оптимизация неблагоприятной природной среды в Приаралье, создавшейся в результате антропогенного опустынивания, является наиболее сложной, комплексной и многогранной проблемой, решение которой возможно лишь на основе применения широкомасштабных радикальных мероприятий, осуществляемых в несколько этапов, не только в черте самого региона, но и в целом по всему бассейну Арала. Эти мероприятия должны осуществляться одновременно по всей территории Приаралья и бассейна моря. Вся программа по оптимизации природной среды должна быть разделена на две части: а) комплексные природно-экологические и водохозяйственные; б) комплексные социально-экономические. При этом обе части программы следует осуществлять одновременно.

В пределах Приаралья необходимо выполнить:

1) регулярное обводнение всех протоков низовьев Амударьи и Сырдарьи, хотя бы два раза в год, при этом в дельте Амударьи: Кипчакдарья, Талдыкдарья, Акбашли, Эркиндарья, Кунядарья, Мадалузек, Гедейузек, Казахдарья и другие наиболее важные протоки должны обводняться в течение года регулярно, так как в них приречные полосы всюду заняты амударьинскими уникальными тугаями; кроме того, вдоль русл некоторых рек или протоков имеются постоянные населенные пункты;

2) необходимо регулярно обводнять ряд больших озер, имеющих существенное экологическое значение для окружающих равнин, таких как Судочье, Каратерень (запад, центральное), Бирказан, Кеусыр, Шагурлик, Закиркуль, озера, расположенные к западу от устья Талдыкдарья, Думалак, группа озер Аккалы и др., создание проточных озерных систем с постоянными уровнями в них будет способствовать улучшению экологической обстановки окружающих равнин на расстоянии до 3 км и более, размножению в них рыб, ондатр, появлению водоплавающих птиц, вегетации на периферийной зоне гидроморфных растительных сообществ, повышению продуктивности пастбищ и сенокосов, в целом восстановлению близко к прежним природным

условиям; конечно, транспирация растительности и испарение с водной поверхности будут высокими, но зато образование здесь высокопродуктивной экосистемы в экономическом отношении будет более рентабельной по сравнению с нынешним состоянием;

3) бывшие тростниковые заросли в пределах западной части дельты, (к северу и к востоку от оз.Судочьего), в междуречье Кипчакдарьи и Акдарьи (ур.Шеге, Байджанкуль), массивы к востоку от русла Акдарьи в районе ур.Аспантай, Заир, Байгужа, Майпост, к северу от Казахдарьи в районе сел. Казахдарья, массив Аккала должны регулярно обводняться для создания высокопродуктивных тростниковых пастбищ и сенокосов. Это не только предотвратит деградацию растительного покрова, засоление почв, но и будет смягчать пустынный климат, возникнет более увлажненный микроклимат, увеличится число рыб и ондатр;

4) природные комплексы, расположенные на периферии протоков и русл дельты Амударьи (в частности, левобережье и правобережье Талдыкдарьи, Кипчакдарьи, Акдарьи, Эркиндарьи, Казахдарьи, Кунядарьи, Раушана, Акбашли) на расстоянии до 5-10 км от трассы русл, целесообразно освоить для развития поливного земледелия. Эти участки дельты более или менее естественно дренированы, что обуславливает наименьшее засоление и незначительный подъем уровня грунтовых вод. Супесчано-песчаные слои в толще суглинистых отложений будут способствовать горизонтальному оттоку грунтовых вод в направлении бессточных понижений и осушенного дна моря. Мы предлагаем осуществить на этих землях после соответствующей мелиоративной подготовки, посев люцерны, кукурузы, многолетних трав на корма, а люцерны – на семена. Вблизи протоков, где мелиоративное состояние земель более благоприятно для орошаемого земледелия, следует произвести посев овощебахчевых культур и развивать садоводство. Это даст большой импульс развитию животноводства в мясомолочном направлении и обеспечения населения северной зоны Республики Каракалпакстан овощами, фруктами, виноградом и другими сельхозпродуктами;

5) повсеместное развитие эоловых процессов диктует широкое применение фитомелиорации, облесению наиболее опасных участков в отношении выдувания. Это относится к тем массивам, которые расположены вдоль русл Инженерузека, береговой зоны залива Рыбацкий, к отдельным участкам восточной половины дельты и ряду других урочищ. Посев семян ценных кормовых культур, а также кустарников позволит закрепить подвижные пески, уменьшить масштабы выдувания супесчано-песчаных отложений вдоль прирусловых валов;

6) в целях предотвращения развития различных опасных болезней среди населения необходимо, прежде всего, обеспечить все населенные пункты чистой водопроводной водой в связи с этим прекратить сброс дренажных и сточных вод в Амударью и Сырдарью, а до этого следует хотя бы временно обеспечить население низовьев Амударьи очищенной от химических и биологических компонентов и элементов водой, установить опреснители возле

населенных пунктов, особенно воды направляемые по водоводам в Нукус и Ургенч;

7) в целях направления определенного объема воды в Арал (не менее 20 км^3 в год) и обеспечения водой низовьев Амударьи, для борьбы с опустыниванием (не менее $12-14 \text{ км}^3$) произвести реконструкцию всех старых ирригационных и мелиоративных систем в бассейне моря, совершенствовать технику полива, повысить КПД ирригационных систем, уменьшить посевы рисовых полей (не менее чем в два раза), а на мелиоративно неблагоприятных массивах (а их площадь не меньше 500 тыс. га в республике), заменить кормовыми культурами, которые не требуют больших норм полива (за счет сокращения площади хлопчатника) и другие мероприятия [3].

Литература

1. Звонкова Т.В. Методология и общая методика физико-географического прогнозирования // Методология и методы географического прогнозирования. – М.: МГУ, 1983. – С. 5-15.
2. Звонкова Т.В. Географическое прогнозирование. – М.: Высшая школа, 1987. – С. 192.
3. Рафиков В.А. Проблемы решения судьбы Аральского моря. – Ташкент: УРФОН, 2009. – С. 194.

ВЛИЯНИЕ ЭОЦЕНОВЫХ ГЛИН НА ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ СЕВЕРНОГО ТАМДЫТАУ

Н.Т. Рахманбердиева

Государственное предприятие «Институт ГИДРОИНГЕО», Ташкент, ул. Олимлар, 64.
E-mail: nona_198484@mail.ru

В перестройке нашей жизни существенная роль отводится обеспечению жилплощадью всех нуждающихся до 2025 г. В этом отношении большое значение придается инженерно-геологическим и сейсмическим изысканиям в крупных районах, отведенных под строительством.

Недра центральных Кызылкумов богаты различными видами минерального сырья, рудный потенциал которых ежегодно растет. В связи с разработкой новых месторождений полезных ископаемых и интенсивным развитием агропромышленного комплекса осваиваются большие территории, строятся и расширяются города Учкудук, Зарафшан, поселки городского типа Мурунтау, Тамдыбулак, Кукча и др. с многоэтажными зданиями жилого, административно-хозяйственного и промышленного назначения, на грунтах, сложенных набухающими глинами эоцена. Опыт прошлых лет показал, что

их свойства необходимо учитывать, чтобы предотвратить колоссальный ущерб, наносимый народному хозяйству.

Данный район находится в пределах Тамдынского района Навоийской области Республики Узбекистан. Населенные пункты (г. Зарафшан, пос. Тамдыбулак) выросли вокруг горнодобывающих предприятий и скважин с пресными водами.

Наибольшая гипсометрическая отметка (922 м) находится на горах Актау, наименьшая (180 м) в предгорной равнине песчаного массива Джаманкум. горная возвышенность расчленена густой сетью временных водотоков. Она сложена магматическими, осадочно-метаморфическими породами палеозойского фундамента и осадочного чехла.

Несмотря на густую сеть сухих русел, поверхностные постоянно текущие воды отсутствуют. В паводковый период по руслам Сургалым-сай, Ажрыкты-сай, Тамды-сай проходит селевой поток, иногда смывающий асфальтированные автодороги.

Район характеризуется резкоконтинентальным аридным климатом, с сухим жарким летом и довольно холодной зимой. Годовое количество осадков составляет 120-140 мм/год. Максимальное испарение (450 мм) при максимальной температуре отмечается в июне-июле, когда осадки минимальные (3-3,5 мм) или вообще отсутствуют.

В геологическом строении района участвуют осадочные, метаморфические и магматические породы докембрийского и палеозойского возраста, вскрытые на большей части территории под покровом осадочного чехла мезокайнозойских пород. Накопление этих осадков происходило как в континентальных, так и морских условиях с неоднократно проявляющимися процессами тектогенеза. Поэтому для них характерны сильная дислоцированность, метаморфизация, нарушенность многочисленными внедрениями магматических пород.

Эоцен представлен бахчисарайским, симферопольским, бодракским и альминским ярусами с глубиной залегания от 0 до 100 и более метров.

Местами выклиниваются на северо-востоке гор Тамдытау. Разрез представлен монотонной толщей (от 90 до 260 м) зеленых глин, с маломощными (10-15 см) прослоями серых карбонатных алевролитов. Глины мелкодисперсные, вязкие, с неясной слоистостью. Глубина залегания их увеличивается от гор Тамдытау к песчаному массиву Джамкум. По всей толще глин в виде включений встречаются кристаллы пирита и марказита.

По наличию крупных разрывов и взаимоотношению некоторых толщ здесь намечается каледонская, герцинская и альпийская складчатости. Свой тектонический облик район приобрел в основном, в герцинскую складчатость (Ибрагимов и др., 1973), а в альпийское время в условиях платформенного режима, район унаследует общий план предыдущих складчатостей. Тектонические нарушения, обнаруженные в покрове, являются обновленными герцинскими тектоническими зонами (А.К.Пятко и др., 1967). К ним приуроче-

ны зоны интенсивного трещинообразования в районах Чарькты и Тамдыбулак (Ш.У.Арсланбеков, 1971).

Новейшие движения полностью относятся к фазе гор образования, судя по ярусной расчлененности рельефа, наличию зафиксированных в разрезе четвертичных осадков, а также по активной сейсмичности и процессам современного трещинообразования, четвертичная фаза горообразования еще продолжается проявляются импульсивно (Б.Б.Ситдииков, 1985).

На основании анализа Л.З.Шерфединов, А.А.Юрьева, А.К.Пяткова и др. выделили структурно-денудационные, структурно-эрозионно-аккумулятивные типы рельефа, соответствующие горному, предгорному и равнинному комплексу.

Предгорья Северного Тамдытау постоянно подвергаются интенсивному воздействию природных геологических процессов, а последние годы мощные техногенных факторов, связанных с инженерно-хозяйственной деятельностью человека. Большое влияние на характер и скорость развития многих из них оказывают набухание, усадка глин и современные тектонические движение (Л.В.Передельский и В.П.Ананьев, 1987). Они благоприятствуют развитию трещинообразования, эрозии, выветривания и др. негативных процессов. Особенно опасны набухание глин под действием проникающих до уровня их залегания поливных, питьевых и технических вод, и как следствие этого появление трещин на поверхности земли и деформация зданий.

Литература

1. Изучение некоторых инженерно-геологических свойств палеогеновых глин для целей сейсмического микрорайонирования // Инженерно-сейсмологическая основа детального сейсмического районирования и сейсмического микрорайонирования. – Ташкент: «Фан», 1983.
2. Некоторые закономерности формирования инженерно-геологических свойств глин Центральных Кызылкумов // XI конференция молодых ученых сотрудников по геологии и геофизики Восточной Сибири. – Иркутск, 1984.
3. Изучение набухания бентонитовых глин Центральных Кызылкумов // Узб. геол. журнал. – 1986. – № 4
4. Набухающая способность глин и её влияние на инженерно-геологические условия территории // Инженерно-сейсмогеологические условия городов Центральных Кызылкумов. – Ташкент: «Фан», 1986.

ОСОБЕННОСТИ РАЗВИТИЯ ОПАСНЫХ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ И ТЕХНОГЕННЫХ ПРОЦЕССОВ И ЯВЛЕНИЙ НА УРБАНИЗИРОВАННЫХ ТЕРРИТОРИЯХ ФЕРГАНСКОЙ ДОЛИНЫ

**М.А. Туйчиева, Н.М. Джураев, Ш.И. Ёдгоров,
Б.Н. Хайдарова, Г.Ф. Мамаджанова**

Институт Сейсмологии им. акад. Г.А. Мавлянова АН РУз, Узбекистан, Ташкент.
E-mail: nmjura89@mail.ru

Опасные геологические и техногенные процессы активно развиваются в горных, предгорных и равнинных районах урбанизированных территорий Ферганской долины. Их проявление вблизи населенных пунктов, промышленно-гражданских объектов, зон отдыха, участков автодорог и каналов все чаще создают чрезвычайные ситуации и сопровождаются большими материальными потерями [1-3].

Особенности развития ОГП на территории Ферганской долины определяется распространением адырных зон, сложенных лессовыми породами и имеющих относительно небольшие высоты. В результате их орошения создаются благоприятные условия для интенсивного развития эрозионных суффозионных, обвальных и оползневых процессов (рис. 1, 2), которые находятся друг с другом в тесной взаимосвязи и обуславливают определенную последовательность проявления друг друга. Многоплановый характер развития ОГП в условиях активной хозяйственной деятельности создают опасность и усложняют разработку защитных мероприятий от их воздействия.



**Рис. 1. Суффозионные воронки
в лессовых породах**



**Рис. 2. Степень эродирования поверхности
у Чартакского водохранилища**

В настоящее время наиболее интенсивно указанными процессами поражены Асакинские, Аламышикские, Арсифские и Наманганские адыры. Чуст-Папские, Касансайские и Мархаматские адыры находятся в стадии нового освоения и ОГТП развиты здесь относительно слабо. В целях предупреждения негативных последствий проявлений ОГТП Ферганской станцией слежения по 81 участку-пункту выполнены систематические наблюдения за формированием и развитием ОГТП, расположенным в пределах 18 кадастровых зон. Кроме того опасными геологическими процессами занимались в разные годы Ниязов Р., Крачковский С., Шерматов М.Ш., Туйчиева М.А. и др.

Оценка опасности выполнена по методике института «Гидроингео» где в определении опасности и риска принимаются следующие:

Степень опасности зависит от промежутка времени, когда человек увидев смещающийся оползень, не успевает принять меры безопасности. Вторая оценка зависит от вида характера разрушения зданий, когда сползающая масса оползня сверху накрывает жилые строения или в результате грязевого потока затопливает, смывает здания или поверхность проваливается, т.е. человек в этих случаях успевает принять меры безопасности. В результате деформации пород, просадки поверхности происходит медленное разрушение здания, и человек также успевает принять меры безопасности.

Исходя из этих принципов, выделяются критерии оценки опасности ОГТП: внезапность образования, изменчивость направления движения и дальность перемещения, скорость и продолжительность развития, площадь и объем горных пород, пораженность территории и интенсивность проявления процессов во времени.

Показатель внезапности образования оползней в лессовых породах рассматривается, как одно из основных свойств опасности, т.к. прогноз места и времени основного смещения оползня – непредсказуемые параметры. Например, на многих участках породы водонасыщены, и на них ежегодно происходят различные подвижки, т.е. все подготовлено к смещению, однако, основного движения не происходит. Необходим дополнительный фактор, который сыграл бы в этой ситуации роль пускового механизма. Обычно он синхронно связан во времени с аномальными значениями положительных температур в период оттепели и резким таянием снежного покрова, временем ливневых осадков или резкого увеличения расхода подземных вод в течение от 1 до 3 суток. Кроме действия воды на синхронность времени и места образования оползня сильно влияют сейсмические колебания и другие динамические воздействия. Предсказать эти внешние показатели во времени и место проявления смещения практически невозможно, поэтому невозможен прогноз места и времени начала образования основного опасного смещения оползня, направления и дальности перемещения оползневых масс. В зависимости от характера угрозы, опасные природные и техногенные процессы раз-

деляются на четыре группы. Первая группа характеризуется *низкой степенью опасности* с разрушением откосов автодорог, сельхозобъектов, повреждением земельных угодий. Ко второй группе относятся ОГП с *средней степенью опасности*, вызывающие аварии на системах жизнеобеспечения энергетических и коммунальных сетях, очистных сооружений, развивающиеся в зонах газопроводов, нефтепроводов и водопроводов, автодороги, ЛЭП и др. К третьей группе относятся участки с *высокой степенью опасности*, где ОГП перекрывающие русла саев, создающие временные завалы озера и переходящие в грязевые потоки, т.е. есть угроза жизни людей и разрушению жилых строений. К четвертой группе относятся участки ОГП с *очень высокой степенью опасности*, когда возможно внезапное разрушение жилых строений с человеческими жертвами, когда ОГП расположены на высоких склонах и прямолинейного направления на жилые строения под склоном или на противоположенном склоне.

В качестве примера приведем характеристику особенностей развития ОГТП по Шахимарданской кадастровой подзоне. Рельеф бассейна сильно расчлененный, обусловленный глубоким врезанием долин рек Аксу, Коксу, Шахимардан в северный склон Алайского хребта. Абсолютные отметки высот в пределах русловой части долин составляет 1300-1700 м, а прилегающих к долинам склонов и водоразделов 2500-3000 м. Перепады высот составляют 800-1500 м, в плане долины рек характеризуются четко видимым строением, с элементами расширения до 3000-4000 м. по верху и сужения до 200-400 м. по низу. В поперечнике профиль долин изменяется от U-образной до трапециевидной формы. Крутизна бортов долин составляет от 25-40° до 80-90°. В нижнем течении форма долины ступенчатая выделяются русло, пойма, первая аккумулятивная терраса (аккумулятивный рельеф). Русло и пойма реки Коксу имеет ширину 8-10 м, Аксу 10-20 м, Шахимардан 15-30 м. Первая надпойменная терраса развита почти повсеместно по обоим берегам рек. Общая ширина её составляет от 80-140 до 260 м. Терраса возвышается над урезом воды от 1-3 до 5 м и слабо наклонена вдоль и в сторону русла. Вторая надпойменная терраса прослеживается по правому берегу рек Аксу и Коксу, а также по обоим берегам р. Шахимардан. Поверхность ее во многих местах пересекается саями, с хорошо разработанными долинами, шириной 80-100 м (Шамансай), а также мелкими суходолами и оврагами временных водотоков. Превышение второй надпойменной террасы над первой в долине р. Аксу 42-65 м, Шахимардана 21-34 м. Ширина террасы по долине Аксу 100-250 м, Шахимардан 50-200 м на левобережье до 200-350 м на правобережье.

Характеристика экзогенных геологических процессов.

Для бассейна реки Шахимардан характерны: *осыпи, сели, оврагообразование, эрозия и обвалы*. Все эти явления предопределяются, главным образом, интенсивностью горообразовательного процесса в данном регионе, т.е тектонической (включающей и сейсмическую) активностью, приводящей к развитию разнообразных разрушений горных пород.

Одним из таких разрушений горных пород является образование осыпей на склонах. Интенсивность осыпобразования по площади не равнозначна, а скорость развития осыпей зависит от многих факторов, главными из которых являются крутизна склона, обнаженность, экспозиция. Наиболее активно разрушаются и осыпаются в основном склоны северо-восточной и северо-западной экспозиции.

Выпадение значительного количества дождей и бурное таяние снегов (характерные для данного региона) формируют интенсивный сток с горных склонов по саям, суходолам и лощинам в русла рек. При этом, селевой поток влечет накопившийся на склонах осыпной материал в основные русла рек, где (поток) значительно поднимает уровень воды в реках и в виде мощных водокаменных потоков-селей проносится вниз по течению, выполняя огромную разрушительную работу на своем пути. Такие явления наблюдаются почти ежегодно по долинам рек Аксу, Шахмардан и боковым суходолам реки Коксу, наиболее крупные разрушительные сели проходили по долинам этих рек в 1929, 1937 и 1966 годах, заливая пойму и местами первую надпойменную террасу. При этом расходы рек достигли 140-300 м³/сек.

7.07.1998 г. в 23:45 по рекам Шахмардан и Аксу прошли селевые, паводки водно-грязево-каменного состава. Причиной образования потока катастрофического объема (~150 м³/сек) является повышение температуры воздуха с разницей до 9⁰С за 7 дней т.е. 1.07.98 г. 30⁰С; 7.07.98 г. 39⁰С по метеостанции «Фергана» и интенсивное таяние снегов и ледников в верховьях рек Каракозик (Киргизия), Аксу и Шахмардан. Среднемесячная норма расхода р. Шахмардан – 19,8 м³/сек. 8 и 9.07.98г. расход реки достиг 50-60 м³/сек. Пострадало 34 оздоровительных объекта и 2 хозяйства, что привело к человеческим жертвам.

30.06.2002 г. в 15:30 в результате проливных дождей прошедших над территорией Кадамжайского района Баткентской области Республики Киргизстан и в приграничной зоне Ферганского района Ферганской области произошел сход селевых потоков по реке Шахмардан. Максимальный объем потока по реке составил 300 м³/сек. Район образования селевого потока расположен в 36-40 км южнее г. Ферганы в районе с.с. Охна, Кизил-булак, п.Кадамжай. Нанесен ущерб гидросооружениям, мостам, линиям электропередач, газопроводу, автодорогам, расположенным вдоль р. Шахмардан. На территории Узбекистана, в основном, пострадали хозяйства в райцентре Вуадил – 88 хозяйств, из них разрушенные: на 1.07.2002 г. – 11 хозяйств, на 2.07.2002 г. – 32 хоз. в результате селевого потока дворы заполнены грязью толщиной до 0,5 м. Из пострадавших хозяйств эвакуировано 130 человек.

С 2003 по 2005 г.г. после этих событий в пределах кадастровой подзоны катастрофические случаи не произошли, отмечены обрушение камней мелких размеров в пределах з/о с частичным разрушением построек и помещений з/о.

Оврагообразование, обусловленное эрозионными процессами происходит, в основном, на поверхности второй надпойменной террасы. Линейной эрозии здесь подвержены супесчано-суглинистые, песчано-гравийные и дресвяно-щебнистые отложения. Развитие оврагов тесно связано с формированием временных водотоков за счет выпадения атмосферных осадков: потоки, устремляясь к базису эрозии, размывают рыхлосложенные породы. Овраги, измеряемые десятки, реже сотнями метров, развиты по правому и левому берегам реки Шахмардан, севернее пос. Хамзабад. В районе развита также боковая эрозия рек, которая приводит к разрушению оснований склонов поймы и надпойменных террас.

Обвалы обычно проходят на участках крутых склонов. Разрушающую роль образованию обвалов играет тектоническая раздробленность (нарушенность) массива, геолого-структурное положение пластов относительно склонов долин, литологический состав, свойства и состояние пород. Кроме этого при землетрясениях происходит отрыв отдельных блоков пород и их обрушение, даже если массив пород по внешним признакам и не подготовлен к обрушению. Имеются грандиозные обвальные смещения скальных массивов, в частности Курбанкульские обвалы (завалы). Курбанкульский завал, находящийся в зоне глубоких разломов северных границ Алайского хребта и в регионе всей депрессии, не является единственным. Вдоль этой зоны известны обвалы на реках Акбура, Абиширсай, Аксу и др. Курбанкульские обвалы по реке Коксу образовались в результате троекратных последовательных обрушений горных масс в русло реки. Объемы этих обвалов составляют 18,6 млн. куб. м., 11,1 млн. куб. м. и 8,52 млн. куб. м. Обвалы запрудили русло реки естественной плотиной, высотой по гребню – 185 м., создали завальное озеро. Поводом для образования обвалов явились сильные землетрясения.

Свежие вывалы (обвалы) отмечены в бассейне р. Избасар (правый приток р.Коксу). Обвалоопасный склон представляет собой массив известняков, крутизной $65-75^{\circ}$, пересеченный многочисленными трещинами скола размерами от волосяных (доли миллиметра) до тектонических зияющих (30-50 мм.). К факторам благоприятствующим развитию ОГТП в бассейне р. Шахмардан относятся расчлененный горный рельеф и большая крутизна склонов, обнаженность коренных пород и их литолого-текстурные особенности, наличие тектонических нарушений (складчатость и зоны разломов) и раздробленность скальных массивов трещинами, значительная скорость физического выветривания. Часто проявляющиеся на склонах бассейна р. Шахмардан осыпания и обваливания горных пород с высоких каменных склонов, и из галечниковых обнажений, нависающих над I и II надпойменными террасами (где размещены объекты отдыха), создает угрозу воздействия этих процессов на существующие зоны отдыха. Оздоровительным объектам обычно угрожают обрушения камней, смещения осыпей и селей, проходящие по склоновым саям при выпадении ливневых атмосферных осадков,

а также по руслам основных водотоков при интенсивном таянии снегов и ледников в верховьях рек.

Литература

1. Назаров И.В. Геоморфологические процессы-результат диалектического взаимодействия эндогенных и экзогенных сил // Философские вопросы геологии. Вып. 77(2). – Свердловск: Изд-во СГИ, 1970. – С. 23-33.

2. Туйчиева М.А., Джураев Н.М., Джураев А., Хайдарова Б.Н., Ёдгоров Ш.И. Сравнение особенности проявления деформации в зданиях на лёссовом основании при воздействии сильных землетрясений и при процессе просадки лёссовых пород основания зданий. Сб.: Проблемы Сейсмологии в Узбекистане. – 2013. – № 10. – С. 91-99.

3. Туйчиева М.А. «К вопросу оценки общего состояния геоэкологических условий урбанизированных территорий в Узбекистане» // Экологические проблемы промышленных городов: Сб. научных трудов по материалам 6-й Всероссийской научно-практической конференции с международным участием. Ч. I. – Саратов, 2013. – С. 123-125.

ПОДХОДЫ К КАРТОГРАФИРОВАНИЮ ЭКОЛОГО-ГЕОКРИОЛОГИЧЕСКИХ ОПАСНОСТЕЙ И РИСКА

И.В. Чеснокова

Учреждение Российской академии наук Институт водных проблем РАН
119333 Москва, ул. Губкина, д. 3. E-mail: ichesn@rambler.ru

Введение научного понятия «геологическая среда» академиком Е.М. Сергеевым в 1979 году, имело и имеет огромное значение, т.к. дало возможность не только геологам, а исследователям разных специальностей и научных направлений рассматривать естественно-природные и социально-экономические вопросы в тесной взаимосвязи и взаимодействии. Развивая и продолжая идеи Е.М. Сергеева за прошедшие 30 лет появились новые перспективные направления в инженерной геологии, геокриологии (эколого-геокриологические) и других науках, которые способствуют решению важной и актуальной задачи – устойчивого развития природы и общества.

Эколого-геокриологическая карта – один из видов специализированных карт, на которых изображаются особенности эколого-геокриологических условий (жизни и деятельности человека), оценивающиеся по степени благоприятности или опасности спровоцированных геокриологических процессов [1].

Известно, что особенности развития рельефа и комплекс геокриологических процессов играют важную роль при оценке экологической безопасности окружающего пространства. Эта роль отражается в виде многообразия форм проявлений конкретных процессов и явлений, изменяющих облик и существо геологической среды. Большое значение имеют быстротекущие и

внезапные процессы, которые разрушают среду жизни людей, созданные им материальные ценности, нередко уносят жизнь и здоровье. Одним из важнейших агентов экологических бедствий выступает рельеф: и начальный естественный рельеф, и преобразованный (сюда относится и рельеф, созданный для обеспечения безопасности населения, так называемый рельеф ограждающих сооружений [2].

Картографирование опасности и риска сегодня развивается в разных направлениях (градостроительное, сельскохозяйственное, геоэкологическое и др.) и на разных территориальных уровнях (глобальном, региональном, локальном). Решение этих задач может быть обеспечено путем создания базы данных и разработкой специальных средне- и крупномасштабных карт с учетом экологических требований – комплекса ограничений по природопользованию и условий по сохранению окружающей среды в процессе хозяйственной деятельности.

Информационной основой для решения большинства вопросов, связанных с обеспечением действий по предупреждению и ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций, могут быть специальные карты, обобщающие всю известную картографическую и территориально-распределенную информацию и служащие основой планирования предотвращения и ослабления последствий возможных природных и природно-техногенных катастроф. Такие карты позволяют:

- оценить текущее состояние всех компонентов природно-территориального комплекса (в системе «природа-хозяйство-население»);
- дифференцировать по территории и компонентам наиболее неустойчивые ситуации, из которых скорее всего могут развиваться катастрофические процессы;
- оценить состояние хозяйственной деятельности и положение объектов, потенциально наиболее неустойчивых к воздействию внешних факторов или способных быть источниками катастроф, провоцировать или усиливать их;
- показать возможные сценарии развития катастроф и рекомендации по их предотвращению или уменьшению возможного ущерба.

Совокупность обобщенной на картах информации позволяет разработать мероприятия предупреждения катастроф с учетом конкретных природных (геокриологических) и социально-экономических условий для территорий и объектов, систему контроля и мониторинга. Для составления оперативных карт важны такие понятия, как зона экологического бедствия и зона чрезвычайной экологической ситуации.

Зона чрезвычайной экологической ситуации – это часть территории, где в результате хозяйственной или иной деятельности происходят устойчивые отрицательные изменения в окружающей природной среде, угрожающие здоровью населения, состоянию естественных экологических систем, генетических фондов растений и животных.

Зона экологического бедствия – это часть территории, где в результате хозяйственной или иной деятельности произошли глубокие необратимые изменения окружающей природной среды, повлекшие за собой существенное ухудшение здоровья населения, нарушение разрушение естественных экологических систем, деградацию флоры и фауны.

Региональные карты риска являются новым типом прогностических карт, предназначенных, в основном, для обоснования принципиальных решений по рациональному использованию и защите территорий, подверженных опасным геокриологическим процессам, определения ставок страхования и решения ряда других вопросов органами исполнительной власти с привлечением общественности. Основным критерием типизации территории на таких картах является вероятный экономический ущерб или вероятность гибели людей в результате развития опасных процессов на определенной площади за определенный промежуток времени. Содержание и методика составления подобных карт в настоящее время нуждается в существенном уточнении и конкретизации применительно к различным процессам и уровням принятия решений, особенно с части разработки объективных интегрирующих показателей риска освоения территорий, подверженных одновременному воздействию нескольких опасных процессов.

Обычно зонами повышенного риска возникновения чрезвычайных ситуаций являются урбанизированные территории, т.к. из-за большого числа и плотности населения активизация природных и природно-техногенных процессов может привести к гибели людей, что по определению, переводит чрезвычайную ситуацию в катастрофу.

Информационная база и картографические средства, необходимые при составлении карт опасности, избираются с учетом функций, выполняемых ими в стратегии опережающего управления развитием региона.

Этап предупреждения об опасности включает, прежде всего, оценку территории по степени неотвратимости опасности (устраняемые и неустраняемые, преодолимые и непреодолимые опасности).

Этап прогноза и оценки риска включает прогнозирование опасного развития геокриологических процессов при естественном развитии и при определенном типе хозяйственного воздействия, как при существующем положении, так и при планируемой хозяйственной деятельности; а также разработку стратегических решений по минимизации опасности возникновения катастрофы, ее последствий.

Как показывает опыт, наибольшее распространение имеют информационные карты, на основе которых значками и второстепенными условными знаками обозначается некоторая аналитическая и рекомендательная информация. Такие карты сложны для чтения, и что особенно важно, не пригодны для принятия оперативных и опережающих решений управляющими органами. Поэтому необходимо составление специальных карт, так как они имеют адресную привязку.

Рекомендательные карты составляются для принятия решений, для определения развития региона, стратегии минимизации опасности, для определения приоритетных участков детальных исследований, проведения мер по инженерной защите объектов, определению наиболее безопасных участков для эвакуации жителей.

Несомненно, что столь обширная информация рекомендательных карт не может быть наглядно показана на одной карте. Поэтому предлагается разграничить информацию по функциональному назначению: а) карта стратегических решений (их может быть несколько при сложной ситуации). На этих картах планы развития региона согласуются с необходимостью сохранения природных ресурсов, необходимостью утилизации и захоронения отходов, необходимостью создания зон безопасности, инженерных сооружений, обеспечивающих безопасность, развитием опасных процессов. б) Карты альтернатив – на основе анализа существующей обстановки и существующей угрозы, показывают места, где необходимо проведение мероприятий по защите населения, пути эвакуации населения, участки наиболее безопасные для населения во время стихийного бедствия. Такие карты могут носить как запретительный характер, так и запретительно-рекомендательный. в) Карты оценки ущерба – на этих картах желательно выражать ущерб в стоимостных показателях, но, как показывает практика, это не всегда возможно. На карте может быть выделена и предполагаемая зона экологического бедствия.

Принципиальной позицией при составлении комплексных карт безопасности населения и карт проявления геокриологических процессов является дифференциация территории по степени социально-экономической ценности. Последовательность действий при составлении комплексных карт обеспечения безопасности населения может быть предложена в следующем виде:

1) Оценка природных и природно-техногенных условий по степени опасности проявления геокриологических процессов, по степени вероятности возникновения чрезвычайной ситуации. Таким образом мы отвечаем на вопрос: может ли на этом участке возникнуть ЧС по каким-либо природным причинам?

2) Классификация геокриологических процессов по их временным сочетаниям. Составленные на основе изложенных выше исследований ситуационные, временные, причинно-следственные и вероятностные карты позволяют составить карту уязвимости территории по комплексу этих опасных явлений.

3) Социально-экономическая оценка (типизация) территории. Очевидно, что степень использования земель, наличие сооружений, а главное повышенная плотность населения увеличивают ценность данной территории. Социально-экономическая типизация может быть проведена на основе функционального зонирования, на основе социальной, культурно-исторической и экономической значимости территории.

4) Расчет ущербов (как вероятных, так и неизбежных). На одной и той же территории, а иногда в один и тот же момент, существует разный риск ущерба (гибели, материальных потерь и т.д.) от различных опасных геокриологических процессов. Практическую ценность представляет оценка вероятности ущерба независимо от причин. Следует различать, как минимум, две группы возможных ущербов: экологических – обществу в целом (это люди и их здоровье), природному комплексу данной территории, и социально-экономических – месту жительства, местам приложения труда, социальной и промышленной инфраструктуре, транспорту, ресурсной базе (энергетическим источникам, полезным ископаемым), сельскохозяйственным угодьям, рекреационным и культурно-историческим территориям.

При оценке вероятности возникновения ущерба от данного природного процесса (или группы процессов) для той или иной области хозяйственной деятельности следует принимать во внимание пороговую интенсивность природных процессов, при которой ущерб становится значимым для данной отрасли хозяйства. Интенсивность ущерба может оказаться большей или меньшей в зависимости от взаимного усиления или демпфирования процессов и явлений, поэтому при определении ущерба чрезвычайно важно иметь составленную карту уязвимости территории.

5) Оценка риска проведения запланированных народно-хозяйственных мероприятий. Степень риска для жизни и хозяйственной деятельности на данной территории зависит не только от повторяемости на ней различных опасных процессов и явлений, их интенсивности, но и от возможного ущерба от каждого из них (вероятность гибели для каждого человека, материальный ущерб) по отдельности и от их сочетаний.

6) Мероприятия по защите и альтернативные решения. В зависимости от назначения территорий можно выделить несколько групп факторов, отрицательно влияющих на качественное состояние земель. Так, например, для земель сельскохозяйственного назначения большое значение имеет их культуротехническое состояние, которое ухудшается в связи с переуплотнением земель, зарастанием угодий, переувлажнением, заболачиванием, другими видами деградации земель.

Для земель, находящихся в ведении городских, поселковых и сельских администраций главными ущербобразующими факторами являются наводнения, оползни и обвалы, землетрясения, лавины, сели, эрозия (плоскостная, овражная, речная), термоэрозия, подтопление, переработка берегов, карст, суффозия, пучение, просадки лёссовых пород и др.).

Таким образом, все категории земель в той или иной мере подвержены риску образования ущерба от природных, в том числе и геокриологических, процессов и от антропогенных факторов. Это обстоятельство должно учитываться при определении стоимости земель и ее страховании.

Использование механизма страхования наряду с мерами по защите территории является необходимым условием цивилизованных отношений и от-

ветственности за ущерб, причиненный окружающей природной среде, а также предоставлению возможности для моделирования соответствующего страхового покрытия и проведения страхования. В настоящее время страхование ответственности за загрязнение окружающей природной среды – относительно новая активно развивающаяся отрасль страхования [3,4].

В настоящее время, обращаясь к отечественной законодательной базе и к опыту страхования экологических и природных рисков, можно привести следующие основополагающие документы:

1. Закон РСФСР «Об охране окружающей природной среды» от 19.12.91 г. № 2060-1.

2. Федеральный закон «О защите населения и территорий от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера» от 21.12.94 г. № 68-ФЗ.

3. Федеральный закон «О промышленной безопасности опасных производственных объектов» от 21.07.97 г. № 116-ФЗ.

4. Федеральный закон «О соглашениях о разделе продукции» от 30.12.95 № 225-ФЗ (в ред. Федерального закона от 07.01.99 № 19-ФЗ).

5. Федеральный закон «О государственном земельном кадастре» от 02.01.2000 № 28-ФЗ.

6. Проект модельного закона «Об экологическом страховании» Постановление Межпарламентской Ассамблеи государств-участников Содружества Независимых государств от 13.06.2000 г. N 15-6.

Работа выполняется при финансовой поддержке РФФИ, проект 13-05-00462а.

Литература

1. Лихачева Э.А., Тимофеев Д.А. Экологическая геоморфология. – М.: Медиа-ПРЕСС, 2004. – 240 с.

2. Симонов Ю.Г., Кружалин В.П., Симонова Т.Ю. Методы диагностики эколого-геоморфологических опасных воздействий на рельеф // Эколого-геоморфологические исследования. – М.: Изд-во МГУ, 1995. – С. 177-183.

3. Закон РСФСР «Об охране окружающей природной среды» от 19.12.91 г. № 2060-1. Федеральный закон «О защите населения и территорий от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера» от 21.12.94 г. № 68-ФЗ.

**НЕОТЕКТОНИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ
И ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ
БАСЕЙНА Р. ОКИ НА ТЕРРИТОРИИ КАЛУЖСКОЙ
И ТУЛЬСКОЙ ОБЛАСТЕЙ
(ПО ДАННЫМ ЛИНЕАМЕНТНОГО АНАЛИЗА).**

Е.В. Шереметьева

Геологический факультет МГУ имени М.В. Ломоносова, Воробьевы горы, Москва.
E-mail:Katrin1990@yandex.ru

Район исследования расположен на стыке двух областей Калужской и Тульской (в северной его части); на тектонической карте фундамента – это юго-восточная часть Московской синеклизы [8]. Глубинное строение изучаемой территории весьма интересно и привлекает внимание геологов с тридцатых годов XX столетия. По результатам геофизических исследований и глубокого бурения было выявлено погружение поверхности кристаллического фундамента в северо-восточном направлении (рис.1.е). Также была установлена густая сеть региональных разломов северо-западного простирания, параллельная Пачелмскому авлакогену и прослеживающаяся от Тамбова (на юго-востоке) до Тулы (на северо-западе) [8] (см. рис.1.е). Эта зона разломов характеризуется большой протяжённостью и связью с магматическими очагами, она неоднородна и расчленяется на части разломами северо-восточного направления.

В местах пересечения разломов обоих направлений располагаются уникальные кольцевые вулcano-тектонические структуры – Калужская и Дугнинская, названные по крупным топонимам [8]. Эти структуры обладают схожими формами (округлая и эллипсовидная) и близкими размерами [8].

В ходе работы главной задачей являлось – нахождение участков проявления тектонических процессов, которые протекали в новейший этап (неотектонически активных участков).

Поскольку инженерно-геологические исследования – это целый комплекс исследований, направленный на изучение инженерно-геологических условий площадок для будущего строительства или прокладки трассы коммуникаций, то не последним в этих исследованиях является изучение неотектонических процессов. Тем более что они определяют реакцию рельефа на их проявление. Иными словами – любое строительство в узловой (неотектонически активной) зоне априори неразумно, ну или как минимум требует дополнительного укрепления конструкций, в связи с геологическими особенностями данного района.

В этой работе применялся метод линеаментного анализа, предложенный У.Хоббсом [7]. Результаты этого анализа послужили данными для моделирования изучаемой территории на предмет выделения неотектонически

активных структур и участков и, следовательно, на выявление инженерно-геологических условий пригодных или не пригодных для строительства.

Линеаменты представляют собой линейные элементы земной поверхности, отражающие линейные структуры земной коры и, не исключено, литосферы в целом. Они привлекают внимание геологов уже более 100 лет, но их природа и геологическое значение во многом остаются загадочными [2]. Таким образом, данная работа имеет прикладной характер по части интерпретации линеаментов как геологических образований и объяснения с их помощью тех или иных особенностей структуры земной коры – в данном случае глубинной неотектоники и инженерно-геологических условий.

Объектами линеаментного анализа стали гипсометрические карты современного рельефа, дочетвертичной поверхности, временных срезов нижнего карбона: подошвы отложений алексинской (C_{1a}), кровли отложений упинской (C_{1up}) и малевской (C_{1ml}) свит. Таким образом, в результате дешифрирования были получены линеаментные схемы для всех пяти карт (рис.1).

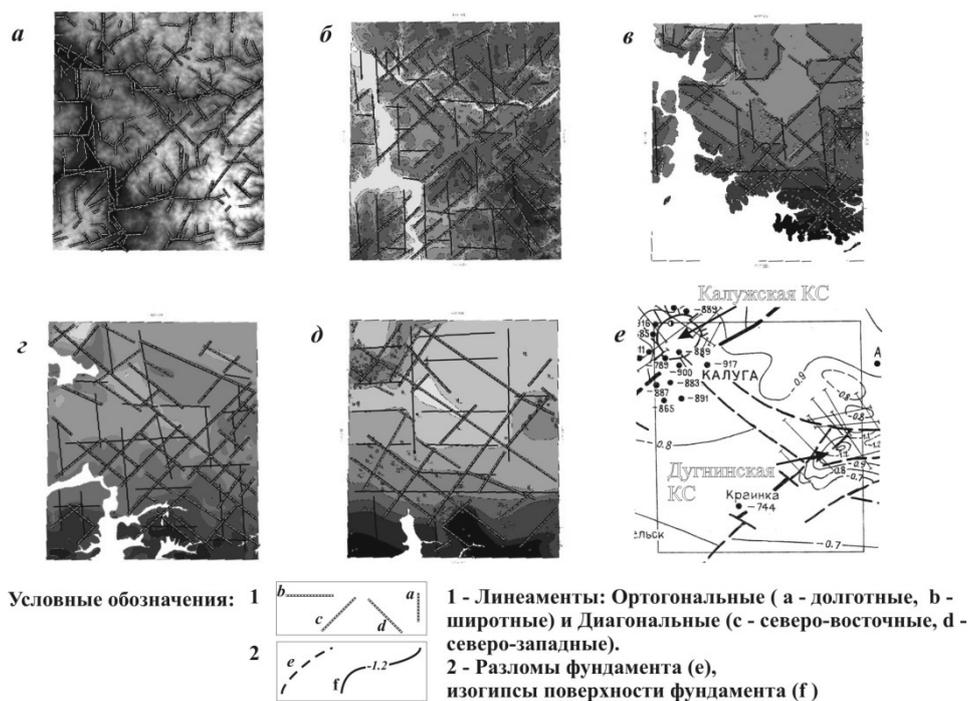
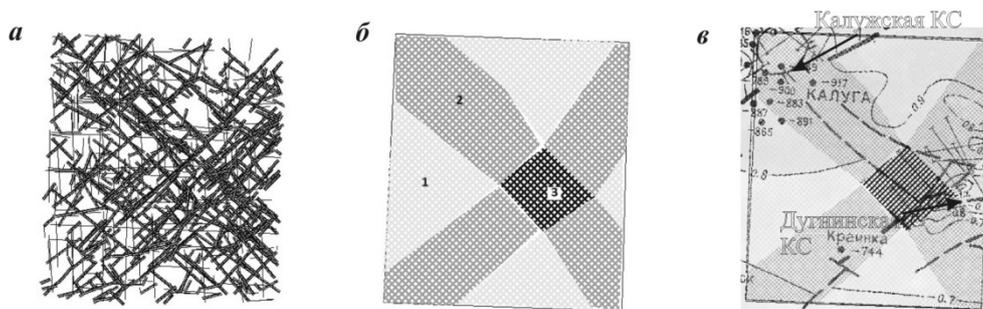


Рис. 1. a-d): Результаты дешифрирования *a* – современного рельефа SRTM; и гипсометрических поверхностей *б* – кровли дочетвертичных отложений, *в* – подошвы алексинской свиты, *г* – кровли упинской свиты и *д* – кровли малевской свиты; и *е* – структурная карта поверхности фундамента изучаемой территории (составил В.Г. Петров по данным ГУЦР, Союзбургаза, Спецгеофизики, 1972 г. [7])

На полученных схемах, составленных в масштабе 1:750 000, выделяются линеаменты четырех простираний: северо-восточные (СВ) и северо-западные (СЗ) – диагональные; субширотные (СШ) и субмеридианальные (СМ) – ортогональные (Рис.1). Причём доминирующими являются линеаменты диагональной системы, т.е. СЗ и СВ простираний. Сравнивая диагональные направления, можно сказать, что линеаменты СЗ простирания более яркие и «организованы». Ортогональная система линеаментов контролирует диагональную.

Если классифицировать линеаменты по яркости и «организованности», то на первом месте окажутся линеаменты СЗ простирания, на втором – СВ, на третьем СШ и на четвёртом – СМ.

Между линеаментными схемами, полученными по гипсометрическим картам различных временных срезов, наблюдается немалая схожесть во всем, начиная с того, что на всех доминируют диагональные направления, пересечение которых, в пределах погрешности, располагается на одном и том же месте. Всё это хорошо наблюдается на результирующей схеме – рис.2.а.



Условные обозначения: см. В Рис.1

Для Рис.2.б: 1 - неактивная зона, 2 - активная зона и 3 - гиперактивная зона.

Рис. 2. а – все линеаменты, полученные в результате дешифрирования пяти срезов (современный рельеф, дочетвертичная поверхность, подошва алексинской и кровли упинской и малевской свит; б – деление площади исследования на участки:

1 – неактивные, 2 – активные, 3 – гиперактивные; в – корреляция участков активности со структурами фундамента (разломами)

Поскольку линеаменты – это линии резкого градиентного изменения параметров географической среды, геологической структуры и физических полей [4], то территория, на которой линеаменты располагаются наиболее густо (т.е. их количество на единицу площади в сравнении с соседней территорией больше), является более насыщенной различными (или конкретными) градиентными параметрами. И, значит, такая территория более активна, с точки зрения различных геологических процессов. Так как в нашем случае мы дешифрируем гипсометрические поверхности, то нашим градиентным параметром является рельеф этих поверхностей.

В образовании рельефа участвуют экзогенные и эндогенные процессы. Следовательно, по густоте линеаментов можно судить об эндогенной активности данной территории.

Итак, если поделить территорию бассейна реки Оки на зоны с различной плотностью линеаментов, то можно выделить 9 зон. Причём, краевыми будут зоны с наименьшей плотностью и характеризующиеся слабой эндогенной активностью; диагональные зоны характеризуются гораздо большей плотностью линеаментов и соответственно большей активностью и, наконец, центральная зона, больше смещённая к северо-востоку, с самым плотным содержанием линеаментов и самая активная. По шкале из трёх грубо оценённых значений, можно считать первую зону неактивной, вторую – активной, а последнюю – гиперактивной (Рис.2.б). Так же можно провести прямую аналогию зон активности с инженерно-геологическими условиями обозначив неактивную зону – зоной пригодной для строительства, активную зону – как опасную для строительства крупных построек и коммуникаций, требующую дополнительных укрепляющих конструкций, и, наконец, гиперактивную – как зону непригодную, для строительства крупных построек и коммуникаций (см. табл. 1).

Таблица 1

		Характеристика зоны по параметру		
Параметр	Плотность линеаментов	С низкой плотностью линеаментов	С высокой плотностью линеаментов	С очень высокой плотностью линеаментов
	Неотектоническая активность	Неактивная	Активная	Гиперактивная
	Инженерно-геологические условия	Пригодная для строительства любого типа сооружений и коммуникаций	Опасная для строительства крупных построек и коммуникаций, требующая дополнительных укрепляющих конструкций	Непригодная, для строительства крупных, сложных построек и коммуникаций.

При наложении зон активности на тектоническую карту фундамента наблюдается чёткая корреляция активных зон с разломами северо-восточного и северо-западного простираний; гиперактивная зона – соответствует Дугнинской кольцевой (а точнее эллипсовидной) структуре; в неактивной зоне не располагаются ни разломы, ни кольцевые структуры (Рис.2.в). То есть линеаментные поля диагональной системы совпадают с ориентировкой и местоположением разломов фундамента, причём на всех рассматриваемых нами

срезах. Линеаменты же ортогональной системы могут отражать, скорее всего, какие-то, более «молодые», нарушения, вероятно, возникшие в структуре осадочного чехла.

При рассмотрении результатов табл.1 отчетливо видно, что значения плотности линеаментов, неотектонической активности и инженерно геологических условий находятся в прямой зависимости друг от друга. Этот факт дает основания предполагать, что при изучении инженерно-геологических условий территории, пожалуй, одним из эффективных методов может быть метод линеаментного анализа, в качестве индикатора «опасных и непригодных» для строительства зон. Нельзя не отметить, что данный метод, относящийся к разряду дистанционных, не требует больших трудовых и денежных затрат, связанных с организацией и проведением полевых, буровых и прочих работ [6].

Проделанная работа позволяет претендовать на некоторую, в своём роде, региональную новизну, методическую уникальность и теоретическую значимость. Она выводит на *новый уровень изучения (моделирования) неотектонических процессов и инженерно-геологических условий* путём анализа закономерностей и особенностей линеаментного рисунка [3].

Литература

Изданная

1. *Короновский Н.В., Анисимова О.В.* Разломы, блоки фундамента Центральной части Московской синеклизы и их связь с линеаменами // Известия секции наук о Земле Российской Академии естественных наук. – 2007. – Вып. 15. – С. 39-55.

2. *Макаров В.И.* Линеаменты (проблемы и направления исследований с помощью аэрокосмических средств и методов) // Исследование Земли из космоса. – 1981. – №4. – С. 109-115.

3. *Полетаев А.И.* Линеаментная тектоника земной коры – структурно-информационная основа карт новейшей геодинамики / Геология, ч. 11. Университеты России. – М.: МГУ, 1994. – С. 181-185.

4. *Полетаев А.И.* Линеаментный метод // Экологический вестник. – 2001. – № 3. – С. 12-28.

5. *Шереметьева Е.В.* Применение дистанционных методов для исследования древних погребенных и современных речных долин на примере северо-восточной части Московской синеклизы (долина р. Волги) // РАН, Сергеевские чтения. Вып. 15. – М.: РУДН, 2013. – С. 200-203.

6. *Шереметьева Е.В., Богословский В.А., Кочев Д.З., Полетаев А.И., Спиридонов А.В.* Линеаментный анализ как наиболее экологичный и инвестиционно привлекательный способ оценки инженерно-геологических условий территории пректируемого строительства // Сергеевские чтения. Устойчивое развитие: задачи геоэкологии (инженерно-геологические, гидрогеологические и гидрокриологические аспекты). Молодежная конференция. Вып. 15. Материала годичной сессии Научного совета РАН по проблемам геоэкологии, инженерной геологии и гидрогеологии (21-22 марта 2013 г.). – М.: РУДН, 2013. – С. 204-208.

7. *Hobbs W.N.* Lineaments of the Atlantic border region // Bull. Geol. Soc. Amer. – 1904. – Vol. 15. – P. 483-506.

Фондовая

8. *Селезнёв Е.Д., Селезнёва Е.Д.* Отчет Калужской геолого-геофизической экспедиции, о гидрогеологической съемке масштаба 1:200 000 на площади листа N-37-XIII. –(Калуга, 1973. – С. 342-357.

ИЗУЧЕНИЕ ВЛИЯНИЯ НАПРЯЖЕННОГО СОСТОЯНИЯ ПРИБОРТОВЫХ МАССИВОВ НА УСТОЙЧИВОСТЬ УЧАСТКОВ БОРТОВ ГЛАВНОГО КАРЬЕРА КАЧКАНАРСКОГО ГОКА

А.В. Яковлев, Е.С. Бусаргина

Институт горного дела УрО РАН, 620219, г. Екатеринбург, ул. Мамина-Сибиряка, 58.
E-mail: ekaterina-busargina@yandex.ru, lubk_igd@mail.ru

Напряженное состояние породного массива месторождения на ряду со структурным является одной из важных частей инженерно-геологической информации о горном объекте наряду со структурным, на основе которой строится деформационная модель соответствующего участка прибортового массива. Результаты исследования напряженного состояния породного массива позволяют судить об устойчивости бортов карьера и прогнозировать деформационное поведение прибортового массива.

В прибортовом массиве карьера, разбитом природными трещинами и трещинами от взрывных работ, упругие деформации, непосредственно связанные с уровнем тектонических напряжений и обычно определяемые для оценки уровня действующих компонент, выделить из общих деформаций практически невозможно. Таким образом, определить уровень действующей компоненты напряжений по данным деформаций интервала между двумя реперами в массиве также невозможно.

Но по результатам исследований структурных характеристик массива, образованных в результате перемещения смежных блоков, возможно оценить уровень напряжений в массиве. Ориентировка перемещения блоков и борозд скольжения на прочных заполнителях швов позволяют провести реконструкцию поля напряжений соответствующего периода его развития [1].

При анализе нарушений по индикаторам перемещений (штрихи и борозды скольжения) с помощью стереограмм в прибортовом массиве определяются несколько кинематических полюсов, являющихся результатом действия соответствующих векторов максимальных напряжений. Один-два кинематических полюса обусловлены начальным полем напряжений, а другие кинематические полюса – действием уже трансформированного поля напряжений в результате создания карьерной выработки. Важной является максимальная компонента, возникшая в результате трансформации поля напряжений и близко ориентированная в массиве к ориентировке образующей борта карьера. Минимальная компонента поля напряжения ориентирована по нормали к поверхности обнажения.

Взаимосвязь максимальной и минимальной компонент поля напряжения выражается законом Кулона-Мора:

$$\tau_{сдв} \geq \tau_{сц} , \quad (1)$$

где $\tau_{сдв}$ – сдвиговое усилие по поверхности трещины, МПа;
 $\tau_{сц}$ – усилие сцепления по поверхности трещины, МПа.

или

$$0,5 (\sigma_1 - \sigma_3) \sin 2\alpha \geq (\sigma_1 \sin^2 \alpha + \sigma_3 \cos^2 \alpha) \operatorname{tg} \varphi' + C' , , \quad (2)$$

где σ_1 – максимальная компонента поля напряжений, МПа;
 σ_3 – минимальная компонента поля напряжений, МПа;
 α – угол между σ_1 и поверхностью трещины, град;
 φ' – угол трения по контакту поверхностей трещины, град;
 C' – сцепление по контакту поверхностей трещины, МПа.

Если выделить два-три кинематических шва, принадлежащих одному кинематическому полюсу, обусловленному начальным или трансформированным полем напряжений, то можно реконструировать главные компоненты этого поля в массиве накануне генеральной подвижки.

Реконструкцию тектонического поля напряжений можно провести на примере северо-западного борта Главного карьера Качканарского ГОКа. Для этого по результатам инженерно-геологических изысканий на одном из участков Главного карьера были выделены 2 поверхности скольжения, имеющие индикаторы перемещения, такие как борозды скольжения. Первая поверхность скольжения имеет азимут простирания 344° и угол падения 78° , шероховатую поверхность, с бороздами скольжения по кальциту. Вторая поверхность имеет азимут простирания 140° и угол падения 78° , шероховатую поверхность, с бороздами скольжения по хлориту.

Для построения главных напряжений в прибортовом массиве данные поверхности скольжения были вынесены на стереограмму Вульфа, к ним построены полюса и кинематические оси. Для определения поверхности, на которой располагаются σ_1 и σ_3 , были построены вспомогательные оси, построенные с учетом угла наклона борта карьера (рис. 1). После данных построений были найдены углы между максимальным главным напряжением σ_1 и соответствующей кинематической поверхностью скольжения и составлены уравнения равновесия к моменту перемещения для каждой выбранной поверхности скольжения согласно формуле (2). Для выбранных кинематических плоскостей угол α составил: для первой поверхности скольжения 32° , для второй поверхности скольжения 58° . Значения же физико-механических параметров по контакту были выбраны по описанию поверхности скольжения и составили: для первой поверхности – $\varphi'=25^\circ$, $C'=0,2$ МПа, для второй поверхности – $\varphi'=15^\circ$, $C'=0,1$ МПа. [2]

Решив систему уравнений для выбранных плоскостей скольжения, были получены значения максимальной и минимальной компонент главного поля напряжений $\sigma_1 = 14,5$ МПа и $\sigma_3 = 5,8$ МПа, являющиеся основой для определения устойчивости прибортового массива.

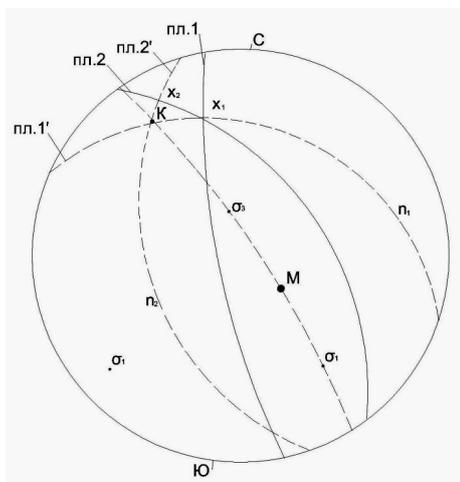


Рис. 1. Обработка данных по трещиноватости массива с применением стереограммы Вульфа для построения главных напряжений в прибортовом массиве

Чтобы оценить устойчивость прибортового массива в сложившихся условиях, прежде всего, следует выяснить, насколько критическим данное значение максимального главного напряжения является для других тектонических структур. Нарушение устойчивости в прибортовом массиве происходит при условии:

$$\tau_{сц} / \tau_{сдв} < 1, \quad (3)$$

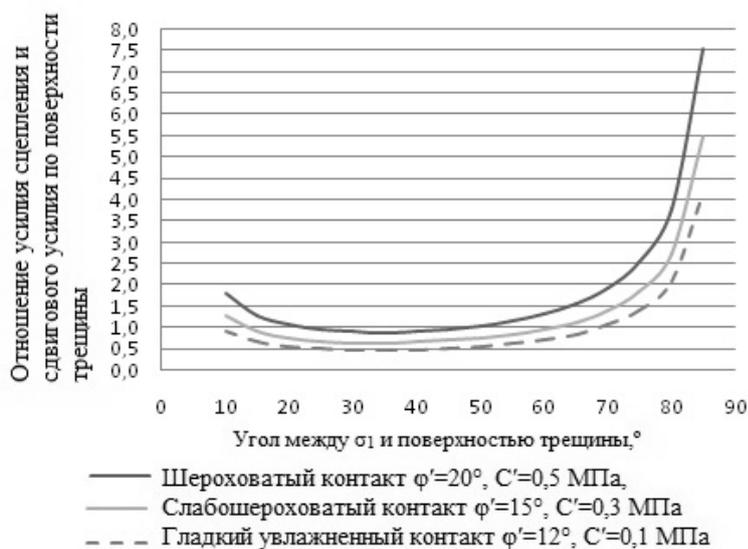


Рис. 2. Отношение усилия сцепления и сдвигового усилия по поверхности трещины различного генезиса при значениях максимальной и минимальной компонент поля напряжения $\sigma_1 = 14,5$ МПа и $\sigma_3 = 5,8$ МПа

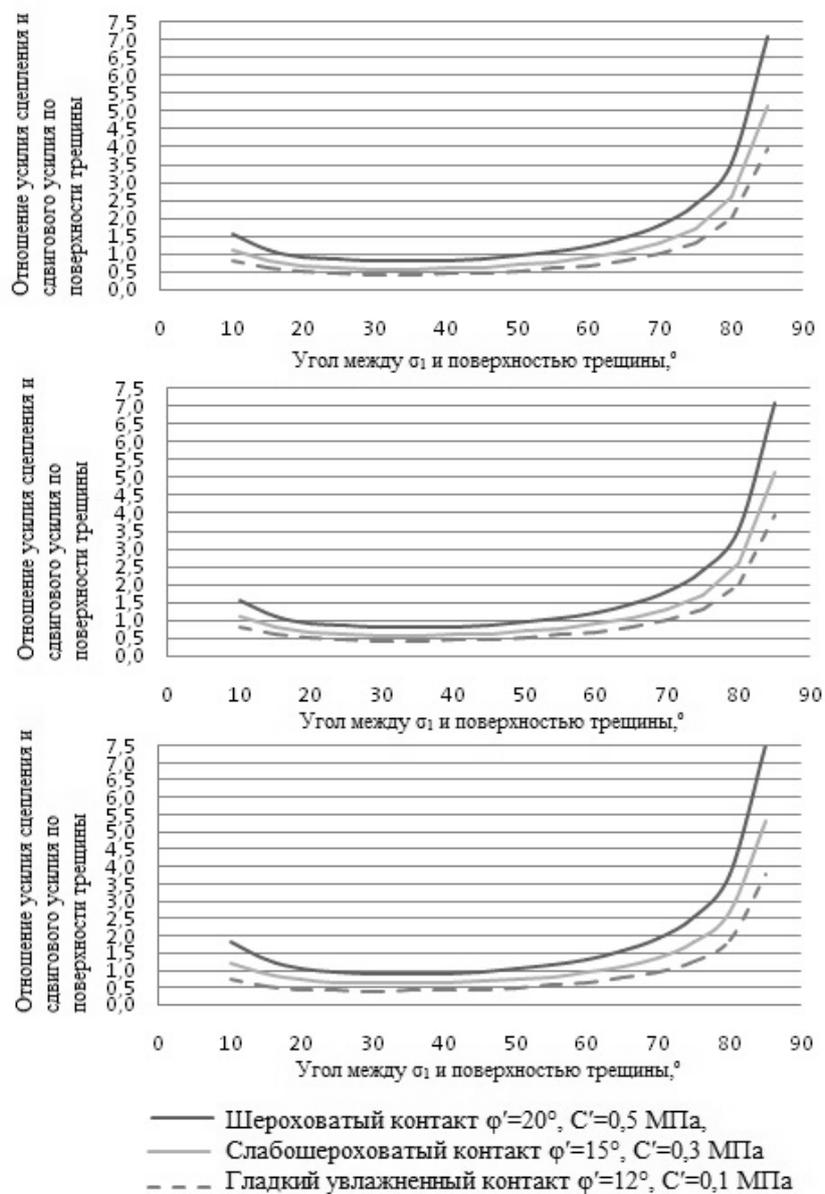


Рис. 3. Отношение усилия сцепления и сдвигового усилия по поверхности трещины различного генезиса при различных компонентах поля напряжения:

- а) $\sigma_1 = 20$ МПа и $\sigma_3 = 7,5$ МПа; б) $\sigma_1 = 10$ МПа и $\sigma_3 = 3,5$ МПа;
 в) $\sigma_1 = 20$ МПа и $\sigma_3 = 7,5$ МПа.

Для оценки устойчивости прибортового массива были выбраны три нарушения: первое имеет шероховатую поверхность и значения угла трения и сцепления по поверхности контакта $\varphi'=20^\circ$, $C'=0,5$ МПа, второе – слабошероховатую поверхность и $\varphi'=15^\circ$, $C'=0,3$ МПа и третье – гладкая увлажненная поверхность и $\varphi'=12^\circ$, $C'=0,1$ МПа. Для расчета сдвигового усилия и усилия сцепления по поверхности трещины были взяты значения максимальной и минимальной компонент (σ_1 и σ_3) тектонического поля напряжений 14,5 МПа и 5,8 МПа соответственно, результаты данных расчетов представлены на рис. 2.

Также была проведена оценка устойчивости прибортового массива с выбранными ранее параметрами нарушения при наличии в прибортовом массиве компонент поля напряжения со следующими значениями: $\sigma_1=20$ МПа и $\sigma_3=7,5$ МПа; $\sigma_1=10$ МПа и $\sigma_3=3,5$ МПа; $\sigma_1=5$ МПа и $\sigma_3=1,5$ МПа (рис. 3).

Таким образом, способность массива противостоять сложившимся нагрузкам зависит от значений компонент тектонического поля напряжений. Судя по полученным результатам, очень важными для устойчивости прибортового массива становятся нарушения, которые составляют с вектором действия максимальной компоненты тензора напряжений σ_1 углы в пределах $15-55^\circ$. Уменьшение значений физико-механических свойств по поверхности контакта приводит к расширению диапазона углов падения потенциально подвижных нарушений, и, наоборот, увеличение сцепления – к уменьшению этого диапазона.

Литература

1. Яковлев А.В. Влияние тектонических напряжений на устойчивость бортов карьеров в скальных массивах // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2009. – № 3. – С. 338-341.
2. Яковлев А.В, Ермаков Н.И. Методика изучения прибортовых массивов для прогнозирования устойчивости бортов карьеров. – Екатеринбург: ИГД УрО РАН, 2008.

4. КОМПЛЕКСНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ СРЕДЫ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКИХ ЗАДАЧ

ТЕХНОГЕННАЯ ТРАНСФОРМАЦИЯ ПОДЗЕМНОЙ ГИДРОСФЕРЫ НЕФТЕДОБЫВАЮЩИХ РАЙОНОВ УРАЛО-ПОВОЛЖЬЯ

Р.Ф. Абдрахманов

Институт геологии УНЦ РАН. E-mail: hydro@ufaras.ru

Техногенез становится решающим фактором преобразования подземной гидросферы в нефтедобывающих регионах Урало-Поволжья. Здесь расположен ряд крупных месторождений «Второго Баку» (Арланское, Ромашкинское, Туймазинское, Шкаповское и др.). За последние 50 лет техногенез превратился из локального в региональный процесс, который по своему воздействию нередко превосходит природные процессы и имеет необратимый характер. Влияние нефтедобывающего техногеоза ощущается практически во всей толще осадочного чехла и даже проникает в последние годы в породы кристаллического фундамента. Современные гидрогеодинамическая и гидрогеохимическая структуры осадочного бассейна сложились в результате длительной эволюции под воздействием комплекса естественноисторических эндогенных и экзогенных факторов. Нефтегазоносность седиментационного бассейна региона связана главным образом с терригенными толщами среднего–верхнего девона и нижнего карбона, залегающими на глубине 1–1,5 км в зоне застойного и квазизастойного гидрогеодинамических режимов. Наиболее интенсивному воздействию подвергаются зоны застойного и активного гидрогеодинамических режимов.

Изменения гидрогеодинамического и гидрогеохимического режимов нижнего этажа (застойного и квазизастойного режимов) произошли в связи с бурением скважин различного назначения: структурного, разведочного, эксплуатационного, нагнетательного, пьезометрического и пр. Количество их в нефтедобывающих районах исчисляется несколькими десятками тысяч. Только в ОАО АНК «Башнефть» фонд скважин составляет свыше 37000, из них 31% эксплуатируется более 20 лет. Например, на Туймазинском месторождении на 1 км² приходится в среднем 7,3 скважины. По данным Б.В. Ани-

симова и др. [2], плотность скважин на разведочных площадях Восточного Татарстана («Татнефть») колеблется от 4,8 до 58,7 скв./км². От плотности скважин прямо зависит и плотность других нефтепромысловых сооружений. В начальный период эксплуатации месторождений в результате отбора флюидов повсеместно отмечалось уменьшение величин пластовых давлений на 5,0–15,0 МПа относительно начальных, что привело к образованию депрессионных воронок площадью до 1000 км² (Ромашкинское, Шкаповское, Туймазинское, Ярино-Каменоложское, Мухановское, Кулешовское и другие месторождения).

Дальнейшая многолетняя разработка месторождений с применением внутри- и законтурного заводнения привела к значительному перераспределению пластовых давлений в продуктивных пластах, изменению направленности и скоростей движения подземных вод, смешению контуров нефтеносности, интенсификации перетоков между отдельными водоносными комплексами, а также вызвала существенные изменения ионно-солевого и газового состава рассолов.

Нагнетание больших количеств пресных и нефтепромысловых вод, а на отдельных месторождениях (Шкаповском, Сатаевском и др.) – и жидких промышленных стоков явилось причиной восстановления в продуктивных пластах первоначальных пластовых давлений, а затем формирования избыточных давлений, превышающих нормальные на 1,0–4,0 МПа и более, и их дифференциации в пределах нефтегазоносных площадей. В литологически выдержанных и проницаемых пластах гидрогеодинамическое влияние на разрабатываемых залежах распространилось на расстояние до 10–20 км. Так, на Туймазинском нефтяном месторождении наблюдаются сложные конфигурации современных пьезометрических поверхностей вод палеозоя. Наиболее высокое положение их (абс. отм. до 520–620 м) свойственно пластам D_2 и C_1 (рис. 1). По пласту D_1 они не превышают 270 м, что, тем не менее, на отдельных участках площади месторождения выше абсолютных отметок рельефа. При этом на участках пьезоминимумов абсолютные отметки уровней уменьшаются до минус 100–400 м (по пласту D_1) и плюс 50 м – минус 200 м (по пластам D_2 и C_1), что на 100–350 м ниже начальных. Совершенно очевидно, что величины пластовых давлений в отдельных продуктивных горизонтах, соотношения между ними, а также начальными пластовыми давлениями и земной поверхностью не постоянны [1]. Они зависят в первую очередь от режима эксплуатации скважин на том или ином участке (как добывающих, так и нагнетательных). При этом наблюдается рост как горизонтальных, так и вертикальных градиентов напора, вызывающих миграцию флюидов между водонефтеносными комплексами осадочного чехла через гидрогеологические «окна» литолого-фациального, тектонического и техногенного происхождения, а также непосредственно через разделяющие глинистые слои. На Туймазинском месторождении расход восходящих перетоков из одного пласта терригенного девона в другой через толщу аргиллитов и алевролитов мощностью 10–15 м, как показали результаты электромоделирования и промысловые данные, достигает 130 л/с [4].

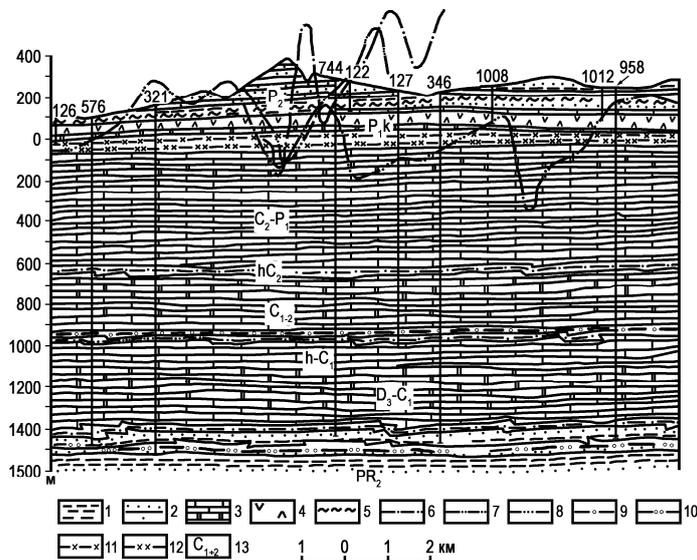


Рис. 1. Изменение пластовых давлений в результате разработки Туймазинского нефтяного месторождения:

1–4 – литологический состав:

1 – глины, аргиллиты, 2 – песчаники, алевролиты, 3 – известняки, доломиты,
4 – гипсы, ангидриты; 5 – подошва зоны пресных вод;

6–8 – современный пьезометрический уровень: 6 – по пласту C_1 , 7 – по пласту D_{II} ;

9–10 – линия ВНК: 9 – по пласту C_1 , 10 – по пласту D_{I+II} ; 11–12 – начальный;

11 – по пласту C_1 , 12 – по пласту D_{I+II} ; 13 – индекс гидрогеологического комплекса

Натурные исследования показали, что в зонах нагнетания резко возросли скорости движений подземных вод. На Арланском месторождении они составили 13-90, а на Туймазинском – 100-450 м/сут. [5]. Исследования, выполненные индикаторным методом на ряде других месторождений Волго-Уральской области, свидетельствуют о широком диапазоне скоростей движения нагнетаемых вод – от n до $n \times 10^2$ м/сут. Так, в пределах Ромашкинского нефтяного месторождения при использовании в качестве трассера трития получены скорости миграции воды в пластах терригенного девона 5–16,5 м/сут [6]. В то же время имеются данные об очень высоких скоростях движения, достигающих 1,8 км/сут [3]. В условиях фильтрационной анизотропности пород определенные с помощью индикаторов различного типа гидродинамические параметры характеризуют в основном высокопроницаемые прослои пластов, по которым осуществляется наиболее интенсивная миграция закачиваемой жидкости. Надо полагать, что в результате прорыва меченой воды она значительно опережает основной фронт закачиваемой жидкости.

В зонах нагнетания пресных вод для поддержания пластового давления наблюдаются существенное снижение минерализации пластовых седиментогенных (инфильтрогенно-седиментогенных) рассолов до полного опреснения

их вблизи нагнетательных скважин, активизация биохимических процессов, ведущих к генерации сероводорода в азотметановых газах, а в ряде случаев – выпадение гипса в призабойных зонах и стволах скважин.

В результате нагнетания пресных вод ($0,4 \text{ г/дм}^3$) содержание солей в пластовых водах (228 г/дм^3) одного из месторождений моноклиального склона платформы (Сергеевская площадь – скв. 742, интервал перфорации 2000,6, пласт D_1+D_2) уменьшилось до $49-3,7 \text{ г/дм}^3$. Тип воды оставался постоянным (Шб). Величина $rNa/rCl - 0,51-0,57$, отмечалось увеличение pH от 5,5 до 7,5. Подобная картина характерна и для других нефтяных месторождений, разрабатываемых с применением для поддержания пластового давления пресных вод. Снижение минерализации пластовых рассолов приводит также к разрушению месторождений минеральных промышленных вод. Изменения гидростатических давлений вызывает изменения геостатических, что является причиной образования слабых мелкофокусных (5–7 км) техногенных землетрясений [1].

Практически на всех нефтяных месторождениях Волго-Уральского региона нарушение естественного гидрогеологического режима произошло не только в нижнем этаже бассейна, но и в *верхнем, заключающем пресные питьевые и минеральные лечебные воды*. В результате процессов смешения вод различных геохимических типов сформировались растворы, генетически чуждые водовмещающим горным породам. Наиболее существенные гидрогеохимические изменения выявлены в нефтесдобывающих районах Татарского свода, где в приповерхностной зоне широко развиты хорошо проницаемые терригенные и закарстованные сульфатно-карбонатные отложения казанского возраста, Бирской седловины, сложенной неогеново-четвертичными и пермскими отложениями (рис. 2).

В результате проникновения пластовых рассолов в верхние водоносные горизонты утратились естественные связи ионно-солевого состава подземных вод с литолого-минералогическими особенностями водовмещающей среды, появились новые, ранее не свойственные отложениям геохимические типы вод. Минерализация вод во многих случаях повысилась и достигла 5–10 и даже 40 г/дм^3 . Одновременно воды стали хлоридными натриевыми и хлоридными кальциево-натриевыми типа Ша (хлормагниевые) и Шб (хлоркальциевые). В солевом составе вод появились $NaCl$, $CaCl_2$, и $MgCl_2$. На один – три порядка возросли концентрации микроэлементов (мг/дм^3): брома – $0,5-66,5$, йода – $0,7-2,2$, бора – $0,5-2,85$, стронция – $1,0-8,5$, лития – $0,03-0,75$. Снизилось содержание O_2 (от 8–10 до $0,1-0,5 \text{ г/дм}^3$), в отдельных водопунктах появился H_2S (до $0,5-3$, иногда 112 мг/дм^3), в связи с чем значение Eh уменьшилось до – 340 мВ, а pH – до 6,2. Отмечается присутствие в подземных водах нефтепродуктов (от $0,1-0,25$ до $3,7-4,5 \text{ мг/дм}^3$, иногда и более).

Формирование таких вод обусловлено процессами смешения пластовых рассолов карбона – девона с маломинерализованными водами неогеново-четвертичных и верхнепермских отложений. Это свидетельствует о сильной уязвимости верхней гидрогеохимической зоны по отношению к загрязнению: в существующих условиях даже небольшого количества рассолов, попадаю-

щих в пресные воды, вполне достаточно для того, чтобы последние стали непригодны для хозяйственно-питьевых целей.

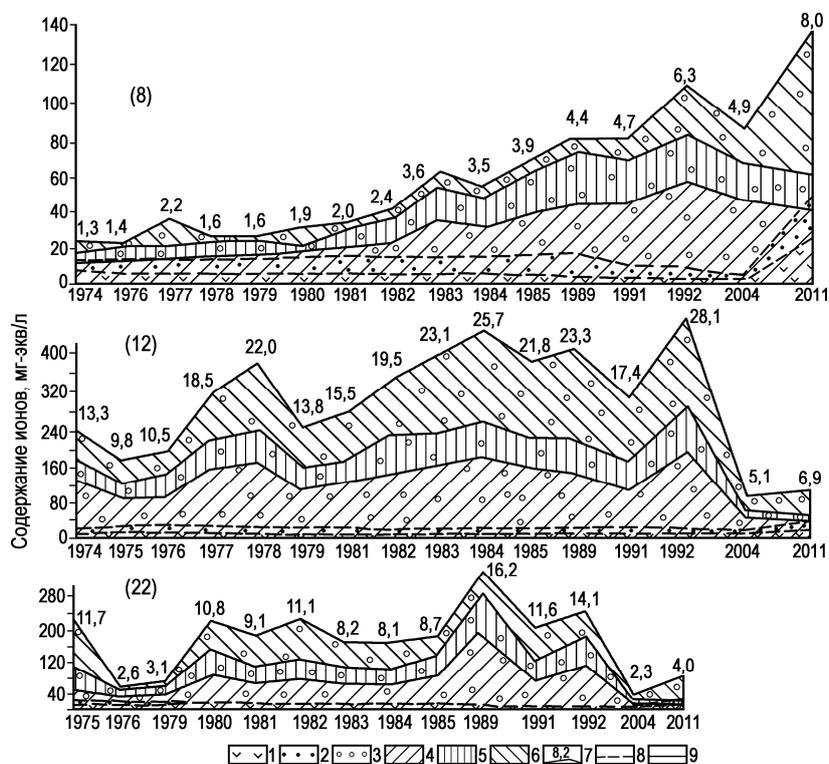


Рис. 2. Изменение химического состава и минерализации подземных вод верхнепермских отложений Туймазинского нефтяного месторождения:
 1–6 – ионы: 1 – гидрокарбонатный, 2 – сульфатный, 3 – хлоридный, 4 – кальциевый, 5 – магниевый, 6 – натриевый и калиевый; 7 – минерализация (г/дм³);
 8–9 – гидрогеохимические границы: 8 – анионного состава, 9 – катионного состава

Важно подчеркнуть длительный период нахождения их в водоносных горизонтах (по данным натурных наблюдений и расчетов – в течение многих десятков и даже сотен лет). Это связано с тем, что для полного вывода загрязненных вод из горизонта требуется несколько циклов полного водообмена. А продолжительность только одного цикла в зоне активной циркуляции изменяется от 10–20 лет для интенсивно трещиноватых и закарстованных сульфатно-карбонатных пород до 100–150 лет для глинистых терригенных пород [1].

В районах разработки нефтяных месторождений Урало-Поволжского бассейна процессы техногенеза приобрели региональные масштабы и ведущее значение в формировании подземной гидросферы. Они вызвали корен-

ные нарушения природных термодинамических и гидрогеохимических равновесий не только в глубокозалегающих комплексах, содержащих кроме собственно углеводородных залежей скопления минеральных и промышленных вод, но и в верхних горизонтах зоны гипергенеза, заключающих пресные подземные воды.

Литература

1. *Абдрахманов Р.Ф.* Гидрогеоэкология Башкортостана. – Уфа: Информреклама, 2005.
2. *Анисимов Б.В., Пухов А.Г.* Источники загрязнения пресных поверхностных и подземных вод на нефтепромыслах Татарии / Матер. научно-практ. конф. – Альметьевск, 1988. – С. 28-31.
3. *Афанасьева А.В., Горбунов А.Т., Шустеф И.Н.* Заводнение нефтяных месторождений при высоких давлениях нагнетания. – М.: Недра, 1975.
4. *Максимов М.И.* Мероприятия по улучшению системы разработки Туймазинского нефтяного месторождения // Разработка нефтяных месторождений Башкирии. – М.: Гостоптехиздат, 1959. – С. 16-36.
5. *Попов В.Г., Букин И.И., Абдрахманов Р.Ф. и др.* Техногенные изменения в подземной гидросфере районов нефтяных месторождений Урало – Поволжья // Аллохтонные структуры в земной коре и связь с ними полезных ископаемых / БФАН СССР. – Уфа, 1987. – С. 93-97.
6. *Хегай С.Д., Ракутин Ю.В.* Изучение движения нагнетаемых вод с помощью индикатора трития // Вопросы геологии, разработки нефтяных месторождений, гидродинамики и физики пласта. – Л.: Недра, 1968. – С. 222-231.

ТИПИЗАЦИЯ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ОПОЛЗНЕЙ С ТРАНСПОРТНЫМИ ПРИРОДНО-ТЕХНИЧЕСКИМИ СИСТЕМАМИ В КРАСНОДАРСКОМ КРАЕ

Е.В. Безуглова, С.И. Маций

ООО «НТЦ ГеоПроект», 350089, г. Краснодар, б-р Клары Лучко, 6, офис 509.
E-mail: matsiy@mail.ru, nebo7@list.ru

Функционирование транспортных сооружений в горных районах осуществляется при тесном взаимодействии с верхней частью литосферы. Так, дорожная выемка, сформированная техногенным воздействием, по сути, представляет собой природную составляющую геологической среды; насыпь сложена природным, но, в то же время, нарушенным грунтом. В совокупности же, откосы выемки и насыпи, земляное и дорожное полотно образуют цельный комплекс с присущими ему инженерно-геологическими процессами. В этой связи целесообразней рассматривать искусственные и природные объекты не отдельно, а как взаимозависящие и взаимовлияющие компоненты природно-технической системы (ПТС).

Особенностью транспортных ПТС – авто-, железнодорожных, трубопроводных, коммуникаций энергетики и связи (в частности, воздушных высоковольтных линий (ВЛ) электропередач) – является их протяженность. Анализ условий проложения трасс на Черноморском побережье Кавказа [1,3] показал, что почти на всем протяжении они подвержены влиянию различных экзогенных процессов, которые можно объединить в две группы – склоновые и флювиальные. Наибольшую опасность представляет развитие оползней.

По отношению к транспортным ПТС основным риском является экономический – в виде ущерба от разрушения участков дорог, деформаций опор ВЛ и т. п., а также затрат на мероприятия по предотвращению повторного смещения. Стоимость инженерной защиты отдельных участков может составлять от 0,5 млн. руб. – для верховых оползней-оплывин, 14–100 млн. руб. – для низовых неглубоких оползней (мощностью до 5 м), до 300 и более млн. руб. – на протяженных (200–600 м) участках, подверженных, помимо неглубоких смещений, влиянию сопутствующих процессов – просадке, эрозии и т. п. (табл. 1). На отдельных участках, в пределах которых не отмечено оползневых смещений, однако развиты процессы выветривания, эрозии поверхностными водами, достаточно выполнить вспомогательные мероприятия и/или предусмотреть мониторинг. На участках временно стабилизированных оползней, при отсутствии видимых повреждений и деформаций дорожного полотна, целесообразно вести мониторинг.

Анализ ситуаций, связанных с восстановлением полотна дорог, показал, что наибольший экономический риск присущ низовым (по сравнению с верховыми) откосам и склонам. Это обусловлено геоморфологическими и грунтовыми условиями трасс: работы по устройству противооползневых сооружений с низовой стороны требуют специальной техники (например, для наклонного бурения анкерных свай), строительства подъездных дорог, проходящих, как правило, в голове или средней части оползня. Кроме того, при развитии оползневого процесса на низовом склоне в смещение также вовлекается участок дороги. Как правило, внимание обращается, если деформации уже захватили обочину или 1/4 проезжей части. В некоторых случаях меры начинают принимать, когда деформации (как правило, просадки, трещины) достигают 2/3 проезжей части или захватывают ее по всей ширине (табл. 2). При этом одним из факторов, присущих только низовым склонам, может явиться боковая водная эрозия (река в подножье). Верховые же смещения обычно ограничиваются работами по очистке проезжей части от грунта при содержании дорог.

Результаты обследования оползневых участков и подпорных стен на трассах автомобильных дорог в Краснодарском крае показали, что при устройстве трассы в полувыемке-полунасыпи большинство смещений возникают на низовых откосах, т. е. в насыпных грунтах без захвата или с захватом пород естественного склона (табл. 3,4). На верховых откосах, как правило, развиваются процессы выветривания, эрозии и, связанные с этим, оплывины. В процентном отношении, подпорных стен в ограниченно работоспособном и аварийном состояниях также больше на низовых откосах, чем на верховых (табл. 4).

Таблица 1

Стоимость восстановительных мероприятий на примере оползнеопасных участков автодороги Майкоп – Туапсе, км 32+000 – км 130+000

Автодорога Майкоп – Туапсе, км 32 – км 130	Предварительная стоимость восстановительных работ, млн руб.					
	верховой откос			низовой откос		
	минимальная	средняя	максимальная	минимальная	средняя	максимальная
	0,5	3	8,5	3	52	314

Таблица 2

Деформации дорожного полотна на примере оползнеопасных участков автодороги Майкоп – Туапсе, км 32+000 – км 130+000

Автодорога Майкоп – Туапсе, км 32 – км 130	Деформации дорожного полотна, часть от проезжей части						
	обочина	1/5	1/4	1/3	1/2	2/3	по всей ширине
Количество участков, шт.	13	3	8	2	2	1	2

Таблица 3

Оползнеопасные участки на трассах автомобильных дорог

Автодорога	Оползнеопасные участки (мощность 0,5–7 м), шт., на откосе	
	верховом	низовом
Майкоп – Туапсе, км 32 – км 130	9	36
х. Николаенко – пгт. Нефтегорск, км 1 – км 5	1	7
г. Горячий Ключ – г. Хадыженск, км 10 – км 47	1	24
г. Горячий Ключ – с. Фанагорийское, км 2 – км 9	4	8
с. Георгиевское – а. Большое Псеушхо, км 7 – км 13	-	7

Таблица 4

Подпорные стены на трассах автомобильных дорог

Автодорога	Подпорные стены на откосе					
	верховом			низовом		
	все-го, шт.	Техническое состояние		все-го, шт.	Техническое состояние	
Работоспособное, шт.		Ограниченно работоспособное – аварийное, шт.	Работоспособное, шт.		Ограниченно работоспособное – аварийное, шт.	
Майкоп – Туапсе, км 32 – км 130	5	2	3	10	3	7
г. Горячий Ключ – г. Хадыженск, км 10 – км 47	-			4	1	3
М-4 Дон	18	13 (72%)	5 (28%)	41	18 (44%)	23 (56%)

Проблема оценки и управления оползневым риском предполагает принятие решений для предотвращения или уменьшения определенного типа опасности – оползни (из группы опасностей, обусловленных энергией рельефа [2]). Для разработки рекомендаций по инженерной защите нами выполнена типизация условий взаимодействия линейных объектов с оползневым массивом (табл. 5–7). Это позволит ориентировочно определить типы противооползневых сооружений по протяженности ПТС, объемы работ и затрат. Обоснованное и своевременное введение в состав ПТС подсистемы противооползневой защиты, несмотря на дополнительные затраты, позволит уменьшить ежегодный экономический риск. Однако, важнейшее условие поддержания устойчивой работы ПТС – выполнение мероприятий в составе содержания ее компонентов.

Таблица 5

Типизация взаимодействия оползня с объектами автодорожной ПТС

Объект воздействия оползня	Рекомендации
Верховой откос выемки	Противоэрозионная защита; каптаж
Подшова верхового откоса	Отвод поверхностных и подземных вод; устройство улавливающей стены
Низовой откос насыпи	Уплотнение, армирование насыпного грунта; запрет сброса продуктов выветривания, хозяйственно-бытовых вод с верхового откоса; устройство подпорной стены
Основание дороги (низовой склон)	Защита от размыва поверхностными водами; отвод хозяйственно-бытовых и подземных вод; запрет сброса продуктов выветривания с верхового откоса; устройство удерживающего сооружения
Подшова низового склона	Защита от боковой водной эрозии
Дорожное полотно	Организация водоотводных мероприятий
Порталы тоннелей	Устройство припортальных подпорных стен
Опоры эстакады	Устройство отдельно стоящих сооружений, рассчитанных на давление обтекания грунта

Таблица 6

Типизация взаимодействия оползня с объектами трубопроводной ПТС

Условие типизации	Варианты взаимодействия с оползнем	Рекомендации
Направление движения оползня	- Перпендикулярно трассе. - Вдоль трассы.	- Расчет трубопровода на давление обтекания, надземная прокладка трубы или подземная – на свайных опорах. - Расчет на продольное обтекание, устройство анкеров, якорей, свайных опор выше или ниже (в плане) по склону.
Расположение трассы на оползне	- В верхней части. - В средней части. - В языке.	- Устройство свайных опор при блоковых смещениях. - Устройство обтекаемых грунтом свайных опор. - Расчет на давление обтекания при пластическом движении водонасыщенного разуплотненного грунта.

Условие типизации	Варианты взаимодействия с оползнем	Рекомендации
Мощность оползня	- Менее глубины заложения трубы. - Более глубины заложения трубы.	- Противозерозионная защита для предотвращения развития оползня в глубину. - Подземное устройство трубы на сваях, микротоннелирование под оползнем.
Техногенные подвижки при устройстве полки	- Нижележащий участок склона. - оплывины, осыпи на верховом откосе	- Вывоз срезаемого сбрасываемого грунта, устройство удерживающих сооружений. - Устройство противозерозионной защиты и/или подпорной стены

Таблица 7

Типизация взаимодействия оползня с объектами коммуникационной (опоры ВЛ) ПТС

Расположение опоры ВЛ	Возможные проявления оползневого воздействия	Рекомендации
Вне границ оползня	- Почти одинаковые боковые нагрузки на фундаменты; - фундаменты перемещаются плоскопараллельно вместе с массивом	Мониторинг за натяжением проводов между опорами для своевременного выявления признаков подвижек грунта
На боковой границе оползневого массива	- Неравномерные нагрузки на фундаменты при перемещении грунта; - поворот опоры; - перекосы опоры; - обрыв проводов; - потеря устойчивости	Устройство отклоняющей стенки
В средней части или языке оползня	Смещение фундаментов опоры вместе с массивом	Устройство сооружения в виде двугранного угла, обтекаемого оползневым грунтом
Выше по склону вблизи бровки срыва	- Захват грунтов основания фундаментов при регрессивном развитии оползня; - потеря устойчивости и опрокидывание опоры	Установка опоры на свайный фундамент и возведение свайного противооползневого сооружения; если возможно – вынос опоры на новое место

Литература

1. Отчет об инженерно-геологических изысканиях на оползневых участках по трассе газопровода высокого давления Адлер – Красная Поляна участок ПК 309. – Сочи: ООО «Инжзащита», 2002.
2. Природные опасности России. Оценка и управление природными рисками. Тематический том / под ред. А. Л. Рагозина. – М.: КРУК, 2003.
3. Сводный технический отчет по инженерным изысканиям. Инженерная защита газопровода Россия – Турция и вдольтрассовой автодороги (Участок км 307.8 – км 370). Оползневые массивы на участке км 320 – км 370. – Краснодар: ДОО «Термнефтепроект», 2001.

ПОДХОДЫ К СУПЕРРЕГИОНАЛЬНОМУ И РЕГИОНАЛЬНОМУ ЭКОЛОГО – ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКОМУ РАЙОНИРОВАНИЮ

А.П. Белоусова

Институт водных проблем РАН, Москва, ул. Губкина 3, E-mail: anabel@aqua.laser.ru

Степень опасности загрязнения окружающей среды определяется интенсивностью суммарной техногенной нагрузки на отдельные её компоненты: литосферу, гидросферу, биосферу, атмосферу. На примере загрязнения подземной гидросферы рассмотрим методологию комплексной оценки антропогенного и природного воздействия на подземные воды, которая заключается в разномасштабном районировании и картировании техногенной нагрузки.

Предлагаемое районирование имеет свою специфику, оно направлено на создание основы для оценки опасности загрязнения подземных вод. В связи с этим определяющими факторами загрязнения (опасности) подземных вод являются источники их загрязнения, расположенные в различных компонентах окружающей среды: атмосфере, литосфере – почвах, поверхностной гидросфере (биосфера здесь не рассматривается). Поэтому таксонометрические единицы районирования (категории) выбираются в соответствии с характеристиками источников опасности (загрязнения) подземных вод с учетом существующих в практике инженерно-геологических исследований подходов к оценкам опасности и рисков изменения природной среды при воздействии на неё природных и техногенных процессов и явлений.

Первой задачей исследований является районирование техногенной нагрузки суперрегионального уровня в пределах всей страны по всем компонентам окружающей среды и регионального уровня для отдельных субъектов РФ от точечных и диффузных источников загрязнения.

Анализ экологической ситуации и районирование техногенной нагрузки на территории страны проводился по материалам Государственного доклада «О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации».

Суперрегиональное районирование техногенной нагрузки в пределах федеральных округов.

Самым крупным объектом (категорией, градацией) суперрегионального районирования является **провинция**, для Российской Федерации такими объектами являются федеральные округа.

Провинция (Федеральный округ РФ) (в скобках дан условный знак на карте и экспликации к ней): *Степень загрязнения окружающей среды* (2^a-1^c): первый знак обозначает – выбросы в атмосферный воздух; второй знак – сбросы сточных вод (рис., табл.):

Вторым по величине объектом районирования являются **подпровинции – субъекты РФ**.

Подпровинция (области – субъекты РФ) (рис., табл.):

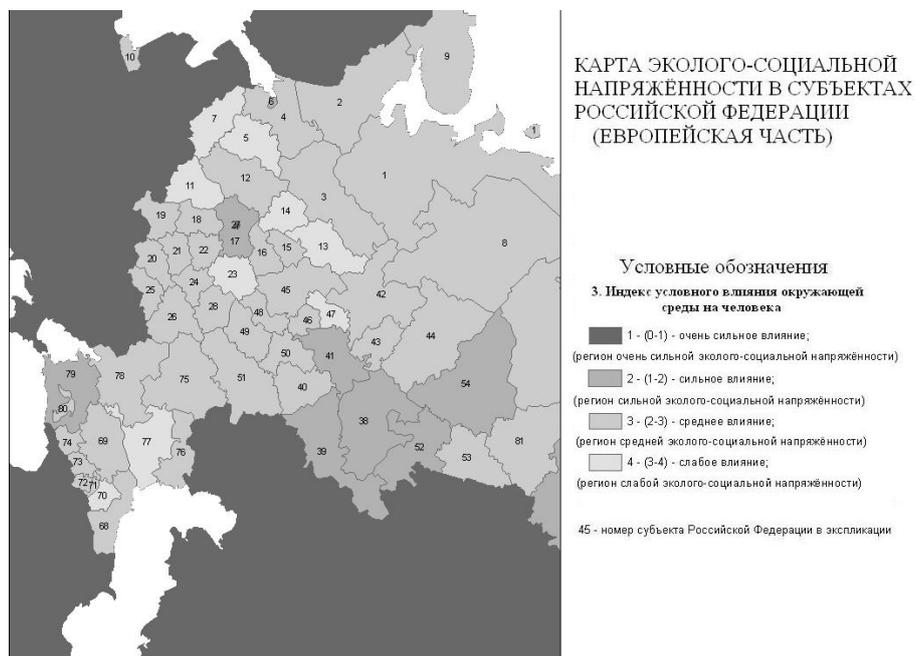


Рисунок. Карта эколого – социальной напряженности в субъектах РФ (Европейская часть)

Таблица

Экспликация к картам суперрегионального районирования экологического состояния окружающей среды в субъектах РФ (фрагмент)

Субъект Российской Федерации и (его номер на карте)	Градации суперрегионального районирования				
	Провинция	Подпровинция			
	Степень загрязнения ОС	Степень загрязнения ОС	Эколого-социальный индекс	Индекс загрязнения ОС	Индексы условного влияния загрязнения ОС на человека
Центральный федеральный округ (ЦФО) (2^а-1^с)					
Белгородская область (20)	2 ^а -1 ^с	IV ^а -V ^с	III ^н -III ^г -3,0	3,6- 5,0 – 4,3	4– 2 – 3,0 – 3
Брянская область (19)	2 ^а -1 ^с	IV ^а -V ^с	IV ^н -III ^г -3,5	4,0- 4,2 – 4,1	4– 2 – 3,0 – 3
Калужская область (18)	2 ^а -1 ^с	IV ^а -V ^с	IV ^н -III ^г -3,5	4,0 – 4,2 -4,1	4– 2 – 3,0 – 3
Курская область (20)	2 ^а -1 ^с	IV ^а -V ^с	IV ^н -III ^г -3,0	4,0– 4,8 – 4,4	4– 2 – 3,0 – 3
Московская область (17)	2 ^а -1 ^с	III ^а -III ^с	III ^н -IV ^г -3,0	2,2– 3,0 – 2,6	2– 2 – 2,0 – 2
Орловская область (21)	2 ^а -1 ^с	IV ^а -V ^с	IV ^н -III ^г -3,0	4,0– 4,4 – 4,2	4– 2 -3,0 – 3
Смоленская область (11)	2 ^а -1 ^с	IV ^а -V ^с	IV ^н -IV ^г -4,0	4,0– 4,2 – 4,1	4– 3 – 3,5 – 4
Тульская область (22)	2 ^а -1 ^с	IV ^а -IV ^с	III ^н -III ^г -3,0	3,6– 3,8 – 3,7	3– 2 – 2,5 – 3
Город Москва (27)	2 ^а -1 ^с	III ^а -I ^с	I ^н -I ^г -1,0	2,0– 1,0 – 1,5	1– 1 – 1,0 – 1

Степень загрязнения окружающей среды (IV^a-V^c): первый знак – выбросы в атмосферный воздух; второй знак – сбросы сточных вод (сведений о твердых отходах не было).

В дополнение к вышеприведенным характеристикам проведен анализ влияния окружающей среды на население (социальные аспекты охраны окружающей среды), проживающего в пределах выделенных областей, путем введения следующих градаций районирования: **Эколого-социальный индекс (III^н-III^г -3,0):** первый знак – плотность населения; второй знак – % населения городов с высоким загрязнением атмосферного воздуха; третий знак – среднее арифметическое значение индекса $[(III^н + III^г)/2 = 2,5]$

Далее **рассмотрена характеристика техногенной нагрузки с использованием специальных индексов**, учитывающих выбросы от автотранспорта и стационарных источников в атмосферу, суммарные выбросы в атмосферу и сброса сточных вод.

Индекс загрязнения ОС (3,6 – 5,0 – 4,3): первый знак – индекс техногенной нагрузки на атмосферу (3,6); второй знак – индекс сброса сточных вод (5,0); третий знак – среднее арифметическое значение индекса $[(3,6 + 5,0)/2 = 4,3]$.

Индексы условного влияния загрязнения ОС на человека (4 – 2 – 3,0 – 3): первый знак – суммарный индекс загрязнения (техногенной нагрузки) ОС (атмосфера + сточные воды); второй знак – суммарный эколого-социальный индекс (плотность населения + % населения городов с высоким загрязнением атмосферного воздуха); третий знак – среднее арифметическое значение индексов $[(4 + 2)/2 = 3,0]$; четвертый знак – индекс условного влияния загрязнения ОС на человека. Выделены следующие градации: **1** – очень сильное влияние (регион очень сильной эколого-социальной напряженности); **2** – сильное влияние (регион сильной эколого-социальной напряженности); **3** – среднее влияние (регион средней эколого-социальной напряженности); **4** – слабое влияние (регион слабой эколого-социальной напряженности – практически благополучный).

К регионам очень сильной эколого-социальной напряженности в стране относится только г. Москва.

К регионам сильной эколого-социальной напряженности относятся: г. Санкт-Петербург; Краснодарский и Красноярский края; Республики Башкортостан и Татарстан; области Московская, Оренбургская, Свердловская, Челябинская, Иркутская, Кемеровская, Новосибирская и Омская.

К регионам слабой эколого-социальной напряженности – практически благополучным относятся Республики Калмыкия, Чеченская, Марий – Эл, Алтай Саха – Якутия; области Костромская, Ярославская, Новгородская, Псковская, Амурская, Сахалинская и Магаданская; и Ненецкий А.О.

Остальные субъекты относятся к регионам средней эколого-социальной напряженности.

Наиболее благоприятным регионом страны в эколого – социальном плане является Дальневосточный федеральный округ.

Второй задачей исследований является **региональное районирование**, характеризующееся более детальным рассмотрением техногенной нагрузки

для **субъектов РФ** – подпровинций, которые на данном уровне районирования перейдут в категорию – **области** и будут отличаться новым набором показателей и оценок техногенной нагрузки.

Рассмотрим на примере Брянской области детализацию районирования техногенной нагрузки. Для районирования используются материалы о состоянии окружающей среды и мониторинга на территории Брянской области.

Техногенная нагрузка рассматривалась в зависимости от типов источников загрязнения. Последующее выделение градаций районирования от точечных и диффузных источников в пределах выделенных областей включают последовательно выделение **областей, районов и участков**.

Для **точечной техногенной нагрузки** нами ранее разработана методика оценки и проведено районирование и ее картирование на территории Брянской области [1,2].

В результате построена карта районирования техногенной нагрузки на территории Брянской области. Схематическая карта районирования техногенной нагрузки является синтетической, для ее построения отдельно для каждого компонента окружающей среды были построены промежуточные карты техногенной нагрузки с использованием ГИС-технологий. В результате для каждого населенного пункта – **участка** был рассчитан рейтинг опасности отраслей хозяйства, приуроченных к этому пункту, определена суммарная техногенная нагрузка для загрязненной территории. По характеру техногенной нагрузки и загрязнения грунтовых вод на территории Брянской области были выделены **три района**: Северный, Западный и Юго-восточный, для каждого выделенного района рассчитана суммарная техногенная нагрузка. **Районы** выделялись по видам производственной деятельности и определенному набору приоритетных загрязняющих веществ для каждого района.

Суммарная техногенная нагрузка на окружающую среду в пределах выделенных **областей** может быть в первом приближении определена по следующим градациям:

- более 500 – чрезвычайно высокая (А);
- 400 ÷ 500 очень высокая (Б);
- 300 ÷ 400 – высокая (В);
- 200 ÷ 300 – средняя (Г);
- 100 ÷ 200 – слабая (Д);
- 0 ÷ 100 – очень слабая (Е).

Для отдельных населенных пунктов – **районов** Брянской области предлагается следующая градация степени техногенной нагрузки:

- > 40 – очень высокая (а^Т);
- 30 ÷ 40 – высокая (б^Т);
- 20 ÷ 30 – средняя (в^Т);
- 10 ÷ 20 – слабая (г^Т);
- 0 ÷ 10 – очень слабая (д^Т).

Тогда для города Брянска (**участок**), расположенного на территории Северного **района** Брянской **области**, которая расположена в ЦФО (**провинция**), в окончательном варианте районирования для точечной техногенной

нагрузки следует записать следующий код районирования техногенной нагрузки: $\{(2^a - 1^c) - (IV^a - V_s) - (IV^h - III^r - 3,5) - (4,0 - 4,2 - 4,1) - (4 - 2 - 3,0 - 3)\}^3 [(3-1-4-4,2-4,1) - (B-a^r)]\}$, где первая квадратная скобка характеризует объемные значения техногенной нагрузки на различные компоненты окружающей среды и на население по данным суперрегионального районирования, показатель степени в этой скобке отвечает степени эколого-социальной напряженности на территории подпровинции; а вторая квадратная скобка характеризует в первой круглой скобке техногенную нагрузку в индексах опасности и условного загрязнения окружающей среды на территории Брянской области, с учетом большего набора показателей (загрязнение литосферы – почв, грунтовых и напорных вод), вторая круглая скобка – характеристика точечной техногенной нагрузки непосредственно на территории г. Брянска. При наличии данных о социальных характеристиках на территории области и районов и участках, можно добавить и соответствующие эколого-социальные характеристики.

Таким образом, в первой квадратной скобке определено место Брянской области в общероссийской экологической ситуации, а оно в общем не такое напряженное (отвечает третьей степени напряженности) по сравнению с другими регионами страны (Свердловская, Челябинская и другие области).

Некоторое благополучие экологической ситуации в Брянской области на фоне общероссийского не должно успокаивать принимающих решение и население области и городов, а улучшать эту ситуацию, для этого разработана методика оценки и районирования техногенной нагрузки от точечных источников загрязнения окружающей среды и подземных вод с использованием конкретных материалов мониторинга на этой территории, во второй круглой скобке (вторая квадратная скобка) записаны характеристики техногенной нагрузки, которая характеризуется достаточно высокими оценками на уровне локальных масштабов: **районов и участков**.

Диффузная техногенная нагрузка

Брянская область одна из наиболее пострадавших территорий России от аварии на Чернобыльской атомной станции. Степень опасности загрязнения подземных вод радионуклидами определяется по плотности радиоактивных выпадений ^{137}Cs сразу после аварии на ЧАЭС по данным исследований МАГАТЭ [3], за ПДК принимается плотность выпадений, равная $1\text{Ки}/\text{км}^2$. Предлагаются следующие категории техногенной нагрузки по ^{137}Cs в зависимости от плотности его выпадения на поверхность почвы (**участки**):

- > 40 – чрезвычайная (а^л);
- 15 ÷ 40 – очень высокая (б^л);
- 5 ÷ 15 – высокая (в^л);
- 1 ÷ 5 – средняя (г^л);
- <1 – слабая (условная) опасность (д^л).

Тогда для города Брянска (**участок**), расположенного в Северном **районе** Брянской **области**, которая расположена в ЦФО (**провинция**), в окончательном варианте районирования для точечной и диффузной техногенной нагрузки следует записать следующий код районирования техногенной на-

грузки: $\{[(2^a - 1^c) - (IV^a - V_3) - (IV^H - III^Г - 3,5) - (4,0 - 4,2 - 4,1) - (4 - 2 - 3,0 - 3)]^3 [(3-1-4-4,2-4,1) - (B - a^T - d^D)]\}$, где в последней круглой скобке добавлена характеристика диффузной техногенной нагрузки на территории Брянской области, третья скобка – характеристика точечной и диффузной техногенной нагрузки непосредственно на территории города Брянска.

Для города Новозыбков, расположенного в Западном районе Брянской области можно записать следующий код районирования техногенной нагрузки: $\{[(2^a - 1^c) - (IV^a - V_3) - (IV^H - III^Г - 3,5) - (4,0 - 4,2 - 4,1) - (4 - 2 - 3,0 - 3)]^3 [(3-1-4-4,2-4,1) - (Г-в^T-б^D)]\}$, что соответствует снижению техногенной нагрузки от точечных источников загрязнения и увеличения нагрузки от диффузных источников по сравнению с городом Брянском.

Литература

1. Белоусова А.П., Проскурина И.В. Подходы к оценке техногенной нагрузке как фактора опасности загрязнения подземных вод // Вода, химия и экология. – 2010. – № 12. – С. 2-11.
2. Белоусова А.П. Оценка опасности загрязнения окружающей среды и подземных вод // Материалы Международной научно-практической конференции «Геориск – 2012»: Проблемы снижения природных опасностей и рисков. Том 2. – М.: РУДН, 2012. – С. 220-225.
3. Карта распределения поверхностного загрязнения почвы цезием-137 в результате аварии на Чернобыльской АЭС на территории Белорусской ССР, РСФСР и Украинской ССР (декабрь 1989). Масштаб 1:1000000. – Вена: Международное агентство по атомной энергии, 1991.

РАЗВИТИЕ УЧЕНИЯ О ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ СРЕДЕ: ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ГЕОФИЗИКА

В.А. Богословский*, А.Д. Жигалин, В.К. Хмелевской***

* МГУ имени М.В. Ломоносова, **Институт геоэкологии им. Е.М. Сергеева РАН
101000, Москва, Уланский пер. д. 13, стр. 2, E-mail: zhigalin.alek@yandex.ru

Понятие «геологическая среда» как то, что нас окружает (окружающие геологические условия) впервые появилось в конце 70-х годов прошлого столетия в работе В.Д. Ломтадзе «Инженерная геология. Инженерная геодинамика» (1977 г.). Созвучное определение дал геологической среде и Ф.В. Котлов (1978 г.), рассматривая ее как земную кору, доступную для деятельности человека, и включив в нее рельеф, породы, подземные воды и современные геодинамические процессы и явления. Е.М. Сергеев предложил называть геологической средой «верхнюю часть литосферы, которая находится под воздействием человека, и сама влияет на характер его инженерной и хозяйственной деятельности» (1982 г.). Раскрывая предлагаемое определение, Е.М. Сергеев указал на то, что «геологическая среда тесно связана с литосферой, ат-

мосферой, гидросферой и биосферой, а мощность ее определяется воздействием человека». В такой редакции, несмотря на указанные связи с иными сферами Земли, геологическая среда оставалась геологическим (точнее инженерно-геологическим) понятием. В нем недоставало весьма существенного компонента, а именно, геофизических полей, без которых существование нашей планеты представить невозможно. Этот пробел был, однако, восполнен уже к концу того же десятилетия (1987, 1988 гг.).

Введение в обиход понятия «геологической среды» повлекло за собой выделение в ее рамках таких категорий, как природные, природно-технические и технические системы, которые различались по целому ряду признаков. Параллельно шло развитие и инженерной геофизики, которая постепенно трансформировалась в «геофизику геологической среды», скромно названную малоглубинной геофизикой. Назревал еще один шаг, по-своему революционный, – включение в геологическую среду биосферы как паритетного компонента (вместо «тесной связи», см. выше) геологической среды. Однако понадобился довольно длительный период времени для того, чтобы это стало реальностью. Сейчас предлагается считать, что «Геологическая среда – не просто «часть литосферы...», а важнейший компонент биосферы Земли и экосистем разного уровня, включая глобальный, обеспечивающий их существование и функционирование (Трофимов, Королев, 2013). Возможно, это предложение вызовет оживленную дискуссию, но авторы, считающие себя «родителями» нового направления в геофизике – экологической геофизики, принимают его, по той причине, что в этом случае экологическая геофизика может рассматриваться как своего рода геофизический путь в развитии идей, заложенных в учении о геологической среде.

Экологическая геофизика (1995, 1998, 2000 гг.) представляет собой научно-прикладной раздел геофизики, предназначенный для решения разнообразных экологических задач. Часть таких задач напрямую связана с геологической средой – выявление химического загрязнения, изучение направления и скорости движения подземных водотоков, потенциально экологически опасных экзогенных геологических процессов и др. В этом случае экологическая геофизика рассматривается как «инструмент» для получения объективной информации. Существует и другая группа задач, которая относится к «компетенции» экологической геофизики – изучение влияния природных и техногенных физических полей на живые организмы (биосферу). Интересно отметить, что при выделении задач, связанных с изучением влияния физических полей на живые организмы, в самостоятельную группу, привело к образованию еще одной ветви геофизического знания – геофизической экологии, которая с согласия геофизического сообщества была причислена к «фундаментальной» геофизике.

Известно, что техногенные (обусловленные используемыми технологиями) физические поля, по характеристикам превышающие уровни естественных своих аналогов, играют доминирующую роль в формировании экологических условий в пределах освоенных территорий (в первую очередь, имеется в виду промышленное и градостроительное освоение). Учитывая миро-

вой уровень развития энергетического и промышленного производства, общее количество производимой, транспортируемой и потребляемой энергии, уместно говорить о формировании еще одной сферы, окружающей нашу планету – энергосферы.

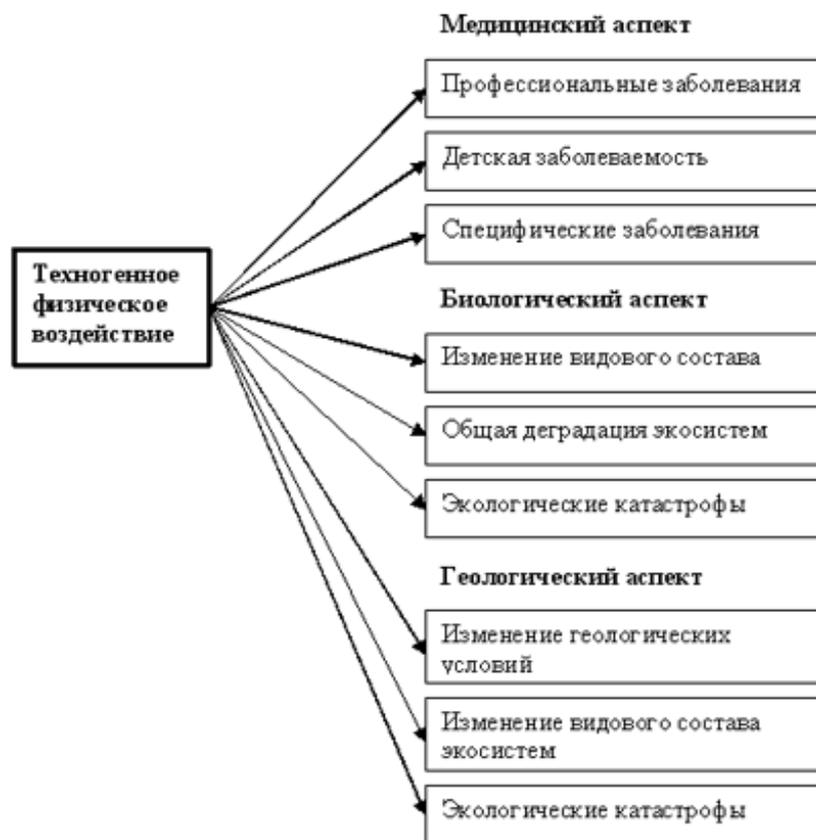


Рис. 1. Экологический отклик на техногенное физическое воздействие: медицинский, биологический и геологический аспекты

Достигая определенного уровня (и превышая при этом гомеостатические пределы для экосистем разных уровней, включая человека), эти поля формируют техногенное физическое загрязнение. Энергетический потенциал такого рода загрязнения оказывается тем выше, чем больше концентрация промышленных предприятий, производящих и потребляющих энергию. Ныне существующие живые организмы в процессе многомиллионнолетней коэволюции со средой обитания оказались достаточно адаптированными к естественным (чаще периодическим) изменениям физических полей. Однако техногенные физические поля, выходя за рамки гомеостатических пределов, оказывают существенное физическое воздействие на живые организмы, не всегда отвечающее их адаптационным возможностям. Это справедливо как для

отдельных представителей растительного и животного мира, так и для биосферы в целом. Изменение экосистем под влиянием физического воздействия можно оценить по их отклику в медицинском, биологическом и геологическом аспектах (рис. 1).

Из рисунка следует, что техногенное физическое воздействие может при достаточно высоком уровне оказаться патогенным (применительно к здоровью населения) фактором и/или фактором, приводящим к деградации экосистем и экологическим катастрофам (биологический и геологический аспекты).

Влияние природных геофизических полей, на температурное поле и поле атмосферного давления (метеопараметры, характеризующие экологическую обстановку, а также влияние космических факторов (в первую очередь, вариации солнечной и геомагнитной активности) относится к разряду гомотропных воздействующих факторов, которые, как упоминалось выше, сопровождают живые организмы на протяжении всей истории их появления и дальнейшей эволюции вплоть до текущего периода. Однако адаптационные механизмы, позволяющие им приспособиться к изменяющимся природным условиям, если эти изменения протекают медленно, неодинаковы у различных представителей экосистем, и человек в этом плане не представляет собой исключение. В таблице представлены некоторые результаты изучения корреляционных связей между самочувствием и погодными условиями, а также магнитной активностью для людей возрастной группы 21-22 лет за период времени с декабря 2012 по апрель 2013 гг.

В таблице показаны четыре представительных варианта полученных результатов – случай практически полного отсутствия корреляции между самочувствием участника эксперимента, погодными условиями и магнитной активностью (эксперимент 7) и случаи наличия корреляционной зависимости разного уровня (эксперименты 2, 9 и 14). Особый интерес представляют результаты эксперимента 14, показывающие существенную зависимость участника эксперимента от магнитной активности (коэффициент корреляции на протяжении всего периода проведения эксперимента $K_{КОР} = 0,73-0,89$). Следует отметить, что низкий уровень корреляции или ее отсутствие показывают хорошую работу компенсаторных механизмов организма, тогда как обнаруживаемые большие величины коэффициента корреляции свидетельствуют о недостаточности компенсаторной способности организма, например, при $K_{КОР}$ больше 0,6 (случаи температурной и магнитной зависимости, эксперименты 9 и 14).

Результаты проведенной серии экспериментов показали, что мощное магнитное излучение Солнца, возмущающее магнитосферу Земли и создающее высокоамплитудные вариации магнитной активности, может оказывать влияние на самочувствие людей либо непосредственно через возмущение геомагнитного поля, либо опосредованным образом через метеоусловия. Этот аспект гелио-геофизических связей проработан еще недостаточно и сегодня является объектом исследований геофизической экологии.

Таблица

**Величины коэффициента корреляции между самочувствием,
погодными условиями и магнитной активностью**

Номер эксперимента	Период измерения, месяц, год		Температура воздуха,	Атмосферное давление,	Магнитная активность,
			$K_{КОР}$	$K_{КОР}$	$K_{КОР}$
2	дек	2012	0,44 **	0,48 **	-0,06
	январь	2013	-0,09	0,00	0,06
	фев	2013	0,12	0,50 **	0,25
	мар	2013	0,12	0,25	-0,32 *
	апр	2013	0,68 ***	0,32 *	-0,12
7	дек	2012	0,13	-0,08	-0,16
	январь	2013	0,13	0,13	-0,04
	фев	2013	0,08	-0,20	-0,30 *
	мар	2013	0,16	0,14	0,08
	апр	2013	0,04	0,29	0,16
9	дек	2012	-0,33 **	0,21	0,41 **
	январь	2013	0,02	0,07	0,61 ***
	фев	2013	0,29	0,44 **	0,40 *
	мар	2013	0,26	0,31 *	0,63 ***
	апр	2013	0,16	0,17	0,46 **
14	дек	2012	0,26	0,29	0,73 ***
	январь	2013	-0,04	0,25	0,89 ***
	фев	2013	0,48 **	0,18	0,84 ***
	мар	2013	0,50 **	0,13	0,86 ***
	апр	2013	0,03	-0,26	0,75 ***

Примечание: величина $K_{КОР}$ до 0,3 указывает на отсутствие корреляции, от 0,3 до 0,4 – на неустойчивую корреляцию, от 0,4 до 0,6 на заметную корреляцию, выше 0,6 – на устойчивую корреляцию

Таким образом, учение о геологической среде, преобразованной в своей значительной части в природно-техническую среду обитания для людей и других представителей биосферы, послужило мощным импульсом для развития многих научных направлений, напрямую или косвенным образом связанных с изучением планеты Земля и ее оболочек (сфер), и, в том числе экологической геофизики и геофизической экологии.

ОСОБЕННОСТИ ТРАНСФОРМАЦИИ ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ СРЕДЫ ЮЖНОЙ КРИОЛИТОЗОНЫ (НА ПРИМЕРЕ г. ЧИТА)

Л.А. Васютич

Забайкальский государственный университет, 672039 г. Чита, ул. Александрo-Заводская, д. 30.
E-mail: lyudmila-vasyuti@mail.ru

Инженерно-геологическое изучение природных и антропогенных факторов в связи с процессами урбанизации получило своё развитие в середине XX века. Теоретические основы взаимодействия геологической среды с инженерными сооружениями разработаны И.В. Поповым, Ф.В. Саваренским, Н.В. Каменским, Е.М. Сергеевым, В.Т. Трофимовым, Г.К. Бондариком, В.И. Осиповым, Г.С. Золотарёвым, Г.А. Голодковской и др. Верхняя часть земной коры, которая непосредственно выступает как минеральная основа биосферы, как один из важнейших компонентов окружающей среды, с конца 70-х годов прошлого века выделяется под названием геологическая среда. Согласно Е.М. Сергееву (1979) под геологической средой понимается верхняя часть литосферы, которая рассматривается как многокомпонентная динамичная система, находящаяся под воздействием инженерно-хозяйственной деятельности человека и, в свою очередь, в известной степени определяющая эту деятельность. Город – это территория, где воздействие человека на поверхностную часть литосферы наиболее интенсивно и разнообразно; это воздействие может достигать глубины 100 и более метров. По Е.М. Сергееву (1982) инженерная геология – это наука о геологической среде, её рациональном использовании и охране в связи с инженерно-хозяйственной деятельностью человека [4].

Строительство Транссибирской магистрали в России в пределах южной криолитозоны обусловило интенсивное развитие здесь процессов урбанизации. В течение нескольких десятков лет территория г. Чита увеличилась в два-три раза, а рост промышленного потенциала привёл к увеличению населения до 360 тыс. жителей. Техническое воздействие на геологическую среду существенно трансформировало состав, строение, её свойства. Это привело к снижению устойчивости технических сооружений и ухудшило экологическую обстановку в границах урбанизированной территории.

Территория г. Чита расположена в зоне развития высокотемпературных многолетнемерзлых пород. Криолитозона находится в состоянии неустойчивого термодинамического равновесия, и техногенные факторы приводят к коренному изменению температурного режима горных пород [7]. Начиная с 2013 г. на кафедре гидрогеологии и инженерной геологии ЗабГУ выполняются исследования в рамках госбюджетной темы «Оценка влияния антропогенных воздействий на геологическую среду урбанизированных территорий южной криолитозоны в условиях глобального изменения климата (на примере г. Чита)», регистрационный номер № 01201351117. Целью этих исследова-

ний является изучение изменений состава, строение и свойств геологической среды южной периферии криолитозоны, установление закономерностей изменений геологической среды в пространстве и во времени в зависимости от антропогенных воздействий.

Геологическая среда г. Чита за столетие истории развития трансформировалась в результате изменения климата, условий воздействия процессов урбанизации. Интенсивность этих изменений зависела от величины и направления теплового загрязнения на криолитозону. Тепловое загрязнение – сток тепла непосредственно в геокриологическую среду от зданий и сооружений (интенсивное воздействие) и влияние технической среды на изменение верхних граничных условий существования криолитозоны (экстенсивное воздействие) [6]. Суммарное воздействие изменения температур воздуха, структуры и количества осадков, антропогенного воздействия на окружающую среду, в том числе и на многолетнемерзлые грунты отмечалось уже на первых этапах урбанизации территории г. Чита и его окрестностей.

Продолжительность первого этапа урбанизации составило 40 лет (1890-1930 гг.). Начало его связано со строительством Транссибирской магистрали, а завершение с формированием и функционированием первых природно-технических систем (ПТС). В этот период здесь уже функционировали ПТС «Читинские главные железнодорожные мастерские», построены и эксплуатировались ПТС «Горно-технические сооружения» добычи угля (Черновские копи). Количество жителей в г. Чита выросло до 64 тыс. в 1926 г. Уже в этот период отмечалось в пределах ПТС существенное суммарное воздействие на геокриологическую среду, увеличение среднегодовых температур воздуха, количества и структуры атмосферных осадков и теплового загрязнения. Интенсивное тепловое загрязнение геокриологической среды вызвало недопустимые деформации ПТС, затрудняющие их эксплуатацию. Экстенсивное – привело к увеличению глубины сезонного оттаивания. На другие параметры криолитозоны вероятно это не оказало существенное влияние. В связи с этим источники загрязнения были локальны и приурочены только к сфере взаимодействия технической и геокриологической среды.

Второй этап (1930-1960 гг.) характеризуется началом массовой, малоэтажной застройки г. Чита преимущественно деревянными и каменными зданиями, строительством водопровода и расширением систем подземных коммуникаций. Количество жителей в это время увеличилось до 170 тыс. чел. Характерной чертой этого этапа является незначительные изменения значений основных климатических параметров на рассматриваемой территории [8]. В этот период инфраструктура г. Чита существенно преобразовалась. На её территории четко обозначались селитебная зона, промышленная, рекреационная, сельскохозяйственная, в основном сформировался транспортный внутригородской каркас, состоящей из автомобильных дорог грунтового типа. Количество индивидуальных котельных, использующих бурый уголь, в этот период выросло до нескольких тысяч. Это привело к резкой дифференциации формирования и трансформации криогенной среды. В пределах селитебной и промышленных зон, где отмечалось резкое увеличение тепло-

вого загрязнения, наблюдались массовые деформации зданий и сооружений [10].

Третий этап урбанизации (1960-1995 гг.) характеризуется стремительным ростом промышленной зоны, интенсивно влияющей на трансформацию геокриологической среды и экологических условий. На территории города были созданы и функционировали ПТС машиностроительной, транспортной, строительной, теплоэнергетической, пищевой и легкой промышленности. Это стимулировало интенсивный рост населения и расширение селитебных территорий. В этот период были построены микрорайоны (МКР) Сосновый бор, Северный, КСК, ГРЭС, а включение в состав территории г. Чита поселков городского типа (ПГТ) Песчанка, Антипи́ха, Каштак, Ивановка, Угдан, дало начало урбанизации территории агломерационного типа. Численность населения г. Чита на этом этапе увеличилось до 362,5 тыс. За период интенсивной урбанизации и изменения климата криолитозона в черте г. Чита существенно изменила границы своего распространения и строения по разрезу [9].

Начало четвертого этапа урбанизации (с 1995 г.) характеризуется увеличением техногенного воздействия на подземные воды криогенно-таликового комплекса нижнемеловых отложений, который используется для хозяйственно-питьевого водоснабжения. В результате водоотбора, с конца восьмидесятых годов прошлого столетия, сформировалась общая депрессионная воронка, площадь которой варьирует от 72 до 93 км² с глубиной залегания динамического уровня до 60-80 м. Отбор подземных вод на данном этапе сыграл главную роль в деградации многолетнемерзлых пород в Центральном районе г. Чита. Загрязнение подземных вод не является локальным процессом, оно тесно связано с загрязнением окружающей среды в целом. Негативное влияние на качество подземных вод оказывает гидрозолоотвал ТЭЦ-1, из которого в результате деградации криолитозоны происходит фильтрация техногенных вод. Ореол загрязнения подземных вод распространяется в юго-восточном направлении на площади не менее 10-12 км². Загрязняющие вещества, обнаруженные в подземных водах Читинского месторождения, в концентрациях, превышающих нормативы это: железо, марганец, аммоний, фтор, нитраты, сульфаты, нефтепродукты [2]. Подземные воды, благодаря своей динамичности, являются активным проводником техногенных воздействий на значительные расстояния. В настоящее время техногенная нагрузка на окружающую среду в пределах г. Чита обусловлена комплексом факторов: воздействием на геологическую среду инженерных сооружений, гидрозолоотвалов ТЭЦ-1 и ТЭЦ-2, полигона твердых бытовых отходов, заброшенных горных выработок (шахт и карьеров отработанного Черновского бурого угольного месторождения), многочисленных водозаборных скважин; воздействие на воздушный бассейн города выбросов объектов энергетического комплекса, промышленных предприятий, автотранспорта [3].

В заключение следует отметить, что за период интенсивной урбанизации с 60-х годов прошлого столетия и по настоящее время, криолитозона в пределах г. Чита сократилась с 70% до 15-20%. На участках, ранее ее сплошного развития, теперь распространены многолетнемерзлые породы не сли-

вающегося типа. В результате произошло формирование новых путей транзита теплового, химического и механического загрязнения гидросферы, что продолжает интенсифицировать изменение геологической среды и экологических условий территории города и его периферийных участков [1]. В связи с этим необходимо разработать мероприятия по обеспечению безопасной и комфортной жизнедеятельности населения урбанизированных территорий юга криолитозоны в условиях изменения климата и трансформации криогенной геологической среды.

Литература

1. *Васютнич Л.А.* Геоэкологические проблемы урбанизированных территорий южной криолитозоны (на примере г. Чита) // Актуальные эколого-географические и социально-экономические проблемы Байкальского региона и сопредельных территорий: материалы всероссийского науч.-практ. конф. (Улан-Удэ, 28-29 марта 2013 г.) – Улан-Удэ: БГУ, 2013. – С. 47-50.
2. *Васютнич Л.А.* Особенности современного техногенного воздействия на качество подземных вод читинской агломерации // Вестник Заб. гос. ун-та. – Чита, 2013. – № 1. – С. 19-26.
3. *Васютнич Л.А.* Оценка состояния окружающей среды городских агломераций южной криолитозоны (на примере г. Чита) // Экологические проблемы недропользования. Наука и образование: материалы пятой междунар. науч. конф. – 19-24 ноября 2012 г. – СПб: Санкт-Петербург. ун-т, 2012. – С. 56-59.
4. *Сергеев Е.М.* Инженерная геология. – М.: изд-во МГУ, 1982. – 248 с.
5. *Шестернев Д.М.* Инженерная геокриология / Д.М. Шестернев. – Чита: ЧитГУ, 2010. – 170 с.
6. *Шестернев Д.М.* Физика, химия и механика мерзлых грунтов / Д.М. Шестернев – Чита: изд-во Поиск, 2012. – 331 с.
7. *Шестернев Д.М.* Исследование влияния антропогенных воздействий на изменение геологических условий урбанизированных территорий южной криолитозоны (на примере г. Чита) / Д.М. Шестернев, Л.А. Васютнич // Вестн. Чит. гос. ун-та. – Чита, 2011. – № 6. – С. 117-121.
8. *Шестернев Д.М.* Исследование изменение климата и окружающая среда урбанизированной территории г. Чита / Д.М. Шестернев, Л.А. Васютнич // Кулагинские чтения: XII Междунар. науч.-практ. конф. – Чита: ЗабГУ, 2012. – Ч. 4. – С. 30-32.
9. *Шестернев Д.М.* Тепловое загрязнение геологической среды криолитозоны урбанизированных территорий Забайкалья (на примере г. Чита) / Д.М. Шестернев, Л.А. Васютнич // Вестн. Читинского гос. ун-та. – Чита, 2012. – № 1. – С. 43-51.
10. *Шестернев Д.М.* Пучение пород в условиях деградации криолитозоны / Д.М. Шестернев, Д.Д. Шестернев. – Якутск: Ин-т мерзлотоведения СО РАН, 2012. – 194 с.

ФОРМИРОВАНИЕ ГОРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ СРЕДЫ В ЗАБАЙКАЛЬЕ И ЕЁ ВЛИЯНИЕ НА ЭКОЛОГИЮ ТЕРРИТОРИИ

А.Г. Верхотуров

Забайкальский государственный университет,
672039 Чита, ул. Александрово-Заводская д. 30. E-mail: weral0606@yandex.ru

В Забайкальском крае добыча полезных ископаемых ведется более 300 лет. Многие рудные, россыпные и угольные месторождения уже отработаны, в частности, Балейское месторождение рудного золота, Черновское угольное, полиметаллические месторождения юго-восточной части территории: Акатуевское, Благодатское и многие другие. Общий объем техногенных скоплений в Забайкальском крае составляет 2,85 млрд.т. В их состав входят: вскрышные породы (2,5 млрд.т.), балансовые и забалансовые руды (0,17 млрд.т.), хвосты обогащения (0,13 млрд.т.), шлаки и продукты химической переработки (0,07 млрд.т.) [1].

В настоящее время в Забайкалье подземным способом разрабатывается группа урановых месторождений Стрельцовского рудного поля, введены в эксплуатацию рудники Александровского и Погромного месторождений рудного золота, Новоширокинский полиметаллический комбинат и другие. Кроме этого, продолжается добыча открытым способом на Харанорском, Восточном и Уртуйском угольных месторождениях бурого угля.

Наиболее предельно воздействие человека на геологическую среду можно рассмотреть на примере Стрельцовской группы месторождений урана [1], где на стадии геологической разведки было пройдено 6,2 км шахтных стволов, 239,6 км горизонтальных горных выработок, 2698,2 км скважин.

В процессе разработки месторождения за первые 20 лет (1972-1992 гг.) пройдено 10,5 км стволов шахт, горно-капитальных выработок – 134,8 км, горно-подготовительных 334 км, горно-разведочных – 85,6 км. Глубина ствола шахты 12В составила 947 м. Ежегодный максимальный объем подземной добычи урановых руд составлял 0,6 млн.т.

При подземной золотодобыче на Дарасунском месторождении, которое эксплуатировалось несколькими шахтами до 2007 г., глубина горных выработок достигла 500-700 м.

В последнее десятилетие в Забайкалье завершается подготовка к разработке серии крупнейших месторождений полезных ископаемых (табл. 1), причем ряд месторождений и, в частности, Березовское железорудное, полиметаллическое – Нойон-Тологой на юге территории будут эксплуатироваться китайскими инвесторами с поставкой руды и концентратов в КНР.

Таблица

Месторождения Забайкальского края, подготовленные к разработке

Месторождение	Запасы руды, млн.т	Ежегодный объем производства, включая добычу и переработку, млн.т	Планируемый год выхода на максимальную производительность
Удоканское медное	1375	36	2020
Чинейское месторождение титаномагнетитовых ванадийсодержащих руд	783	5–6	2017
Апсатское месторождение угля*	2200	5	2016
Быстринское полиметаллическое	292	10	2016
Бугдаинское полиметаллическое	436	16	2020

*Примечание: разработка Апсатского угольного месторождения уже начата.

Суммарные запасы руд (табл. 1) оцениваются в 2,8 млрд.т, каменного угля в 2,2 млрд.т., а ежегодный объем извлекаемых полезных ископаемых составит 73 млн.т. Очевидно, что в районах новых месторождений, нагрузка на геологическую среду резко возрастет. Причем опыт разработки рудных месторождений глубокими карьерами в Забайкальском крае отсутствует. Поэтому анализ воздействия горного производства на геологическую среду в районах действующих горных предприятий и отработанных месторождений является весьма актуальным.

В горнодобывающей промышленности, в отличие от других отраслей, положение объектов добычи на местности строго определено территорией горного отвода, может изменяться только способ. Места размещения вспомогательных объектов, инфраструктуры, жилья определяется: прогнозируемым воздействием предприятия на природную среду и экологические условия; природными опасностями и рисками развития опасных экзогенных процессов; экономической целесообразностью. Строительство открытых и подземных горных выработок, добыча руд, извлечение полезного ископаемого, формирование отвалов приводит к коренному преобразованию геологической среды в приповерхностной части земной коры и созданию горно-геологической среды.

Таким образом, под горно-геологической средой понимают, измененную под влиянием хозяйственной деятельности геологическую среду, включающую и вновь создаваемые объекты горного производства. Горно-геологическая среда является очень динамичной, так как в результате разработки полезных ископаемых активизируются опасные природные процессы.

Это обусловлено тем, что для обеспечения горных работ, как правило, необходимо: 1) осушение горных пород, 2) создание отвалов вскрышных пород, 3) формирование хвостохранилищ.

При осушении месторождений Забайкальского края происходит постепенное увеличение объема водоотлива, который достигнет максимума по достижении нижних горизонтов. В ряде случаев с увеличением глубины разработки водопритоки снижаются, по мере сработки статических запасов подземных вод и уменьшения экзогенной трещиноватости.

Карьерный водоотлив приводит к формированию протяженных депрессионных воронок, что вызывает осушение скважин на прилегающих к месторождению водозаборах. Так на Харанорском угольном разрезе радиус депрессионной воронки превысил 22 км, что существенно снизило производительность водозабора «Южный» в п. Харанор. В Забайкальском крае, где до 90% питьевого водоснабжения осуществляется за счёт подземных вод, такое воздействие на геологическую среду представляет большую опасность, так как существенно изменяет гидрогеологические условия в районах месторождений.

Прекращение разработки месторождения в Забайкалье, как правило, не приводит к восстановлению исходных гидрогеологических условий, существовавших до начала освоения месторождения. Это связано с тем, что в условиях развития многолетнемерзлых пород, подземные воды глубоких горизонтов (трещинные, трещинно-пластовые, трещинно-жильные) имеют напоры иногда выше поверхности земли. В процессе разработки в центральных и южных районах Забайкалья из-за изменений условий теплообмена мерзлые породы деградируют, а после консервации или прекращения горных работ происходит затопление шахт и карьеров водой. Уровни вод в шахтах и карьерах, ряде случаев поднимаются так высоко, что происходит подтопление населенных пунктов. Такие процессы наблюдаются в настоящее время в г. Чита на станции Черновская, вблизи отработанного подземным способом Черновского месторождение угля.

В марте 2013 г. в поселке Вершина Шахтамы Шелопугинского района Забайкальского края подземные воды из заброшенных шахт, разрушив небольшую дамбу, хлынули на улицы и подворья, и затопили их, в результате чего образовалась наледь мощностью от десятков сантиметров до нескольких метров. Поселок ранее известный благодаря уникальному месторождению молибдена оказался на грани экологического бедствия.

Воды закрытых шахт и карьеров опасны в отношении загрязнения. Так воды в Тасеевском и Балейском карьерах содержат токсичные металлы (медь, цинк, свинец, молибден, железо и т.д.) в опасных концентрациях и загрязняют поверхностные и подземные воды территории, прилегающей к г. Балей. Карьер Тасеевский в настоящее время является огромным «колодезем» вскрывшим трещинно-пластовые воды мезозойского водоносного комплекса. Он дренирует грунтовые кислотные, высокоминерализованные воды рыхлых образований – днищ отстойников на участках сброса шахтных вод.

Более опасны с экологических позиций загрязнения поверхностных и подземных вод технологическими водами, сбрасываемыми в хвостохранилища. По данным В.И. Цыганка [1] минерализация промстоков в хвостохранилищах достигает 20-22 г/дм³, рН до 0.9, содержание сульфатов до 14-17 г/дм³ и т.д. По разным компонентам превышение ПДК составляет от 7 до 925 раз. Наиболее опасным является загрязнение подземных и поверхностных вод высокотоксичными элементами As, Cd, Pb и др. при нарушении условий гидроизоляции хвостохранилищ или при разрушении дамб, что наблюдается в настоящее время в районах бывших рудников Акатуй и Благодатский.

Карьерный и шахтный водоотлив в пруды-отстойники, сброс технологических вод в хвостохранилища, в ряде случаев, при неправильных проектных решениях по противифльтрационной защите или при их не соблюдении приводят к подтоплению территории и загрязнению грунтовых вод. Подобная ситуация сложилась во втором по величине городе Забайкальского края – Краснокаменске (район Стрельцовой группы месторождений урана).

Разработка вновь вводимых месторождений может оказать значительное негативное воздействие на природную среду и привести: к загрязнению атмосферы за счет пылегазовых выбросов; гидросферы (рудничные воды, сточные воды) и литосферы (отвалы, хвостохранилища, отчуждение земель). Эколого-экономический ущерб, от воздействия проектируемых горно-обогатительных комбинатов на окружающую среду включает потери и затраты от техногенного воздействия объектов на компоненты среды, социальные условия жизни и здоровья населения. Первоочередной задачей становится определение и минимизация ущерба наносимого горными работами и предприятием в целом всем компонентам природной среды. Рациональное размещение объектов горного предприятия, выбор порядка и интенсивности использования отдельных участков земли при создании взаимоувязанной технологии вскрышных, отвальных и рекультивационных работ необходимо увязывать с опасностями и рисками, возникающими из-за формирования горно-геологической среды.

По результатам исследований можно сделать следующие выводы:

1. Создание крупных горнодобывающих кластеров на севере и юго-востоке Забайкалья продолжит формирование горно-геологической среды на рассматриваемой территории.

2. Для уменьшения неблагоприятных экологических последствий на участках горных предприятий необходим постоянный мониторинг изменения мерзлотно-гидрогеологических условий в районах вводимых объектов горной промышленности, позволяющий принимать своевременные управляющие решения (твердеющие закладки и др.).

3. Особое внимание следует уделять хвостохранилищам, в том числе и на участках подземных рудников, эксплуатация которых прекращена, а также карьерам, которые дренируют напорные воды глубоких горизонтов. Резкие подъемы уровней подземных вод, в них приводят к подтоплению, заболачи-

ванию и наледообразованию, способствуют загрязнению подземных и поверхностных вод токсичными элементами. Таким образом, при строительстве объектов каждого ГОКа необходим учет характера создаваемой горно-геологической среды и её влияния на экологию.

Литература

1. Геологические исследования и горно-промышленный комплекс Забайкалья / под ред. Г.А. Юргенсона. – Новосибирск: Наука, Сибирская издательская фирма РАН, 1999. – 574 с.

ИНЖЕНЕРНО-ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ДЛЯ РАЗРАБОТКИ ПРОЕКТА СТРОИТЕЛЬСТВА МУСОРОПЕРЕРАБАТЫВАЮЩЕГО КОМПЛЕКСА НА ПОЛИГОНЕ ТБО «ХМЕТЬЕВО» МОСКОВСКОЙ ОБЛАСТИ

Л.П. Грибанова, А.Ю. Каковкина, Н.П. Подлесных

НПО «НОЭКС», Россия, 117418, г. Москва, Новочеремушкинская ул., д.52, корп. 2.
E-mail: noeks@yandex.ru

В настоящее время территории закрытых и действующих полигонов ТБО используются для размещения на их площадях мусоросортировочных и мусороперерабатывающих комплексов. Использование этих площадей сопряжено с рядом сложностей в проектировании и строительстве, поэтому на подобных территориях инженерно-экологические изыскания проводятся с особой тщательностью.

Ярким примером использования отработанной и рекультивированной площади действующего полигона ТБО «Хметьево» является строительство на его территории мусороперерабатывающего комплекса.

Полигон находится в Солнечногорском районе Московской области, на месте выработанных карьеров Хметьевского валунно-гравийно-песчаного месторождения. Полигон образован в 1980 г., в настоящее время площадь его – 53 га. Отходы заполняют отработанные карьеры и далее эксплуатация продолжается по «высотной схеме». Сюда вывозили и продолжают вывозить твердые бытовые отходы г. Москвы и близлежащих городов Подмосковья. Часть полигона рекультивирована, часть эксплуатируется.

Нашему исследованию подвергалась только южная (рекультивированная) часть полигона площадью 5 га.

В геологическом строении данной территории принимают участие каменноугольные отложения (верхний и средний отделы), которые залегают на большой глубине и перекрыты мощным чехлом юрских водоупорных глин, выше по разрезу вскрыты нижнемеловые кварцевые пески. Четвертичные

грунты представлены отложениями донской и московской морен. Разрабатывались карьеры на четвертичные флювиогляциальные разнозернистые пески, глубина карьеров варьировала 10-15 м и более. Карьеры заполнялись твердыми бытовыми, строительными, реже промышленными отходами и отработанные площади были подвергнуты рекультивации. В южной части полигона техногенные отложения имеют мощность до 25 м и представлены тремя толщами разного состава.

Верхняя часть – суглинок буро-красный полутвердый, тяжелый, гумусированный, маловлажный с включениями до 25% гальки и валунов – рекультивационный слой полигона мощностью от 0,3 до 4,2 м.

Средняя часть – бытовые отходы (75%), строительные и промышленные отходы (25%). Уплотненные, гумусированные, водонасыщенные с прослойками глины и песчано-гравийного грунта. Большую часть бытовых отходов составляют полиэтилен, бумага, пищевые отходы, которые в разной степени подвержены процессам разложения. Мощность отходов от 4,7 до 22,5 м.

Нижняя часть – песчано-гравийно-галечный грунт серых и черных тонов загрязненный благодаря фильтрации техногенных вод из тела полигона. Мощность отложений 0,3 – 3,4 м.

Общая мощность техногенных отложений сильно варьирует – от 4,7 м в западной части до 25 м в восточной части участка, где карьеры обрабатывались на большую глубину.

В настоящее время отходы обводнены, вода вскрыта на глубине 2,5-8,6 м (по материалам исследований 2013 г.).

На территории проектируемого строительства мусороперерабатывающего комплекса согласно имеющимся нормативным документам были проведены полноценные инженерно-экологические изыскания:

- исследование и оценка санитарно-химического и биологического состояния почв и грунтов (опробование почв и грунтов на тяжелые металлы и мышьяк, нефтепродукты, 3,4 – бенз(а)пирен, микробиологические и паразитологические показатели);

- оценка радиационной обстановки участка (измерение мощности эквивалентной дозы гамма-излучения, удельной активности естественных радионуклидов и Cs_{137} , измерение плотности потока радона на участке);

- газогеохимические исследования.

Газогеохимические исследования на участке строительства в данном случае играют очень важную роль, так как строительство мусороперерабатывающего комплекса проектируется на территории рекультивированной части полигона ТБО. В связи с этим производится оценка газогеохимического состояния техногенной толщи.

Как известно, отходы, содержащие органику, в анаэробных условиях генерируют биогаз. Полигон ТБО является мощным источником генерации биогаза. При освоении территорий полигонов и свалок под строительство различных объектов приходится решать задачу по защите зданий и сооружений от возможного накопления в них биогаза (до опасных концентраций). С другой стороны, можно рассматривать вопрос об извлечении и использова-

нии биогаза, образующегося в теле полигона в качестве альтернативного источника энергии, в том числе для эксплуатации оборудования на проектируемых на полигоне промплощадках.

Для оценки газогеохимического состояния техногенной толщи южной части полигона ТБО «Хметьево» были выполнены следующие работы:

- шпуровое газогеохимическое опробование грунтового воздуха;
- поглубинное опробование грунтового воздуха из стволов скважин;
- измерение эмиссии биогаза над устьями скважин;
- хроматографический газовый анализ проб грунтового воздуха на метан, диоксид углерода, кислород, азот, водород.

Отсюда следует, что газогеохимическое состояние техногенной толщи полигона оценивалось по результатам поверхностного и глубинного опробования грунтового воздуха этой толщи.

Для определения структуры газового поля в приповерхностном слое насыпи проводилось шпуровое опробование грунтового воздуха. Точки шпурового опробования размещались на уровне дневной поверхности с шагом 30 м друг от друга. Грунтовый воздух отбирался из вертикальных шпуров глубиной 0,8 м.

Скважинные исследования осуществлялись в целях изучения вертикальной газогеохимической зональности насыпной свалочной толщи. Исследования включали: отбор проб грунтового воздуха из стволов 5-ти скважин и измерения эмиссии биогаза над скважинами.

По результатам проведенных газогеохимических исследований установлено:

- в составе грунтового воздуха содержание метана (основного компонента биогаза) достигает концентраций – до 54,0%об. Содержание диоксида углерода (второго основного конечного продукта разложения организмов) также достигает высоких концентраций во всех скважинах – до 33,8%об при дефиците кислорода менее 18%об. вплоть до 0,6%об., что свидетельствует об анаэробных процессах метаногенеза в мощной техногенной толще. Содержания примесного молекулярного водорода – не выше 0,06%об.;

- поглубинное опробование насыпной толщи показывает, что высокие концентрации метана фиксируются по всей глубине опробования – 1,5-7,5 м, и, вероятно, остаются на стабильно высоком уровне на всю мощность насыпи;

- результаты эмиссии биогаза над скважинами фиксируют устойчивый восходящий поток биогаза к дневной поверхности, что объясняется высокой газогенерационной способностью насыпных грунтов и высокой газоотдачей насыпной толщи. Величина потока биогаза по метану составляет $0,03 \text{ м}^3/\text{м}^2\text{час}$ и $0,66 \text{ м}^3/\text{м}^2\text{час}$, что характерно для полигонов ТБО;

- высокие концентрации биогаза, выявленные в скважинах, не фиксируются в приповерхностных слоях отходов (верхняя часть техногенной толщи по геологическому разрезу), о чем свидетельствуют фоновые концентрации биогаза в шпурах. Это объясняется наличием плотного изолирующего слоя суглинков в верхней части насыпи, который экранирует восходящие потоки биогаза к дневной поверхности;

– исследованная площадь в южной части полигона ТБО находится в зоне активной газогенерации. При неосторожной или намеренной экскавации техногенных грунтов следует ожидать активную газовую разгрузку грунтовой толщи, что может привести к загрязнению метаном приземной атмосферы территории, прилегающей к полигону ТБО. Кроме того, биогаз содержит огромное количество токсичных и вредных веществ, крайне опасных для здоровья и жизни людей, а также оказывает губительное воздействие на растительный покров вокруг полигона. Свалочный газ является парниковым газом.

Учитывая, что содержание метана в составе грунтового воздуха на полигоне ТБО (южная рекультивированная часть) достигает пожарно-взрывоопасных концентраций согласно СП 11-102-97 и фиксируется устойчивый восходящий поток биогаза к дневной поверхности (высокая газогенерационная способность насыпных грунтов и высокая газоотдача насыпной толщи), рекомендуется разработать мероприятия по биогазовой защите проектируемого сооружения.

Кроме того, рекомендуется провести подобные исследования для всего полигона ТБО, оценить эмиссию биогаза, его концентрацию и возможность использования для местных нужд.

Техническое использование свалочных газов способно сократить ежегодные выбросы метана во многие десятки раз. Если такое сокращение будет достигнуто хотя бы на нескольких полигонах ТБО Московского региона, то это приведет к стабилизации и даже снижению регионального уровня концентрации метана в атмосфере.

ТЕХНОГЕННАЯ ТРАНСФОРМАЦИЯ РЕЛЬЕФА: ЛАНДШАФТНО-ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ЭФФЕКТЫ

А.П. Гусев

Гомельский государственный университет им. Ф. Скорины, 246019, г. Гомель,
ул. Советская, 104. E-mail: gusev@gsu.by

Рельеф выступает важным ландшафтно-экологическим фактором: детерминирует природную дифференциацию геосистем, формируя их морфолитоогенную основу; обуславливает развитие ряда экзогенных геологических процессов (эрозия, оврагообразование, оползни и т.д.); влияет на распределение вещество-энергетических потоков в иерархии геосистем, в том числе на миграцию загрязняющих веществ, растений и животных; является фактором устойчивости геосистем; изменения рельефа во времени – активный фактор динамики геосистем и их компонентов и т.д.

Целью исследований в данной работе являлась оценка влияния техногенной трансформации рельефа на ландшафтно-экологические условия.

В ходе исследований решались задачи: анализ динамики ландшафтного покрова (наблюдаемого пространственного сочетания различных элементов земной поверхности – застройки, полей, лесов и т.д.) с помощью ландшафтных метрик (количественных показателей, описывающих состав, форму, конфигурацию, разнообразие ландшафтного покрова); создание цифровых моделей рельефа тестовых участков; оценка влияния техногенного рельефа на влажность и эрозионный потенциал территории.

Район исследований находится на юго-востоке Белоруссии (г. Гомель и прилегающие территории). Исследования проводились на 4 тестовых участках (площадь каждого 4 км²) на двух временных срезах: до техногенного преобразования рельефа (1-я половина XX в.) и после такового (начало XXI в.). Тестовый участок «ГХЗ» – промплощадка, водоемы-отстойники, полигон отходов фосфогипса Гомельского химического завода (35% всей площади) и прилегающие территории с лесными и сельскохозяйственными землями; расположен на западе г. Гомеля; высота отвалов – 20-30 м; площадь, занятая отвалами, составляет около 100 га. Тестовый участок «Уза» – надпойменная терраса и пойма рек Уза и Сож с полигоном твердых бытовых отходов (ТБО), полями фильтрации, лесными и сельскохозяйственными землями; расположен вблизи деревни Уза, на западе г. Гомеля; высота отвалов ТБО составляет – до 10 м; площадь – 35 га. Тестовый участок «Осовцы» – надпойменная терраса и пойма р. Сож с карьером по добыче строительных песков; расположен в юго-западной части г. Гомеля; глубина разработки – до 10 м; площадь нарушенных земель – более 80 га. Тестовый участок «Волотова» – намывной массив в пойме р. Сож и прилегающие территории; расположен в восточной части г. Гомеля; мощность намывных песков – до 6 м; создан в градостроительных целях в 1980-е гг.

Для разработки карт ландшафтного покрова использовались топографические карты масштаба 1:100000 (1923-1931 и 1985-1988 гг.), космоснимки Landsat (2005-2007 гг.) и материалы Google Earth (2006). Привязка и оцифровка растров выполнялись в Quantum GIS 1.8.0. Для вычисления ландшафтных метрик использовался программный продукт FRAGSTATS 4.0 [2]. Цифровые модели рельефа (ЦМР) тестовых участков разработаны на основе топографических карт масштаба 1:5000-1:10000 с помощью ГИС SAGA (System for Automated Geo-Scientific Analysis [1]) методом Natural Neighbour (размер ячейки 20 м). Оцифровка высотных отметок и изолиний – в Quantum GIS 1.8.0. Для каждого тестового участка созданы две ЦМР (до и после преобразования рельефа).

С помощью ГИС SAGA производился расчет морфометрических индексов: TWI (Topographic Wetness Index – топографический индекс влажности, отображает потенциальную влажность водосбора и представляет собой натуральный логарифм отношения дренажной площади к тангенсу крутизны склона [3]); LSF (LS factor – эрозионный потенциал рельефа; относительный показатель эрозии, учитывающий уклон поверхности и площадь водосборного бассейна [4]). TWI и LSF – важные ландшафтно-экологические показатели,

имеющие существенное значение при планировании землепользования, организации охраны земель и водных объектов, оценке эрозионной сети и т.д.

В ходе исследований установлено, что техногенные преобразования рельефа и сопряженные с ними изменения землепользования отражаются в структуре ландшафтного покрова. Наиболее чувствительная реакция на эти изменения характерна для ландшафтных метрик, измеряющих фрагментацию ландшафтного покрова. Так, метрики ED (плотность краев или границ) и AREA (средняя площадь «пятна» – ареала землепользования) оценивают фрагментацию ландшафта, т.е. процесс дробления континуума ландшафтного покрова или его элементов деятельностью человека (рост фрагментации отражается увеличением ED и уменьшением AREA). На всех участках произошло увеличение фрагментации: значения ED увеличились в 1,6-3,4 раза; значения AREA уменьшились – 1,7-3,9 раза. До техногенных преобразований значения метрики ED отличались в 4,6 раза, после преобразований – только в 2,3 раза, т.е. фрагментация ландшафтного покрова увеличилась на всех участках и стала более равномерной. Метрика LSI оценивает нерегулярность формы ареалов землепользования. На рассматриваемых участках значения LSI увеличились 1,4-2,4 раза (в наибольшей степени изменились значения LSI на участке «Уза»).

MESH и SPLIT являются метриками, которые оценивают раздробленность ландшафтного покрова. SPLIT=1, а значения MESH максимальны, когда на территории ландшафта представлен только один тип землепользования. При росте фрагментации значения SPLIT увеличиваются, а MESH уменьшаются. Видно, что для всех тестовых участков характерно уменьшение значений MESH (в 1,7-4,3 раза) и увеличение значений SPLIT (1,7-4,3 раза).

Произошло также увеличение разнообразия ландшафтного покрова, на что указывает рост значений метрик разнообразия – SHDI (индекс разнообразия Шеннона) и SIDI (индекс разнообразия Симпсона). В наибольшей степени изменилось разнообразие ландшафтного покрова на участке «ГХЗ»: индекс разнообразия SHDI увеличился в 1,9 раза.

В течение рассматриваемого периода времени фрагментация ландшафтного покрова существенно возросла на тестовых участках «ГХЗ», «Уза», «Осовцы», в меньшей степени – на участке «Волотова». Рост фрагментации обусловлен комплексом факторов (развитие сети транспортных коммуникаций, промышленное и городское строительство, лесохозяйственные мероприятия и т.д.) и отражает их совокупный эффект. Техноморфогенез влияет на структуру ландшафтного покрова как напрямую (непосредственно – изменения площадей ареалов различных типов землепользования при создании полигонов отходов, карьеров и т.д.), так и косвенно (за счет создания инфраструктуры, обслуживающей указанные объекты). Так, создание полигона отходов фосфогипса сопряжено с созданием всего комплекса Гомельского химического завода (застройка пахотных и лесных земель, осушение заболоченных участков, прокладка транспортных коммуникаций и т.д.); создание полигона ТБО сопровождалось сооружением шламонакопителей, транспорт-

ных коммуникаций и т.д. Во всех случаях, площадь территории, затронутой изменениями ландшафтного покрова, существенно превышает площадь территории с измененным рельефом.

Для оценки ландшафтно-экологических изменений, обусловленных техногенной трансформацией рельефа, нами были также использованы морфометрические индексы, рассчитываемые на основе ЦМР. Эти показатели могут использоваться для оценки риска экзогеодинамических процессов (подтопления, водная эрозия).

Анализ TWI позволяет выявить пространственно-временные изменения влажности экотопов, которые, в свою очередь, отражаются на структуре растительного покрова территории. Установлено, что техногенные преобразования рельефа в пределах тестовых участков вызвали изменение влажности. Так, на территории участка «ГХЗ» удельная площадь с высокими значениями TWI («влажные» местообитания, заболоченные земли) уменьшилась на 5,3% (21,2 га) и соответственно увеличилась площадь ареалов с низкими значениями TWI («слабоувлажненные» местообитания, характеризующиеся низкой влажностью почв, большой глубиной залегания грунтовых вод). На территории участка «Волотова» удельная площадь ареалов с высокими значениями TWI сократилась на 12,7% (50,8 га), что обусловлено созданием положительных форм рельефа на месте заболоченной поймы. Соответственно, увеличились площади ареалов с низкими и средними значениями TWI.

На участке «Осовцы», наоборот, произошло увеличение площади экотопов с повышенной влажностью (на 7,1% или 28,4 га). На участке «Уза» удельная площадь ареалов с высокими значениями TWI изменилась слабо, но увеличилась удельная площадь ареалов с низкими значениями TWI. Таким образом, на данном масштабном уровне (первые км²) эффект техноморфогенеза четко фиксируется в поле значений TWI.

На основе анализа карт распределения значений LSF была выполнено изучение влияния техногенной трансформации рельефа на эрозионный потенциал. Наблюдается повышение площади с высоким эрозионным потенциалом: «ГХЗ» – на 10,1% (40,4 га); «Уза» – 10,3% (41,2 га); «Осовцы» – 2,3% (9,2 га). На участке «Волотова», наоборот, создание намывного массива привело к небольшому снижению площади ареалов с высоким эрозионным потенциалом. Оценка изменений LSF показывает, что результате техногенной трансформации рельефа на участках «ГХЗ» и «Уза» увеличился риск эрозионных процессов.

Указанные изменения имеют как положительные, так и отрицательные экологические последствия. Однозначно негативным следует считать увеличение площади ареалов с высоким эрозионным потенциалом. С этих позиций техногенные преобразования рельефа на участке «ГХЗ» являются наиболее экологически опасными. В этом случае отсутствие растительного покрова (вследствие токсичности отвалов фосфогипса) значительно увеличивает риск эрозионных процессов. Увеличение вертикальной расчлененности рельефа на участке «ГХЗ» также имеет негативные последствия, так затрудняет как естественное, так и искусственное восстановление растительности.

Таким образом, техногенные нарушения рельефа и связанная с ними трансформация землепользования отражаются в изменениях структуры ландшафтного покрова, которые количественно могут быть оценены с помощью ландшафтных метрик. Установлено, что создание техногенных форм рельефа (отвалы твердых отходов, карьеры, намывные массивы) и развитие связанной с ними инфраструктуры вызывает рост фрагментации ландшафтного покрова. В зависимости от характера техногенных форм рельефа и исходных условий влажность территории может и увеличиваться, и уменьшаться, что отражается в распределении значений топографического индекса влажности. Создание отвалов твердых отходов и карьеров вызывает рост эрозионного потенциала территории в целом. Реальное проявление негативных последствий этих изменений зависит от состояния растительного покрова.

Литература

1. *Conrad O.* SAGA – program structure and current state of implementation // Göttinger Geographische Abhandlungen. – 2006. – Vol. 115. – P. 39-52.
2. *McGarigal K., Cushman S.A., Neel M.C., Ene E.* FRAGSTATS: Spatial Pattern Analysis Program for Categorical Maps, project homepage [Electronic resource] / University of Massachusetts. Amherst, 2002. Mode of access: <<http://www.umass.edu/landeco/research/fragstats/fragstats.html>>. Date of access: 12.09.2012.
3. *Sørensen R., Zinko U., Seibert J.* On the calculation of the topographic wetness index: evaluation of different methods based on field observations // Hydrology and Earth System Sciences. – 2006. – Vol. 10. – P. 101–112.
4. *Wilson J.P.* Estimating the topographic factor in the universal soil loss equation for watersheds // Journal of Soil and Water Conservation. – 1986. – Vol. 41. – P. 179–184.

МИКРОБИОТА БОГАТЫХ ЖЕЛЕЗНЫХ РУД ЯКОВЛЕВСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ КАК АНТРОПОГЕННО-ГЕНЕТИЧЕСКИЙ ФАКТОР ФОРМИРОВАНИЯ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ

Р.Э. Дашко, И.В. Алексеев

Национальный минерально-сырьевой университет «Горный», кафедра ГиИГ,
199106, Санкт-Петербург, В.О., 21 линия, д. 2. E-mail: regda2002@mail.ru

При рассмотрении и анализе подземной геологической среды как многокомпонентной системы, в ней выделяют не только горные породы и грунты различного генезиса, но также подземные воды с их спецификой гидродинамических и гидрохимических условий и в обязательном порядке – подземную микробиоту, деятельность которой способствует генерации биохимических газов и образованию микробной массы, состоящей из клеточного материала и

продуктов метаболизма. В настоящее время изучению микробиоты в подземном пространстве не уделяется должного внимания и часто игнорируется возможность ее воздействия на формирование инженерно-геологических условий, в том числе преобразование дисперсных грунтов и развитие инженерно-геологических процессов и явлений. Активная деятельность микроорганизмов в подземной среде может сопровождаться изменением напряженно-деформируемого состояния пород в период эксплуатации сооружения за счет газодинамического давления, а также биокоррозией строительных материалов. Воздействию микроорганизмов оказываются подвержены деревянные, металлические и бетонные конструкции, реже керамические материалы. Влияние на них микробиоты влечет за собой значительное сокращение срока эксплуатации сооружений и соответствующее увеличение расходов на их ремонт.

На Яковлевском руднике богатых железных руд, приуроченном к Белгородским месторождениям Курской магнитной аномалии, микробная деятельность рассматривается как один из негативных факторов, влияющих на прочность и деформационную способность дисперсных руд, а также на биокоррозию конструкционных материалов, в том числе – бетонных смесей, используемых для закладки выработанного пространства (рис. 1) [1,3]. Многообразие форм микробиоты на руднике определяется генезисом месторождения, а также антропогенными факторами. Образование богатых железных руд (БЖР) Яковлевского месторождения связано с формированием на железистых кварцитах и рудных сланцах латеритных кор химического выветривания допалеозойского возраста. Химическое выветривание различных пород и формирование месторождений в корах выветривания, как известно, происходит при обязательном участии богатой микрофлоры, активная деятельность которой наблюдается и в настоящее время (рис. 2).



Рис. 1. Следы микробиологической коррозии на набрызг-бетоне, квершлаг № 1, гор. -425 м Яковлевского рудника

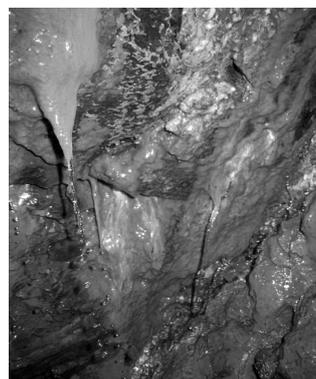


Рис. 2. Микробная слизь на стенке грузового квершлага, гор. -425 м Яковлевского рудника (фото И.В. Алексеева)

Сведения о присутствии остатков микроорганизмов в древних породах на протяжении XX в. появлялись неоднократно. Роль микрожизни в геологических процессах, в образовании минералов и их разложении была известна уже давно. Обнаружение многочисленных остатков ископаемых бактерий в древнейших породах Земли с возрастом до 3,5 млрд. лет явилось в свое время одним из удивительных открытий, сделанных геологами и палеонтологами. Серьезный прорыв в развитии микробиологической палеонтологии связан с появлением электронных микроскопов высокого разрешения. Когда древние породы, в том числе железистые кварциты начали изучать с помощью подобного оборудования, выяснилось, что эти породы содержат большое число окаменевших микроорганизмов [6].

Железобактерии в железистых кварцитах Курской магнитной аномалии были описаны еще в 1943 г. член-кор. АН СССР А.Г. Вологдиным (рис. 3). В 60-е годы прошлого века американскими, российскими и австралийскими учеными были зафиксированы многочисленные случаи сохранения в кремнистых

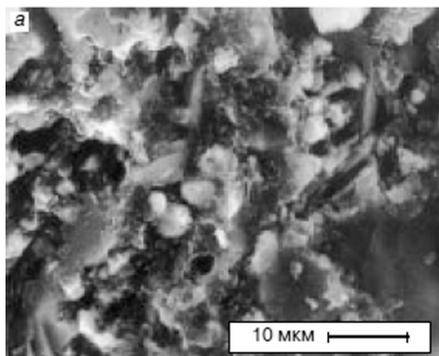


Рис. 3. Фоссилизированные цианобактерии в сланцах среди протерозойских джеспилитов КМА [4]

образованиях древнего докембрия цианобактерий. В протерозойских джеспилитах КМА, служащих материнской породой для БЖР, фоссилизированные цианобактерии были идентифицированы А.Ю. Розановым в 1999 г. [2,6].

Фоссилизированные формы микрожизни, обнаруженные на месторождениях КМА, являются убедительным подтверждением древней микробной деятельности. Вероятно, все джеспилиты Курской магнитной аномалии и, в том числе, приуроченного к ней Яковлевского месторождения имеют отношение к активности железобактерий, являющихся

элементоспецифическими микробами, накапливающими Fe и S [4]. Низкое содержание серы в богатых железных рудах объясняется тем, что ее соединения утилизируются микроорганизмами.

Еще ранее, микробиологическими исследованиями, проведенными совместно с геологами, было доказано, что недра Земли не являются стерильными средами: подземные воды, в том числе глубоких водоносных горизонтов, многие осадочные, а также пористые изверженные породы содержат микроорганизмы, причем активность последних определяется средой их обитания. Бактерии, обнаруженные в породах, жидкая составляющая которых содержит такие питательные субстраты, как органические вещества, соединения азота и серы, имеют наиболее высокую жизнеспособность и лучшие адаптационные признаки при изменении условий их существования. В настоящее время живые организмы на больших глубинах в толще обводненных пород рассматриваются как постоянно развивающиеся формы древней микрофлоры за счет автолитических ферментативных процессов, которые приво-

дят к гидролитическому распаду сложных молекул, а также деструкции токсичных продуктов обмена [3,5].

Кроме микроорганизмов, связанных непосредственно с корами химического выветривания железистых кварцитов, на Яковлевском руднике выделяют также микробиоту, привнесенную в рудную толщу. Часть такой микробиоты поступает за счет восходящего перетекания минерализованных подземных вод из гранитных тел через тектонические трещины в результате движения жидких и газовых флюидов, а часть – при нисходящем перетекании подземных вод нижнекаменноугольного горизонта, непосредственно перекрывающего рудное тело.

В пользу первого из названных дополнительных источников поступления микробиоты говорят результаты газохроматографических исследований проб минерализованной воды, отобранных из тектонических трещин гранитных массивов на горизонте – 425 м Яковлевского рудника. Расшифровка кривых результатов исследований свидетельствует о высоком содержании в воде измененных липидов (жиров) и моносахаров (углеводов) предположительно микробного происхождения. Кроме того, с использованием биохимического метода Лоури было определено содержание белков в пробах воды гранитных массивов, составившее 200-233 мкг/мл.

Постоянный гидрогеохимический мониторинг за состоянием состава подземных вод Яковлевского рудника показал высокие содержания органической составляющей в водах гранитных массивов. При этом величина биологического потребления кислорода (БПК₅) проанализированных проб тесно коррелирует с содержанием легкоокисляемой органики (величина перманганатной окисляемости), которая активно утилизируется гетеротрофными формами микроорганизмов. Общее содержание органики, определяемое по величине ХПК, включает белковые соединения микроорганизмов и продуктов их метаболизма.

В пределах Яковлевского рудника «заселение» микроорганизмами рудной толщи происходит также за счет нисходящего перетекания подземных вод из высоконапорного нижнекаменноугольного горизонта известняков (рис. 4), в нижней части разреза которого протекает генерация сероводорода за счет деятельности сульфатредуцирующих бактерий, которые относятся к гетеротрофным мезофильным микроорганизмам [2,7].

Кроме перечисленных источников микробиоты в рудном теле следует также упомянуть поступление микроорганизмов в подземные выработки с потоками воздуха через вентиляционные системы, а также привнос с поверхности людьми и механизмами.

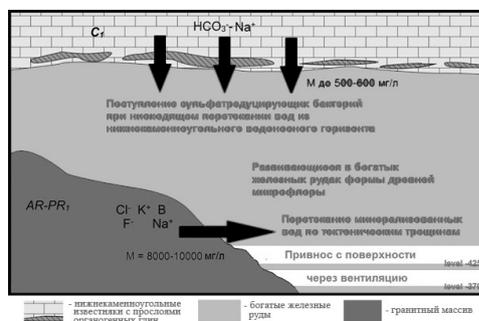


Рис. 4. Источники природной микробиоты в рудном теле

В водонасыщенной рудной толще Яковлевского рудника сформировался комплекс благоприятных условий, способствующих интенсивному развитию микробиоты. Температура подземных вод 24-27°C является благоприятной для развития мезофильной микрофлоры. Нейтральная и слабощелочная реакция водной среды также способствует созданию оптимальных условий жизнедеятельности микроорганизмов. Значение рН вод руднокристаллического водоносного горизонта близко к нейтральному (иногда чуть меньше), либо сдвинуто в сторону повышенной щелочности.

Особо следует остановиться на минерализации подземных вод. В большинстве дренажных и разведочных скважин в пределах 1-й очереди горных работ минерализация превышает 1 г/дм³, а в подземных водах зон тектонических трещин гранитных тел достигает 10-13 г/дм³, что согласно многочисленным работам и наблюдениям служит оптимальной средой для развития преимущественно анаэробных форм микробиоты.

Питательной средой для гетеротрофных микроорганизмов служат компоненты, содержащие С; Н; О; N; S; P; Na; K; Ca; Mg; Fe и микроэлементы, причем наличие С – обязательно. Состав вод Яковлевского рудника полностью удовлетворяет этим требованиям. Содержание микроэлементов в рудной толще варьирует. Железные руды отчетливо обогащены микроэлементами семейства тяжелых металлов (Ni, Ti, Cr, Co) и другими (преимущественно халькофильными) элементами – Cu, Zn, Ga, Zr, Pb, Sn, Mo, в количествах, необходимых для активной микробной деятельности. При этом большое значение в жизнедеятельности микроорганизмов играют органические соединения, постоянно фиксируемые в водах Яковлевского рудника по величине ХПК и перманганатной окисляемости.

Активизация природных биоценозов может происходить и при антропогенном воздействии, в частности, при загрязнении рудного тела нефтяными углеводородами, например, при техническом обслуживании используемых на руднике транспортных средств. Для микроорганизмов, легко усваивающих большинство органических веществ, поступление углеводородов служит дополнительным питательным и энергетическим субстратом. Кроме того, в самих нефтепродуктах всегда содержатся разнообразные формы микроорганизмов, которые лишь увеличивают общую численность и видовой состав микробиоты. Поэтому загрязнение обводненных железных руд горюче-смазочными материалами приводит к заметному повышению содержания бактериальной массы в них, что подтверждается экспериментальными исследованиями [3]:

Величина микробной массы, мкг/г	70	85	110	130	145	155	170
Время загрязнения, мес.	0	0,5	1	2	3	4	5

Быстрый рост бактериальной массы может быть также вызван вторичным увлажнением железных руд, способствующим активизации микробной деятельности. При этом, следует отметить, что содержание микробного белка живых и мертвых клеток микроорганизмов и продуктов их жизнедеятельно-

сти в значительной степени определяет прочность и устойчивость руд, способствует негативному изменению показателей их механических свойств, что предопределяет переход руд в состояние пльвунов.

К факторам, благоприятствующим развитию микробиоты в рудном теле, можно отнести также действие слабых магнитных полей и эксгаляции радона по системе тектонических трещин [2].

В ходе специализированных исследований в подземных выработках Яковлевского рудника зафиксированы многочисленные проявления биологического повреждения материалов и конструкций. Установлено, что зонами концентрации микроорганизмов являются, главным образом, слизистые новообразования в местах повышенного увлажнения, наросты на металлических арочных креплениях, деревянная забутовка и закладочный материал. Наблюдаемое в настоящее время глубокое разрушение металлических арочных креплений является следствием взаимосвязанных процессов биологической и химической коррозии. Деструктивное воздействие агрессивных форм микроорганизмов требует принятия мер по ограничению последствий их негативного влияния на крепь в подземных выработках, что определяет снижение уровня безопасности ведения горных работ.

Литература

1. *Алексеев С.Н.* Долговечность железобетона в агрессивных средах / Иванов Ф.М., Модры С., Шисль С. // Совм. издание СССР-ЧССР-ФРГ. – М.: Стройиздат, 1990. – 320 с.
2. *Дашко Р.Э., Алексеев И.В.* Микробная деятельность в подземных выработках и ее влияние на свойства богатых железных руд и конструкционных материалов // Записки Горного института. – СПб, 2012. – № 195. – С. 15-18.
3. *Дашко Р.Э., Алексеев И.В.* Особенности развития горно-геологических процессов на Яковлевском руднике богатых железных руд при активизации микробной деятельности // Известия высших учебных заведений. Горный журнал. – Екатеринбург, 2013. – № 5. – С. 115-122.
4. Ископаемые бактерии и другие микроорганизмы в земных породах и астроматериалах / Под ред. А.Ю. Розанова, Г.Т. Ушатинской. – М.: ПИН РАН, 2011.
5. *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.
6. *Розанов А.Ю.* Ископаемые бактерии и новый взгляд на процессы осадкообразования // Науки о земле. Соровский образовательный журнал. – 1999. – № 10.
7. *Розанова Е.П.* Сульфатвосстанавливающие бактерии (Систематика и метаболизм) / Т.И. Назина // Успехи микробиологии. Вып. 23. – 1989. – С. 191-226.

РЕШЕНИЕ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ЗАДАЧ РАСЧЕТНЫМИ МЕТОДАМИ

Э.В. Калинин, Л.Л. Панасьян

Московский государственный университет им. М.В.Ломоносова, Геологический факультет,
Москва 119899, Ленгоры, МГУ. Email: Kalinin@sumail.ru, liyli@zmail.ru

«Расчетные методы могут применяться не только для решения различных практических задач, но и стать основой глубоких научных исследований, а если результаты исследований подтвердятся на практике, то авторы заслуживают присуждения не только кандидатской, но и докторской степени».

Академик Е.М. Сергеев

В 60-80-е годы кафедра грунтоведения и инженерной геологии активно участвовала в инженерно-геологических исследованиях для обоснования строительства крупных гидротехнических сооружений в Средней Азии и Восточной Сибири и вела работы по оценке условий разработки месторождений полезных ископаемых. Одной из важных проблем, которые стояли перед исследователями, был вопрос о естественном напряженном состоянии пород, слагающих высокие склоны речных долин. В созданной на кафедре лаборатории моделирования изучалось распределение напряжений в окрестности речных долин на моделях из оптически активных материалов. А, например, в створе Красноярской ГЭС методом разгрузки было выполнено определение напряжений в породах склона. В это же время появилась идея применить методы математического моделирования для исследования напряженного состояния массивов горных пород. При обсуждении этого вопроса для изучения распределения напряжений в горных породах, залегающих на склоне, высказывались сомнения о возможности их использования и такого подхода в качестве научных разработок. Однако Евгений Михайлович Сергеев не только одобрил это направление исследований, но и организовал помощь в проведении расчетов со стороны одного из лучших механиков Советского Союза академика Г.И. Баренблата. Начиная с этого времени на кафедре успешно развивается направление по применению математического моделирования для решения инженерно-геологических задач.

Одной из основных и важных задач инженерной геологии является прогноз развития современных геологических и инженерно-геологических процессов. Существенной причиной многих механических процессов является изменение напряженного состояния массивов горных пород. Такие процессы как обвалы, осыпи, оползни, провалы происходят при неблагоприятном сочетании напряжений и прочностных характеристик пород. Поэтому прогноз изменения напряжений в породах является неременным этапом

правильного прогноза современных процессов. Особенно необходим такой анализ при техногенных воздействиях на массив горных пород, так как изменение напряжений при этом происходит практически мгновенно, что-либо сразу, либо в ближайшем времени приводит к возникновению и развитию инженерно-геологических процессов.

Впервые было изучено с помощью аналитического метода распределение напряжений в породах крутых склонов каньонообразной долины р. Нарын в створе Токтогульской ГЭС [1]. В результате решения поставленной задачи установлены основные закономерности распределения различных компонент напряжений в породах вблизи глубокой речной долины. Так, например, концентрация касательных напряжений приурочена к основанию склона, а максимальные значения горизонтальных напряжений наблюдаются в днище долины. С помощью аналитического решения путем сравнения напряжений с прочностными характеристиками пород, в которых сформирована долина, можно определить ее предельную глубину.

Математические аналитические методы, могут быть применены, в основном, для изучения распределения напряжений в однородных средах. Однако массивы горных пород практически всегда неоднородны. Это привело к необходимости разработки методов расчета напряженного состояния неоднородных сред. Поэтому совместно с кафедрой механики композитов был разработан метод и создана программа, с помощью которых было изучено распределение напряжений в неоднородных массивах Талнахского месторождения [5,10,11]. Такими исследованиями было установлено влияние на распределение напряжений строения толщи, неоднородности деформационных свойств пород, тектонических нарушений и напряжений, а также других факторов. Аналогичные исследования были выполнены для изучения напряженного состояния пород, пройденных Кольской сверхглубокой скважиной и других объектов. Эта программа является инструментом, специально разработанным еще в 1978 г., для изучения природного поля напряжений, в каких угодно сложных по неоднородности массивах горных пород [6], и в этом ее преимущество перед многими современными программами.

Проверка работы любой программы может быть проанализирована либо путем сравнения расчетных данных, с полученными экспериментально на объекте, что сделать не всегда возможно, либо сравнением с результатами расчетов, сделанными с помощью аналитических методов. В работе впервые приведены сравнительные результаты работы программы и аналитических решений, которые в этом случае выполнены для однородной среды с целью изучения распределения напряжений в бортах и днище глубокой долины и вокруг отверстия квадратного сечения при действии дополнительных сил.

На рис. 1 представлены изолинии нормальных напряжений на вертикальных площадках, действующие в массиве пород в основании каньонообразной долины, полученные аналитическим расчетом и определенные численным методом. Как видно конфигурация и величины изолиний по обоим методам идентичны, что свидетельствует о правильном применении численного метода.

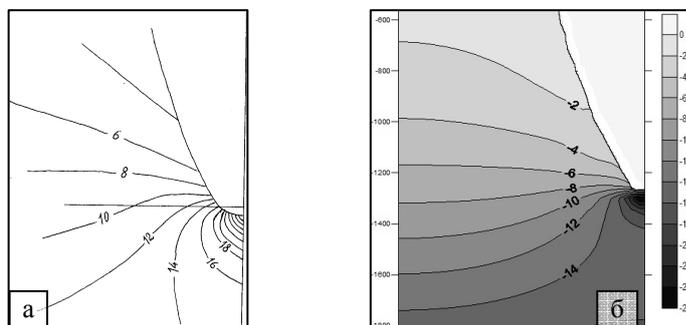


Рис. 1. Распределение горизонтальных напряжений полученное решениями:
 а – аналитическим, б – численным

На рис. 2 приведено сравнение максимальных и минимальных нормальных напряжений. Это можно условно рассматривать как распределение напряжений вокруг горной выработки в массиве пород, испытывающих тектоническое сжатие, рассчитанных численным методом, с распределением таких же напряжений, полученных с использованием аналитических методов, в пластинке с отверстием, подверженной такому же воздействию, только с обратным знаком, опубликованных в работе Савина [12].

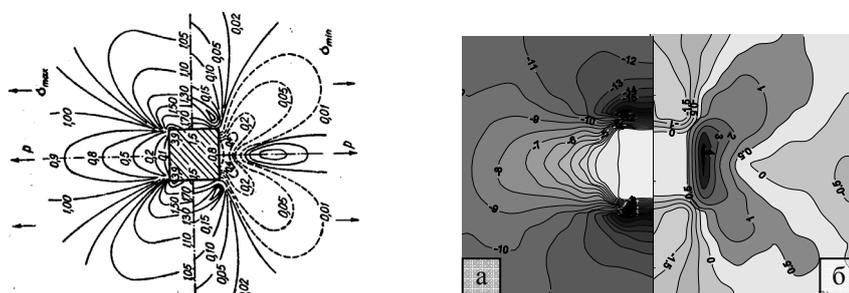


Рис. 2. Конфигурация распределения максимальных и минимальных напряжений, установленных обоими методами, вокруг выработки квадратного сечения при действии боковых сил:
 а – σ_{max} , б – σ_{min} .

Сравнение представленных результатов расчетов, полученных разными методами, показывает их удовлетворительную сходимость, и позволяет утверждать, что разработанный численный метод, наряду с широко рекламируемыми зарубежными программами, использующими известный метод конечных элементов, может успешно применяться для изучения распределения напряжений в неоднородных массивах горных пород, испытывающих разнообразные внешние воздействия.

Опыт применения для расчетов напряженного состояния неоднородных массивов горных показывает, что не может быть полностью универсальной программы, и для решения каждого возникающего вопроса следует использовать наиболее подходящий для этого инструмент. Кроме того, на распределение напряжений в массиве горных пород воздействует множество как природных, так и техногенных факторов, и поэтому более рационально оценивать влияние каждого фактора в отдельности, условно «наращивая» их воздействие в процессе расчетов, для чего также необходимо создавать собственные программы.

Так, например, для изучения распределения напряжений в основании глубокой речной долины, осложненной открытым тектоническим разломом в условиях горизонтального сжатия тектонической силой, или для изучения массива с глубокими разнонаправленными разломами был применен метод граничных элементов, для чего опубликованная в литературе [9] программа нами была усовершенствована созданием добавочного модуля, учитывающего действие гравитационной силы. В результате, например, по первой задаче установлены конфигурация и мощность зоны динамического влияния тектонического разлома и величины перемещений свободной поверхности в условиях действия гравитации и тектонических сил. На том же объекте, путем сравнения напряжений, полученных путем расчета, с определенными экспериментально методами разгрузки, была установлена величина действующей тектонической силы [2].

Плодотворным является и сотрудничество с кафедрой механики композитов. В 1994 г. разработана уникальная программа, позволяющая следить во времени за перемещением зон концентрации интенсивности напряжений, возникающих в горных породах склонов при распространении волн растяжения-сжатия, обусловленных землетрясением [4]. С помощью этой программы изучено изменение напряженного состояния пород склонов долины р. Мзымта в районе строительства олимпийских объектов при прохождении сейсмических волн и произведена оценка их устойчивости [7].

Для изучения деформирования многослойных горизонтально залегающих толщ при откачке флюидов использовалась теоретическая модель М. Био, для реализации которой разработан современный комплекс программ, позволяющий оценивать изменение давлений при откачке нефти и определить вызванное ею развитие оседания поверхности земли во времени [8,14]. С помощью этой программы проводилась оценка оседания на ряде нефтяных месторождений Западной Сибири и других регионов.

Большую роль в перераспределении напряжений играет анизотропия деформационных свойств массивов горных пород. Для её оценки создана программа, основанная на использовании численного метода, разработанного на кафедре механики композитов. С её помощью изучалось влияние залегания слоистых массивов на распределение напряжений в породах склонов [3]. Аналитический метод применен для изучения напряженного состояния анизотропного массива пород, пройденного Кольской сверхглубокой скважиной [13].

Таким образом, в настоящее время с одобрения Е.М. Сергеева на кафедре существует набор программных модулей, с помощью которых можно решать широкий круг задач о напряженно-деформированном состоянии сложно построенных неоднородных массивов горных пород с неровными внешними и внутренними границами и испытывающих влияние внешних природных и техногенных воздействий. Разработанные на кафедре программы используются для решения научных и практических вопросов и в педагогическом процессе.

Литература

1. Калинин Э.В., Гольдштейн Р.В. Опыт применения аналитического метода для оценки напряженного состояния массива горных пород в бортах и основании глубоких речных долин // Вестник МГУ. Серия «Геология». – 1969. – № 5.
2. Калинин Э.В., Мамаев Ю.А., Степанов В.Я. Напряженное состояние массива пород склона в районе Рогунской плотины и опыт оценки тектонических сил. Мат-лы Всес. шк. семинара «Измерение напряжений и их приложение в прогнозе землетрясений». – Изд. Апатиты, 1982.
3. Калинин Э.В., Шешенин С.В. Напряженное состояние анизотропных массивов горных пород // Инженерная геология. – 1991. – № 1.
4. Калинин Э.В., Шешенин С.В., Буяков М.И. Изменение напряженно-деформированного состояния пород, слагающих склоны долин, при сейсмическом воздействии // Вестник Моск. ун-та. Сер. 4. Геология. – 1994. – № 6. – С. 43-48.
5. Калинин Э.В., Ковалко В.А., Могилевцев В.А., Панасьян Л.Л., Сим Л.А., Широков В.Н. Комплексное изучение напряженного состояния массивов горных пород при разведке месторождений полезных ископаемых // Вестник МГУ. Серия «Геология». – 1995. – № 2. – С. 75-89.
6. Калинин Э.В., Панасьян Л.Л., Широков В.Н., Артамонова Н.Б., Фоменко И.К. Моделирование полей напряжений в инженерно-геологических массивах // Издательство Московского университета. – 2003. – 15 п. л.
7. Калинин Э.В., Панасьян Л.Л., Зеркаль О.В. Изменение напряженно-деформированного состояния массивов горных пород при прохождении сейсмических волн // Геоэкология. – М.: Наука, 2004. – № 3. – С. 265-272.
8. Калинин Э.В., Панасьян Л.Л., Артамонова Н.Б. Методика исследований при оценке инженерно-геологических условий нефтяных и газовых месторождений // Инженерная геология. – М.: ОАО «ПНИИИС», ноябрь, 2006. – С. 51-57.
9. С. Крауч, А. Старфилд. Методы граничных элементов в механике твердого тела / Пер. с англ. – М.: МИР, 1987. – 328 с.
10. Панасьян Л.Л., Голодковская Г.А. Исследование структуры поля напряжений с помощью расчётных методов. – М.: Труды Гидропроекта, 1979. – С. 45-56.
11. Панасьян Л.Л. Распределение напряжений в неоднородных массивах горных пород // Вопросы инженерной геологии и грунтоведения. Вып. VI. – М.: Изд. МГУ, 1983. – С. 277-286.
12. Савин Г.Н. Распределение напряжений около отверстий. – Киев: Наукова думка, 1968. – 887 с.
13. Фоменко И.К., Калинин Э.В., Панасьян Л.Л. Оценка поля напряжений в окрестности Кольской сверхглубокой скважины // Результаты изучения глубинного вещества и физических процессов в разрезе Кольской сверхглубокой скважины до глубины 12261 м. МПГК-408. – Апатиты, 2000. – 165-167 с. (на русском и английском языках).
14. Kalinin E.V., Sheshenin S.V., Artamonova N.B., Kiselev F. Numerical investigations of the influences of fluid extraction upon the stress state of rock masses // Engineering Geology and the Environment. – Balkema, Rotterdam, 1997. – P. 725-728.

**ПРЕДВАРИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА
ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ
ТЕРРИТОРИИ СТРОИТЕЛЬСТВА КОЖУХОВСКОЙ ЛИНИИ
МЕТРОПОЛИТЕНА В МОСКВЕ**

**И.В. Козлякова, Н.Г. Анисимова, О.Н. Ерёмина,
И.А. Кожевникова, П.В. Иванов**

Институт геоэкологии РАН им. Е.М.Сергеева, 101000, Москва, Центр,
Уланский пер., 13. E-mail: Kozlyakova@rambler.ru

Современное строительство метро в Москве ведется очень высокими темпами в условиях, когда изыскания, проектирование и строительство идут, чуть ли не одновременно, что существенно увеличивает риск возможного ущерба от проявлений опасных природных процессов. В тоже время территория города обладает очень хорошей геологической изученностью. Оптимизации проектирования и строительства объектов метро должно способствовать проведение предварительной оценки инженерно-геологических условий проектируемых линий. Изучение архивных данных бурения, организованных в ГИС и тематических геологических карт, составленных для территории Москвы [2] позволяет достаточно подробно, оперативно и экономично проанализировать инженерно-геологическую обстановку на участке строительства, выявить существующие геологические проблемы, дать рекомендации по их решению. Такая оценка выполнена для проектируемой Кожуховской линии метрополитена.

Территория строительства расположена в юго-восточном административном округе на третьей надпойменной террасе р. Москвы, только участки станций Ферганская улица и Некрасовка расположены на второй надпойменной террасе. Это район унаследованного развития долины р. Москвы. Глубина залегания кровли каменноугольных отложений вдоль трассы изменяется от 28 – 30 м в районе станции «Авиамоторная» до 65 м вблизи станции «Ферганская улица», где на поверхности каменноугольных отложений прослеживается тальвег Измайловской ложбины – самого крупного из притоков Главной Московской доюрской ложбины. Абсолютные отметки поверхности каменноугольных отложений составляют 120 – 70 м (рис. 1).

Каменноугольный массив на всей исследуемой территории залегает под толщей средне – верхнеюрских песчано-глинистых отложений. Мощность юрской толщи максимальна в районе станции «Ферганская улица» в тальвеге Измайловской ложбины, где она составляет 40 м и более.

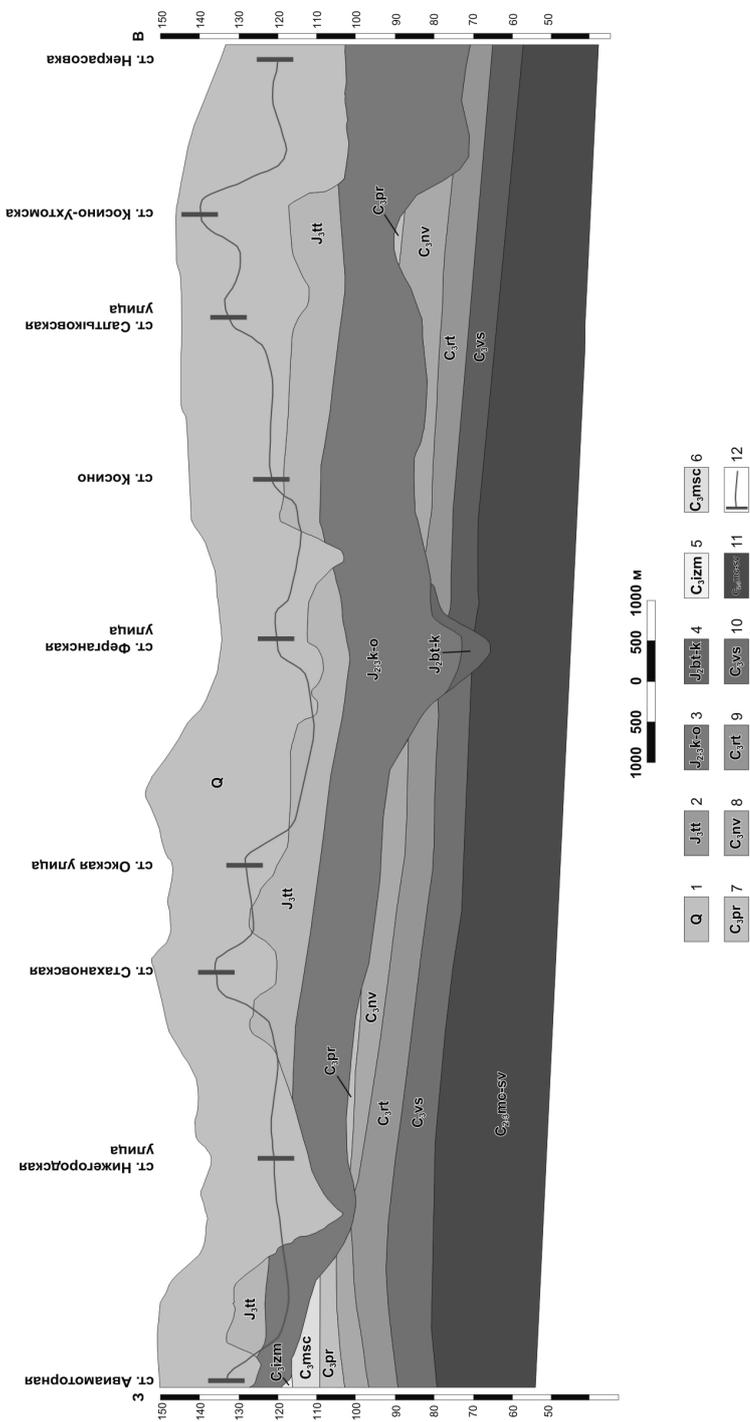


Рис. 1. Схематический геологический разрез территории строительства Кожуховской линии метрополитена.

Условные обозначения:

- 1 – четвертичные отложения, 2 – верхнеюрские отложения титонского яруса, 3 – средне-верхнеюрские отложения келловейского и оксфордского ярусов, 4 – среднеюрские отложения батского и келловейского ярусов. Верхнекаменноугольные отложения:
- 5 – измайловская толща, 6 – мещеринская толща, 7 – перхуровская толща, 8 – неверовская толща, 9 – ратмировская толща, 10 – воскресенская толща, 11 – среднекаменноугольные отложения мячковского горизонта и верхнекаменноугольные отложения суворовской толщи.
- 12 – трасса проектируемого тоннеля

Абсолютные отметки дочетвертичной поверхности, сложенной юрскими песчано-глинистыми породами, изменяются от 132 м на доледниковых водоразделах до 110 – 105 м в тальвегах палеодолин рек Нищенки (ст. Нижегородская улица), Чурилихи (ст. Ферганская улица) и Пехорки (ст. Некрасовка). Четвертичные отложения вдоль трассы имеют преимущественно песчаный состав и мощность 15 – 40 м. Тоннель метрополитена будет проходить в юрских и четвертичных породах, станции планируется размещать в породах четвертичного возраста.

Подземные воды приурочены к известнякам каменноугольного возраста и четвертичным пескам. Воды каменноугольных известняков напорные. Воды четвертичных отложений преимущественно безнапорные. На участках распространения линз и прослоев суглинков формируются локальные напоры. Глубина залегания уровня грунтовых вод изменяется от 7-10 до 1-3 м.

Основные геологические опасности на территории строительства Кожуховской линии метро обусловлены наличием мощной толщи водонасыщенных четвертичных преимущественно песчаных отложений, способных к разжижению и проявлению плавунных свойств. В районе станции Авиаторная возможно развитие и проявление на земной поверхности карстово-суффозионного процесса. В районе станции Ферганская улица и Некрасовка отмечается наличие слабых и специфических грунтов.

Станция Некрасовка расположена в пределах одного из наиболее сложных для строительства участков территории Москвы. С поверхности здесь залегают специфические техногенные грунты – депонированные осадки. Это иловые осадки, обладающие чрезвычайно высокой влажностью (до 300-400%), низкой плотностью, низкими показателями фильтрационных, прочностных и деформационных свойств. Значительное (до 25%) содержание органических веществ вызывает загрязнение грунтовых вод и повышенную биоагрессивность вод и грунтов к строительным материалам. Наличие многочисленных прослоев слабопроницаемых грунтов в толще четвертичных отложений обуславливает существование напорных вод и особой гидродинамической связи между водами в депонированных осадках и горизонтом в залегающих ниже песках [1].

Анализ существующих данных по характеристике инженерно-геологических условий территории строительства с оперативным привлечением материалов изысканий по Кожуховской линии позволил выявить возможные геологические проблемы при строительстве и эксплуатации объектов метро и дать рекомендаций по учету геологических ограничений. Степень благоприятности оценивалась на основании существующих геологических опасностей и возможности использования специальных проектных решений и защитных мероприятий (таблица).

**Пример оценки благоприятности условий строительства и эксплуатации станций Кожуховской линии
на основании предварительного анализа инженерно-геологических условий**

Название станции	Возможные проблемы	Рекомендации по проектным решениям и защитным мероприятиям	Оценка благоприятности условий	
			строительства	эксплуатации
Авиамоторная	Плывные свойства песков, обильные водопритоки. Разжижение песков при динамических нагрузках. Активизация карстово-суффозионных процессов. Разуплотнение и набухание юрских глин.	Возведение стены в грунте с заглублением в юрские глины; организация водопонижения; мониторинг карстово-суффозионных процессов	Условно благоприятные	Условно благоприятные
Ферганская улица	Наличие локальных напоров вод в приповерхностной части разреза. Обильные водопритоки в выработки, высокий УГВ. Разжижение песков, проявление пльвунных свойств. Наличие слабых и агрессивных грунтов.	Стена в грунте нецелесообразна, увеличение глубины заложения приведет к дополнительным трудностям вследствие фациальной изменчивости четвертичных грунтов	Неблагоприятные	Условно благоприятные
Косино	Наличие локальных напоров подземных вод в литонских грунтах. Обильные водопритоки в выработки, высокий УГВ. Разжижение песков, проявление пльвунных свойств. Разуплотнение и набухание юрских глин.	Возможно устройство стены в грунте с заглублением в юрские глины при организации водоупорных мероприятий	Благоприятные	Благоприятные
Некрасовка	Значительная мощность слабых грунтов в верхней части разреза, высокая агрессивность грунтов и подземных вод, чрезвычайная сжимаемость техногенных грунтов. Существенная фациальная изменчивость четвертичных грунтов. Обильные водопритоки в выработки. Разжижение песков, проявление пльвунных свойств. Одновременная застройка прилегающей территории.	Необходимо составление комплексной программы изысканий и строительства для всей территории, проектирование мероприятий по замене или утилизации депонированных осадков. При строительстве стены в грунте	Неблагоприятные	Неблагоприятные

На основании выполненных исследований разработаны предложения для включения в техническое задание на инженерно-геологические изыскания и рекомендации по оценке опасных процессов, проведению опытно-фильтрационных работ, геофильтрационного моделирования, организации геотехнического мониторинга, применению защитных мероприятий и специальных проектных решений.

Литература

1. Куринов М.Б., Лехов А.В., Широков В.Н. Массивы депонированных осадков как один из объектов инженерной геологии // Сергеевские чтения. Выпуск 3. Материалы годичной сессии Научного совета РАН по проблемам геоэкологии, инженерной геологии и гидрогеологии (22-23 марта 2001) – М.: ГЕОС, 2001. – С. 27-29.
2. Осипов В.И. Крупномасштабное геологическое картирование территории г. Москвы // Геоэкология. – 2011 – №3. – С. 195-197.

ГЕОКРИОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ ФЕДЕРАЛЬНОЙ АВТОДОРОГИ «АМУР» ЧИТА – ХАБАРОВСК

В.Г. Кондратьев, С.В. Кондратьев

ТрансИГЭМ, 125008, Москва, Б. Академическая, 47-1-73. E-mail: v_kondratiev@mail.ru

Федеральная автодорога «Амур» Чита – Хабаровск, завершённая строительством в сентябре 2010 г. и имеющая для России важнейшее стратегическое значение [1], испытывает всё возрастающее разрушительное воздействие инженерно-геокриологических процессов и явлений (рис. 1).



Рис. 1. Состояние автодороги «Амур» на 247 км, 21 мая 2013 г.

Об опасности их и необходимости своевременной защиты автодороги при её проектировании и строительстве говорилось и писалось многократно [2,3], в том числе и на Сергеевских чтениях, но безрезультатно – ссылались на нехватку денег. Теперь деньги в Росавтодоре есть, много денег¹, а дорога становится всё хуже и хуже².

Федеральная автодорога «Амур» Чита – Хабаровск, протяженностью 2165³ км, строилась 32 года и обошлась государству в 200 млрд. руб. На трассе имеются районы с очень сложными, относительно сложными и относительно простыми инженерно-геокриологическими условиями, определяемыми в основном наличием и льдистостью многолетнемерзлых пород, их просадочностью при оттаивании, а также пучинистостью при промерзании сезонно-талых и сезонно-мерзлых пород.

При строительстве и первых лет эксплуатации дороги произошли существенные изменения мерзлотной обстановки на её трассе и возникли неблагоприятные инженерно-геокриологические процессы и явления: термокарст, пучение, солифлюкция, термоэрозия, наледи и др., разрушающие дорогу и создающих предпосылки к снижению безопасности дороги. Уже в год завершения строительства дороги 263 км (12,1%) нуждались в капитальном ремонте, а около 400 км (18,5%) – в реконструкции⁴, иными словами, проектная скорость движения автомобилей 100 км/час почти на трети протяженности только что сданной в постоянную эксплуатацию дороги не обеспечена. Не зря В.В. Путин назвал её «хорошей проселочной дорогой», проехав в августе 2010 г. от Хабаровска до Читы.

Прошло 3 года, дорога стала ещё хуже. Стремительно растёт количество мест с просадками земляного полотна, вызываемыми оттаиванием (деградацией) многолетнемерзлых грунтов в основании дороги.

По данным ФКУ «Упрдор «Забайкалье» (табл. 1) на Забайкальской части автодороги «Амур» в 2011 г. было 68 просадочных мест, их устраняли силами подрядных организаций в рамках гарантийных обязательств.

В 2012 г. таких мест стало в 5 раз больше – 327 и на их устранение дополнительно было потрачено 34265 тыс. руб. На июнь 2013 г. насчитывалось 330 мест с просадками дороги, затраты составили 11738,8 тыс. руб. При этом затраты на ремонт 1 м² выросли с 838 руб. в 2012 г. до 950 руб. К концу года затраты будут значительно больше, поскольку основной объём дорожных работ обычно выполняется во 2 полугодии.

¹ 288,95 млрд. руб. в 2011 г., 335 млрд. руб. в 2012 г. и 408 млрд. руб. в 2013 г. При этом затраты на содержание и ремонт дорог растут быстрее, чем в целом бюджет Росавтодора. Например, по плану 2013 г. они в 1,48 раз больше, чем в 2012 г.

² Вот, один из отзывов о дороге на сайте г. Читы за 14.11.2012 г.: «Если в позапрошлом году можно было ездить спокойно, в прошлом уже с опаской, то в этом знак "тильки" на каждом километре и "Амурские волны" становятся все больше и чаще. Года через два там можно будет ездить только на внедорожниках».

³ По уточненным данным – 2112, 588 км.

⁴ Из интервью директора ФГУ ДСД «Дальний Восток» Швецова В.А., опубликованного 10.02.2010 г. на сайте Росавтодора/

Таблица 1

**Развитие просадок земляного полотна и затраты на их устранение
на Забайкальском участке автодороги «Амур» Чита-Хабаровск, км 0 – км 794
(741+588) в 2011-2013 гг. (по данным ФКУ «Упрдор «Забайкалье»)**

Год	2011	2012	2013, июль
Количество зафиксированных просадок, шт.	68	327	330
Общая площадь просадок, м ²	-	103159	103960
Площадь устраненных просадок, м ²	Просадки устранялись по гарантиям строителей	40874	12356,6
Затраты на устранения просадок, тыс. руб.		34265	11738,8
Затраты на устранения 1 м ² просадок, руб.	-	838	950

Примечания: 1. Кроме того систематически выполняются работы по восстановлению ровности покрытия в рамках текущего содержания дороги. 2. По состоянию на июль 2013 г. было выявлено 330 просадок, устранено 111, осталось 119. На устранение просадок дополнительно на 2013 г. затребовано 51610,6 тыс. руб.

Таблица 2

**Ремонты автодороги «Амур» Чита-Хабаровск на Амурском участке,
км 794 (741+588) – км 1811 (1752+205) в 2010-13 гг.
(по данным ФКУ ДСД «Дальний Восток»)**

Год	Отремонтировано, км		Стоимость ремонтов, тыс. руб.			
	Всего		общая			
	капремон- том	ремон- том	капремонта		ремонта	
			всего	1 км	всего	1 км
2010	12,406		131643,433			
	7,806	4,600	113811,430	14579,993	17831,003	3876,6522
2011	27,715		694023,990			
	23,015	4,7	645194,780	28033,664	48829,210	10389,194
2012	51,301		952416,790			
	10,301	41	330933,640	32126,845	621478,150	15158,004
2013	86,603		2524852,847			
	75,823	10,780	2388805,987	31505,031	136046,680	12620,302
Всего за 2010-13	178,025		4302937,060			
	116,945	61,080	3478750,837	297466,891	824186,223	13493,553

Аналогичная ситуация и на Амурской части дороги «Амур». По данным ФКУ ДСД «Дальний Восток» (табл. 2) за период с 2010 по июнь 2013 г. ремонтировали 178,025 км, затраты составили 4302937,06 тыс. руб.

Надежды Росавтодора на гарантийные обязательства строителей, выданные на 3 года, рухнули – стало очевидно, что просадки земляного полотна – это не мелкие недоделки строителей, а системные просчеты Росавтодора

и проектировщиков дороги: трасса автодороги «Амур» проходит по территории с вечной мерзлотой и глубоким сезонным промерзанием грунтов, а необходимого геокриологического обоснования изысканий, проектирования и строительства автодороги не было. Отсутствие надлежащей геокриологической информации часто приводило либо к недооценке опасности возможных инженерно-геокриологических процессов и явлений и применению ненадежных технических решений и конструкций элементов дороги, либо, наоборот, к переоценке такой опасности и применению излишне дорогостоящих и длительных по исполнению технических решений и конструкций [3].

Сейчас Росавтодор пытается остановить разрушение автодороги «Амур» криогенными процессами: в спешном порядке проводятся дополнительные изыскания и разработка стабилизационных мероприятий, ведутся разговоры об организации опытных стационаров, привлечении американцев, проводятся заседания техсоветов и отдельных секций ...

Так, в июле 2013 г. в Росавтодоре состоялось заседание научно-технического совета, где ФКУ «Упрдор «Забайкалье», ФКУ ДСД «Дальний Восток», ОАО «Иркутскгипродорнии» и др. докладывали по проблеме стабилизации деформирующихся участков автодороги «Амур». Заседание готовилось 5 месяцев, на него возлагались большие надежды.

Что же предложил Иркутскгипродорнии по рекомендациям ООО «Сибиндор» и Института мерзлотоведения СО РАН? Арсенал технических решений невелик (табл. 3).

Предложенные Иркутскгипродорнии мероприятия (типы 1-6), рекомендованные ООО «Сибиндор» и Институтом мерзлотоведения СО РАН, бесполезны, а первые 3 – вредны. Приоткосные бермы (типы 1-3) окажут противоположное действие – увеличат чашу оттаивания многолетнемерзлых грунтов и вызовут дополнительные просадки дороги. Это подтверждено 40-летним опытом БАМ, где также пытались бороться с просадками земляного полотна с помощью берм. Водоотводные лотки или валики не спасут ситуацию. Применение криогеля (тип 4) или сухобетонной смеси (тип 5) не может прекратить деградацию многолетней мерзлоты, поскольку асфальтированная дорога будет по-прежнему прогреваться солнечной радиацией, а снежный покров на обочинах и откосах насыпи, а также в канавах будет препятствовать охлаждению их зимой – деформации будут продолжаться. Применение одиночных СОУ, устанавливаемых через 3 м вдоль дороги, не может прекратить деградацию многолетней мерзлоты в её основании дороги, вследствие их локального влияния – деформации будут продолжаться. Об этом свидетельствует 10-летний опыт их применения на Тибете и 25-летний на БАМе.

Тем не менее, предлагается применить эти мероприятия для стабилизации 72,66 км земляного полотна, посчитана стоимость мероприятий – 2 943 836 490 руб. Стоимость ремонта 1 м дороги в среднем – 40515 руб. Всего же Росавтодор планирует затратить на ремонт просадочных мест автодороги «Амур» 1,7 млрд. руб. в течение ближайших 3 лет.

Таблица 3

**Мероприятия по предотвращению деформаций земляного полотна автодороги
«Амур», предложенные ОАО «Иркутскгипродор»**

Тип	Мероприятие	Дефекты земляного полотна и покрытия	Условия применения	Замечания*
1	Приоткосные бермы из суглинистого грунта с каменным заполнителем	Просадки обочин и откосов, продольные трещины на покрытии и обочине	Льдонасыщенные грунты в основании насыпи. Верхний горизонт многолетней мерзлоты (ВГММ) вошел в насыпь. Поверхностный водоотвод обеспечен.	Зачем бермы из суглинка при обеспеченном водоотводе?
2	Приоткосные бермы из суглинистого грунта с каменным заполнителем, водоотводный лоток из геомембраны	Просадки, продольные и поперечные трещины, сетка трещин	Льдонасыщенные грунты в основании насыпи. ВГММ понизился под насыпью. Замена и осадка грунтов при строительстве.	Зачем бермы из суглинка при водоотводном лотке?
3	Приоткосные бермы и водоотводные валики из суглинистого грунта с каменным заполнителем	Те же	Насыпи на косогоре, фильтрация воды в откос насыпи.	Зачем бермы из суглинка при водоотводном валике?
4	Укрепление грунтов основания криогелем	Просадки, волны, продольные и поперечные трещины на покрытии	Переувлажненные, сильнольдистые, недренирующие грунты. Наличие водотока.	Как закачать криогель в недренирующие грунты? Не остановит деградацию многолетней мерзлоты.
5	Укрепление грунтов основания сухобетонной смесью	Те же	Переувлажненные, сильнольдистые, недренирующие грунты. Наличие водотока.	Не остановит деградацию многолетней мерзлоты.
6	Сезонноохлаждающие устройства (СОУ)	Те же	Лед или сильнольдистые грунты в основании насыпи	Локальное воздействие в радиусе 3-4 м
7	Солнцеосадкозащитные навесы	Те же	Переувлажненные и сильнольдистые просадочные грунты.	

*Замечания авторов статьи

Только солнцеосадкозащитные навесы (тип 7), рекомендованных НПП «ТрансИГЭМ», могут быть полезны, поскольку доказали свою эффективность на Аляске [7], Тибете [6] и на БАМе [4]. Их эффективность обусловлена предотвращением поступления прямой солнечной радиации и теплых летних осадков на поверхность защищаемого массива грунта и усилением теплоотдачи из него зимой, поскольку под навесом не формируется снежный

покров [4]. Стоимость же навеса, как показал опыт БАМ, в 20-25 раз меньше стоимости берм из скального грунта. В арсенале ТранСИГЭМ имеются и другие эффективные решения для земляного полотна на льдистых многолетне-мерзлых грунтах [4].

Для обеспечения устойчивости и надежности автодороги «Амур» необходимы: систематический контроль их динамики и криогенного воздействия на элементы дороги, осуществление защитных мероприятий. Наиболее эффективно это возможно в рамках системы инженерно-геокриологического мониторинга автодороги «Амур» (СИГМА «Амур») [5].

Чем раньше будет создана СИГМА «Амур», тем более надежной и безопасной будет дорога «Амур», тем меньше будут непроизводительные расходы при ее эксплуатации. Без этого дорога обречена на перманентный ремонт, постоянные ограничения скорости движения автомобилей и колоссальные финансовые и материальные потери государства и населения.

Литература

1. *Иванов Н.Ф.* «Амур» собирает Россию. – М.: Информавтодор, 2003. – 200 с.
2. *Кондратьев В.Г.* Не повторить ошибок БАМа // Дороги России XXI века. – 2003. – № 5. – С. 17-19.
3. *Кондратьев В.Г.* Федеральная автодорога «Амур» Чита-Хабаровск как повторение ошибок БАМа // Мир дорог. – 2008, май. – № 34. – С. 2-5.
4. *Кондратьев В.Г.* Стабилизация земляного полотна на вечномерзлых грунтах. – Чита: Забтранс, 2011.
5. *Кондратьев В.Г., Соболева С.В.* Концепция системы инженерно-геокриологического мониторинга автомобильной дороги «Амур» Чита-Хабаровск. – Чита: Забтранс, 2010. – С. 176.
6. *Feng Wenjie, Wen Zhi, Sun Zhizhong & Wu Junjie*, 2009. Application and Effect Analysis of Awning Measure on Cold Regions. Proceeding of the Eighth International Symposium on Permafrost Engineering. 15-17 October, 2009, Xi'an, China. Pp. 148-160.
7. *Zarling J.P. and Breley A.W.* Thaw stabilization of roadway embankments constructed over permafrost. Report NO FHWA-AK-RD-81-20, 1986.

РАЗВИТИЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЙ Е.М. СЕРГЕЕВА О ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ СРЕДЕ И ЕЁ РОЛИ В РЕШЕНИИ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ПРОБЛЕМ

В.А. Королёв

Геологический факультет МГУ им. М.В.Ломоносова; 119234. Россия, Москва, ГСП,
Воробьевы горы, МГУ. E-mail: korolev@geol.msu.ru

Научное понятие «геологическая среда» (ГС) прочно вошло в широкий оборот не только в инженерной геологии, но и в геологии вообще, а также и в других (не геологических) науках: географии, экологии (включая геоэкологию), экономике и социальных науках. Однако определение этого понятия

формировалось не просто, его трактовка часто давалась чрезвычайно широко, а порой просто вольно, в результате чего эта категория стала рассматриваться как термин «свободного пользования» [25].

История понятия. Одно из ранних определений термина «геологическая среда» было дано В.И.Поповым еще в 1954 г., рассматривающим ГС как пространство, в котором происходит геологическое движение материи: «ГС – совокупность всех развивающихся геологических тел, непосредственно с ним взаимодействующих, включая и само это тело» [9]. В широком геологическом смысле ГС – это пространство, в котором осуществляется геологическое движение материи.

В 1960-1970-е г. представления о геологической среде формировались под влиянием работ академиков А.П.Виноградова, А.В.Сидоренко, а также В.Д.Ломтадзе, Ф.В.Котлова, Г.К.Бондарика и Е.М.Сергеева.

В.Д.Ломтадзе в 1977 г. понимал под ГС окружающие нас геологические условия [6,7]. Он писал: «Геологическая среда – территория с ее рельефом, геологическими образованиями, процессами и явлениями. Геологическая среда – окружающие нас геологическая обстановка, условия. Геологическую среду не следует смешивать с зоной влияния сооружений, инженерных работ и технологических процессов, которая изменяется и регулируется разумом человека» [7, с. 70].

В 1978 г. Ф.В.Котлов издал монографию «Изменение геологической среды под влиянием деятельности человека». Его книга имела и имеет большое значение, поскольку в ней с позиций инженерной геологии впервые были обобщены представления об особенностях геологической среды в эпоху техногенеза. Также он впервые сформулировал закономерности изменения геологической среды на городских территориях.

Но наиболее весомый вклад в определение понятия «геологическая среда» внес академик Е.М.Сергеев.

Развитие Е.М.Сергеевым представлений о геологической среде. Уже в 1978 г. Е.М.Сергеев рассматривал инженерную геологию как науку, «изучающую земную кору как среду жизни и деятельности человека» [17]. Между тем наука, изучающая взаимодействие организма со средой его обитания, – это экология. Но тогда, в 1978 г. Е.М.Сергеев еще не говорил прямо о роли геологической среды в решении экологических проблем, почти не упоминал и сам термин «экология». Хотя позже все к этому шло. При этом в учебнике «Инженерная геология» 1978 г. он одновременно писал, что инженерная геология «все в большей и большей степени становится наукой о ноосфере». В этом тезисе нашли отражение идеи Е.М.Сергеева о будущем развитии инженерной геологии в связи с представлениями о ноосфере, высказанные им впервые еще в 1971 г. [14].

В 1978 г. Е.М.Сергеев писал: «Под геологической средой мы понимаем верхнюю часть земной коры, как взаимосвязанную систему, включающую горные породы, воду, газы и живые организмы, в пределах которой под воздействием человека изменяются природные геологические или возникают новые инженерно-геологические (антропогенные) процессы и явления» [22].

Отсюда верхней границей ГС является поверхность земли, а нижней – глубина воздействия человека на земную кору.

Е.М.Сергеев рассматривал ГС как открытую, динамичную систему, реакция которой на инженерно-хозяйственные мероприятия зависит как от строения самой ГС, так и характера воздействий на неё.

В 1979 г. в статье, посвященной геологической среде, он дал такое ее определение: «любые горные породы и почвы, слагающие верхнюю часть литосферы, которые рассматриваются как многокомпонентные системы, находящиеся под воздействием инженерно-хозяйственной деятельности человека, в результате чего происходит изменение природных геологических процессов и возникновение новых антропогенных процессов, что в свою очередь вызывает изменение инженерно-геологических условий определенной территории» [24].

При этом Е.М.Сергеев рассматривал инженерную геологию как одну «из центральных наук нового научного направления в геологии – геологии окружающей среды» [13,с.5]. Опираясь на работы А.В.Сидоренко (1967) об окружающей среде, Е.М.Сергеев в 1981 г. подчеркивал, что «основной задачей геологии окружающей среды будет являться всестороннее изучение одного из ее компонентов – геологической среды как пространства, относящегося к природным ресурсам и находящегося под воздействием человека» [13,с.5]. Далее он однозначно писал, что «дальнейшие перспективы развития инженерной геологии тесно связаны с проблемами окружающей среды» [13,с.6].

Согласно определению 1982 г. Е.М.Сергеев «под геологической средой понимаются любые горные породы и почвы, слагающие верхнюю часть разреза литосферы, которые рассматриваются как многокомпонентные системы, находящиеся под воздействием инженерно-хозяйственной деятельности человека, что приводит к изменению природных геологических процессов и возникновению новых антропогенных (инженерно-геологических) процессов, изменяющих инженерно-геологические условия определенной территории».

В 1983 г. Е.М.Сергеев давал такое определение ГС: «Геологическая среда – верхняя часть литосферы, которая рассматривается как многокомпонентная динамичная система, находящаяся под воздействием инженерной деятельности человека, и которая, в свою очередь, в известной степени определяет эту деятельность» [10]. Данный термин отражал специфику верхних горизонтов литосферы как *среды жизни и деятельности человека*, и ему стал придаваться антропоцентрический смысл. Понятие о ГС было обобщено Е.М.Сергеевым и др. в 1985 г. монографии «Теоретические основы инженерной геологии» [23].

В 1988 г. он писал: «Сейчас воздействие человечества на литосферу носит глобальный характер, и поэтому в ее верхней части наряду с природными не меньшее значение имеют техногенные геологические процессы. Верхняя часть литосферы является одной из компонент окружающей среды, это геологическая среда, которая должна рассматриваться как естественно-социальное образование» [21].

Введение в научный оборот такого понимания термина «геологическая среда» имело огромное принципиальное значение не только для инженерной геологии. Это понятие, как показал Е. М. Сергеев [23], не укладывается в рамки только одной геологической науки. Оно тесно связано со спецификой развития человеческого общества – взаимодействием литосферы как части природы и общества, взаимопроникновением естественного и социального.

Дальнейшее развитие представлений о геологической среде. Под влиянием работ Е.М.Сергеева о ГС [11,12,15,16,18-20] многими его учениками развивались представления о геологической среде в различных аспектах. Так, например, это нашло свое отражение в монографии Г.А.Голодковской и Ю.Б.Елисеева [1], работах В.К.Епишина, В.Т.Трофимова и др. [2,26], В.А.Королева [3,4] и многих др. Широкое обсуждение проблем геологической среды и её рационального использования и охраны состоялось в 1988 г. на I-ом Всесоюзном съезде инженер-геологов, гидрогеологов и геокриологов в Киеве. Геологическая среда стала рассматриваться как эволюционирующее образование, обозначились теоретические и практические проблемы, связанные с необходимостью познания законов ее функционирования и эволюции в эпоху техногенеза.

Одновременно были сформированы представления *о вещественных компонентах* геологической среды: массивах грунтов с развитыми в них геологическими и инженерно-геологическими процессами, подземных водах, рельефе, геокриологических особенностях и др. Но главная особенность геологической среды в вещественном отношении как подсистемы гидролитосферы заключается не в её комплексности, а в том, что в ней наряду с естественным распространено «вещество» техногенное (антропогенное). Оно является или продуктом функционирования технических систем, или же собственно веществом объектов техносферы. Эта особенность в вещественном отношении служит тем признаком, который оправдывает выделение геологической среды в особую категорию.

Наряду с вещественными компонентами также стали выделяться и *энергетические компоненты* геологической среды. Так, например, В.И.Осипов дал следующее определение ГС: «геологическая среда – это окружающие нас природные и измененные человеком геологические образования и поля, такие, как рельеф, горные породы, почвы, воды, полезные ископаемые, разные геофизические поля, эндогенные и экзогенные процессы, которые являются минеральной (жизнеобеспечивающей) основой биосферы и влияют на условия существования и деятельности человека» [8].

Включение в ГС рассмотрения различных геофизических полей также имело важное значение, поскольку природные геофизические поля под влиянием техногенеза существенно искажаются, а наряду с ними в пределах ГС создаются новые, антропогенные геофизические поля разной природы: температурное, электромагнитное, вибрационное, акустическое, радиационное и т.п.

Современные представления о геологической среде. Эволюция представлений о геологической среде и современная трактовка этого термина

связана с возрастающей ролью геологической среды в решении насущных экологических проблем. Современные представления о геологической среде исходят из идеи Е.М.Сергеева о том, что геологическая среда, как важнейший компонент окружающей среды, играет особое значение для ее охраны и рационального использования. Не применяя открыто термин «экология», Е.М.Сергеев в вопросах «охраны и рационального использования геологической среды» по существу имел в виду именно ее роль в решении экологических проблем.

В широком смысле геологическая среда в настоящее время стала рассматриваться как литогенная основа различных экосистем, как природных, так и природно-техногенных [3,8,18,25]. Во многих экологических словарях и методических руководствах понятие «геологическая среда» рассматривается как часть недр, в пределах которой протекают процессы, влияющие на жизнедеятельность человека и другие биологические сообщества. При этом если раньше геологическая среда рассматривалась лишь с антропоцентрической точки зрения, то позже и в настоящее время ее трактовке стала придаваться биоцентрическая направленность [8,27]. Геологическая среда анализируется не только как одна из сред жизнедеятельности человека, но и как среда обитания других организмов, а следовательно – как компонент экосистем. Экосистемный подход к анализу геологической среды в настоящее время разрабатывается в рамках современной геоэкологии и экологической геологии, что является наиболее существенным развитием идей Е.М.Сергеева о роли геологической среды в решении экологических проблем.

Представления о геологической среде и ее роли в решении экологических проблем нашли свое отражение в работах В.Т.Трофимова и его коллег по изучению экологических функций литосферы [28,29]. Проведенный ими анализ трансформации экологических функций верхних горизонтов литосферы на техногенно освоенных территориях существенно расширил наши представления об особенностях геологической среды в эпоху техногенеза [29]. Наряду с этим в последние двадцать лет активно разрабатывается важное экологическое направление по обоснованию методов и технологий очистки геологической среды от токсичных загрязнений [5].

Наряду с этим в последнее время представления о геологической среде приобрели не только экологический, но и ноосферный смысл, связанный с особенностями геаноогенеза. Так, например, придавая определению термина ГС, новую, ноосферную трактовку, В.Т.Трофимов и В.А.Королев в 2013 г. дали такую формулировку: «ГС – область верхних горизонтов литосферы, находящаяся в прошлом, настоящем или будущем во взаимодействии с инженерно-хозяйственной деятельностью человека, качественно и количественно эволюционирующая во времени, являющаяся компонентом природных и природно-технических экосистем и возможным элементом геаноогенеза» [27]. В таком широком по содержанию определении понятие ГС может использоваться в разных науках, в том числе и экологически ориентированных.

Таким образом, представления о геологической среде за последние 50 лет претерпели существенное развитие: на первом этапе они разрабатыва-

лись лишь с инженерно-геологических позиций; затем им придавался более широкий смысл, связанный с рациональным использованием и охраной геологической среды; на современном этапе эти представления развиваются с экологических и экосистемных позиций.

Литература

1. *Голодковская Г.А., Елисеев Ю.Б.* Геологическая среда промышленных регионов. – М., Недра, 1981.
2. *Епишин В.К., Трофимов В.Т.* Геологическая среда и инженерные сооружения – сложные природно-технические системы // Теоретические основы инженерной геологии. Социально-экономические аспекты / Под ред. акад. Е.М.Сергеева – М.: Недра, 1985. – С. 32-45.
3. *Королев В.А.* Мониторинг геологической среды / Уч. для вузов. – М.: Изд-во МГУ, 1995.
4. *Королев В.А., Николаева С.К.* Геоэкологическая оценка зон влияния инженерных сооружений на геологическую среду // Геоэкология. – 1994. – № 5. – С. 25-37.
5. *Королев В.А.* Очистка грунтов от загрязнений. – М.: МАИК «Наука/Интерпериодика», 2001.
6. *Ломтадзе В.Д.* Инженерная геология. Инженерная геодинамика. – Л.: Недра, 1977.
7. *Ломтадзе В.Д.* Геологический словарь – СПб.: Изд-во СПб ГУ, 1999.
8. *Осипов В.И.* Геоэкология – междисциплинарная наука об экологических проблемах геосфер // Геоэкология. – 1993. – № 1. – С. 4-18.
9. *Попов В.И.* Состояние и задачи изучения осадочных формаций / Совещ. по осадочным породам. – М.: АН СССР, 1952. – Вып. 1. – С. 59-87.
10. *Сергеев Е.М.* Воздействие человека на литосферу и задачи инженерной геологии // Вопросы инженерной геологии и грунтоведения. – М., 1983. – Вып. 5. – С. 4-15.
11. *Сергеев Е.М.* Воздействие человека на литосферу, понятие «геологическая среда» // Инженерно-геологические аспекты рационального использования и охраны геологической среды. – М., 1981. – С. 11-36.
12. *Сергеев Е.М.* Геологическая деятельность человека // Вестник АН СССР. – 1979. – № 5. – С. 18-23.
13. *Сергеев Е.М.* Достижения советской инженерно-геологической науки за последние годы и задачи на ближайший период // Инж. Геология. – 1981. – № 1. – С. 3-10.
14. *Сергеев Е.М.* Еще раз об инженерной геологии / Пути дальнейшего развития инженерной геологии. – М.: Изд-во МГУ, 1971. – С. 117-123.
15. *Сергеев Е.М.* и др. Инженерная геология, гидрогеология; рациональное использование геологической среды // Известия АН СССР. Сер. геол. – 1987. – № 11. – С. 23-30
16. *Сергеев Е.М.* Инженерная геология и охрана окружающей среды // Вестник МГУ. Сер. 4. Геология. – 1979. – № 6. – С. 75-85
17. *Сергеев Е.М.* Инженерная геология: Уч. для вузов. – М.: Изд-во МГУ, 1978.
18. *Сергеев Е.М.* Проблемы инженерной геологии в связи с задачами рационального использования и охраны геологической среды // Проблемы рационального использования геологической среды: Сб. науч. тр. – М., 1988. – С. 5-21
19. *Сергеев Е.М.* Проблемы инженерной геологии в связи с охраной и рациональным использованием геологической среды // Вестник МГУ. Сер. 4. Геология. – 1987. – № 5. – С. 77-86.
20. *Сергеев Е.М.* Проблемы охраны геологической среды Москвы // Вестник АН СССР. – 1981. – № 7. – С. 117-120.
21. *Сергеев Е.М.* Развитие инженерной геологии в Московском университете // Вестник МГУ. Сер. 4. Геология. – 1988. – № 1. – С. 44-54.
22. *Сергеев Е.М., Голодковская Г.А., Терешков Г.М.* и др. Карты изменения геологической среды как основа региональных инженерно-геологических прогнозов // Вестник МГУ. Сер. 4. Геология. – 1978. – № 5. – С. 3-13.

23. *Сергеев Е.М., Трофимов В.Т.* Геологическая среда как часть окружающей среды // Теор. основы инж. геологии. Социально-экономич. аспекты / Под ред. акад. Е.М.Сергеева – М.: Недра, 1985. – С. 27-31.
24. *Сергеев Е.М.* Инженерная геология – наука о геологической среде // Инж. геология. 1979. – № 1. – С. 3-19
25. *Трофимов В.Т.* Геологическая среда // Базовые понятия инженерной геологии и экологической геологии. 280 основных терминов / Колл. авт.: Трофимов В.Т., Королев В.А., Харьковина М.А. и др. // Под ред. В.Т.Трофимова. – М.: ОАО «Геомаркетинг», 2012.
26. *Трофимов В.Т., Герасимова Н.С., Красилова Н.С.* Устойчивость геологической среды и факторы ее определяющие // Геоэкология. – 1994. – № 2. – С. 18-28.
27. *Трофимов В.Т., Королев В.А.* Геологическая среда как ноосферная категория / VI-е научные чтения Н.Я. Денисова. К 150-летию со дня рождения В.И. Вернадского. – М.: МГСУ, 2013. – С. 4.
28. *Трофимов В.Т., Зилинг Д.Г.* Экологическая геология: Учебник. – М.: Геоинформмарк, 2002.
29. *Трофимов В.Т., Зилинг Д.Г., Барабошкина Т.А. и др.* Трансформация экологических функций литосферы в эпоху техногенеза: Учеб. пособие. – М.: Изд-во «Ноосфера», 2006.

ОПЫТ ИНЖЕНЕРНО-ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ИЗЫСКАНИЙ В РАЙОНЕ МЕСТОРОЖДЕНИЯ БАЛТА-ТАУ

А.А. Котович, О.М.Гуман, И.А. Антонова, А.Б. Макаров

ООО «Уралгеопроект», г. Екатеринбург, ул.Куйбышева 30, а/я 11.
E-mail: guman2007@mail.ru

Техногенез приводит как к изменению рельефа планеты, так и к образованию новых антропогенных источников миграции химических элементов. Техногенез проявляется через взаимодействие человеческой деятельности и геологической среды, преобразуя верхнюю часть земной коры. В пределах Уральского региона техногенез является одним из ведущих современных геологических процессов. Главными толчками развития техногенеза являются индустриализация и урбанизация. Преимущественно, процесс техногенеза проявляется на Урале в виде многочисленных горных предприятий по добыче полезных ископаемых.

В настоящее время направление инженерных изысканий обусловлено историей освоения региона. Значительная часть месторождений в Уральском регионе уже отработана, их техногенные системы находятся в относительно стационарном состоянии, однако исследование данных систем только начинается. Природные месторождения до этапа отработки не оказывают существенного влияния на компоненты окружающей природной среды [3]. Авторы попытались охарактеризовать процессы, протекающие в техногенной системе «карьер-отвал» на отработанном колчеданном медно-цинковом месторождении на примере Балта-Тау.

Отработанные карьеры способствуют значительным изменениям гидрологического и гидрогеологического режимов прилегающей территории, которые приводят к существенным колебаниям уровней поверхностных и подземных вод, вплоть до истощения водного горизонта; вызывают активизацию инженерно-геологических процессов, необратимые нарушения в плодородном слое почвы, приводящие к её деградации и гибели растительности. Подобные изменения могут охватывать территории до 25 раз превышающие площадь карьеров. В связи с этим возникает необходимость тщательного инженерно-экологического изучения прикарьерных территорий и пространств с целью наиболее эффективной защиты и ландшафтного обустройства элементов рельефа и гидрографической сети (логов, оврагов, водотоков), а также борьбы с эрозией и другими процессами инженерно-геологического и гидрометеорологического происхождения.

Месторождение Балта-Тау находится на территории Хайбулинского района республики Башкортостан. Карьер располагается в 61 км к юго-западу от г. Сибай.

По природным условиям территория месторождения относится к степной ландшафтной зоне недостаточного увлажнения. Почвы в районе месторождения относят к высокопродуктивным, основная часть территории распашана и занята под сельское хозяйство.

Месторождение Балта-Тау расположено в центральной части Баймакского рудного района, в пределах западного крыла Магнитогорского мега-синклинория в пределах Восточно-Баймакской структурно-металлогенической подзоны Таналыкского поднятия, на площади развития пород ирендыкской свиты. Месторождение представлено золото-медно-цинковым колчеданным промышленным типом руд со следующими преобладающими рудными минералами: самородное серебро и золото, сфалерит (ZnS), халькопирит ($CuFeS_2$), пирит (FeS_2).

Продуктивным водоносным горизонтом, залегающим до глубины 130 м от поверхности земли, является водоносный горизонт зоны региональной трещиноватости и трещинно-жильные воды в эффузивных, пирокластических и пирокласто-осадочных породах ирендыкской свиты ниже-среднедевонского возраста.

Месторождение Балта-Тау отрабатывалось с 1992 г. открытым способом с внешним отвалообразованием, в результате чего в природный рельеф были привнесены элементы системы «карьер-отвал». Сформированный карьер на момент инженерных изысканий имел размеры: по дну -90×50 м, по поверхности – 510×455 м. Глубина карьера составляет 130 м. На восточном борту карьера месторождения располагается отвал вскрышных пород карьера «Восточный», который состоит из двух участков – скальной и глинистой вскрыши. Общая площадь отвалов составляет 6,2 млн. м³. Работы в карьере прекращены в 2003 г. На данный момент месторождение находится на регрессивной стадии техногенеза [2].

На момент выполнения инженерно-экологических изысканий на площади отработанного месторождения сформирован горнопромышленный тех-

ногенный ландшафт, представленный геотехногенной системой «карьер – отвал», который привел к преобразованию природного рельефа, появлению новых положительных (отвалы и насыпи) и отрицательных (карьеры, траншеи, канавы, отстойники) антропогенных форм рельефа.

Во время отработки карьера на территории образовалась обширная депрессионная воронка, которая способствует осушению почв территории, их засолению и деградации; сработке эксплуатационных ресурсов подземных вод.

Карьер, после прекращения откачек, в течение 4 лет заполнился водой на 65 м, происходит восстановление зоны депрессии, которое сопровождается следующими процессами:

- Формированием инженерно-геологических процессов на бортах карьера, выраженных оползнями, осыпями и обвалами (рис. 1);
- Изменением направления потока подземных вод (рис. 2);
- Изменением химического состава подземных вод.

Прогнозное время заполнения карьера водой до статического уровня составит более 20 лет.



Рис. 1. Инженерно-геологические процессы, происходящие в бортах карьера

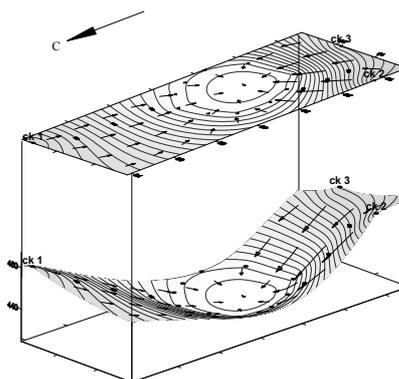


Рис. 2. Направление потока подземных вод во время восстановления УГВ

Отвал вскрышных пород месторождения делится на 2 части: отвал рыхлых вскрышных пород и отвал скальных вскрышных пород. В целом отвал изымает значительную территорию из сельскохозяйственного оборота за счет погребения почв под массами горных пород и их загрязнения. Отвал занимает площадь 34,9 га.

По части отвала, занятой рыхлой вскрышей, представленной глинистыми грунтами, развиваются эрозионные процессы. В летние месяцы, несмотря на начинающееся самозарастание, происходит пыление грунтов. Самозарастание отвала происходит медленно из-за отсутствия планировки крутых склонов (рис. 3).



Рис. 3. Самозарастание отвала рыхлой вскрыши, отсутствие растительности на скальных горных породах



Рис. 4. Переотложенные минералы меди

Породы части отвала скальной вскрыши, неподверженные самозарастанию, содержат вкрапления сульфидных руд, в связи с чем, стоки, формирующиеся в основании отвала, имеют кислый состав и повышенное содержание тяжелых металлов. Подотвальные воды и потоки вод, стекающие с отвала, сформировали техногенный ручей, наполняющийся во время дождей и пересыхающий в сухую погоду.

При формировании техногенного ручья вдоль его русла происходит загрязнение грунтов и почв тяжелыми металлами. В рамках изысканий было выполнено опробование донных отложений ручья. Значение pH варьируется от 3,0 до 3,5. Спектральный анализ и последующий расчет класса опасности грунтов показал значение $Z_c=314,9$, что соответствует чрезвычайно опасной категории загрязнения. В донных отложениях техногенного ручья в аномально высоких концентрациях были выделены: Cu (60 ПДК), Zn (13,3 ПДК), Pb (5,6 ПДК), Ag (8 ПДК), As (200 ПДК), Sb (6,7 ПДК), так же обнаружены повышенные концентрации Ni, Cr, V, Sc, W. По руслу техногенного ручья видно осаждение вторичных минералов меди – халькантита ($CuSO_4 \cdot 5H_2O$), часто с примесями мелантерита, бонаттита и бутита (рис. 4).

Стоки являются источником загрязнения как карьерных вод, так и прилегающих территорий. Почвы, расположенные рядом с отвалом, так же имеют повышенные содержания тяжелых металлов, накапливая их из подотвальных вод. В них отмечается тот же ряд химических элементов, какой отмечен в пробе донных отложений техногенного ручья.

В конечном итоге загрязненные стоки попадают в воды карьера, повышая их минерализацию. На момент исследований в карьерных водах наблюдалось превышение ПДК следующих веществ: SO_4^{2-} (1.1 ПДК), $Fe_{общ}^{3+}$ (1.8 ПДК), Cu (1.18 ПДК), Zn (5.18 ПДК), Pb (2.43 ПДК).

На данном этапе развития территории загрязненные воды не распространяются за территорию месторождения, так как поток направлен в сторону карьера и накопление воды происходит в нем. После заполнения карьера

прогнозируется изменение потока подземных вод на естественный, после чего загрязненные подземные воды устремятся вниз по потоку.

Канавы и отстойники, оставленные после отработки, требуют ликвидации, т.к. меняют естественный рельеф и, в будущем, затруднят использование земель в сельском хозяйстве.

Как показывают результаты изучения объектов аналогов [1], загрязнение территории нерекультивированным объектом будет происходить длительное время.

В целом, из сельскохозяйственного оборота изымается 53,2 га высокопродуктивных почв. Помимо этого, окружающие участок месторождения почвы снижают свою продуктивность за счет воздействий, о которых говорилось выше. Все это наносит урон сельскому хозяйству территории, что говорит о необходимости рекультивации.

Рекультивация приведет к восстановлению естественного состояния территории. В данной ситуации целесообразно вернуть отвал в горную выработку, что решит целый ряд проблем: во-первых, восстановление уровня грунтовых вод на территории, ликвидация депрессионной воронки; во-вторых, ликвидация отвалов вокруг карьера, а значит и исчезновение кислых подотвальных вод; в-третьих, уменьшение количества горных пород, подверженных окислению, а значит и уменьшение выноса химических элементов с потоками поверхностных и подземных вод; в-четвертых, повышение устойчивости бывших бортов карьера, прекращение инженерно-геологических процессов; в-пятых, ликвидация положительных и отрицательных форм рельефа, не свойственных данной территории, в-шестых, возвращение земель для использования в сельскохозяйственных целях.

Литература

1. Гуман О.М., Антонова И.А., Захаров А.В., Макаров А.Б. Оценка экологического состояния и направления рекультивации отвалов Бурибаевского ГОКа // Изв. Вузов. Горный журнал. – 2011. – № 8. – С. 58-61.
2. Гуман О.М., Колосницына О.А., Макаров А.Б., Антонова И.А. Геоэкологическая оценка природно-технологических систем на регрессивной стадии техногенеза (на примере месторождения Яман-Касы) // Вестник ОГУ. – 2013, июнь. – № 6(155). – С. 99-102.
3. Котович А.А., Гуман О.М., Макаров А.Б., Антонова И.А. Эколого-геохимическая оценка почв на территории проектируемого Быстринского ГОКа // Известия УГГУ. – 2013. – № 2 (30). – С. 21-25.

ИЗУЧЕНИЕ КРИОГЕННЫХ ПРОЦЕССОВ ЯМАЛА ДИСТАНЦИОННЫМИ МЕТОДАМИ

Л.Н. Крицук, В.А. Дубровин

Всероссийский научно-исследовательский институт гидрогеологии и инженерной геологии
(ВСЕГИНГЕО). E-mail: vsegingeo@bk.ru

Освоение нефтегазовых месторождений полуострова Ямал чревато развитием широкого спектра экзогенных (и в первую очередь криогенных) геологических процессов, способных ухудшить экологическую обстановку региона и резко увеличить затраты на добычу и транспортировку углеводородов. Особое место по совокупной сложности экологических проблем, связанных с разработкой месторождений нефти и газа занимает шельф арктического моря и особенно его мелководная прибрежная часть. Именно для этой узкой полосы акватории и береговой зоны характерны наиболее опасные криогенные процессы, такие как термоабразия, термоэрозия, оползни-сплывы, термокарст и др., а также гидродинамические процессы, обусловленные штормами и вдольбереговыми течениями.

Наибольшую опасность для освоения прибрежных месторождений Западного Ямала представляют термоабразионные процессы, связанные с переработкой береговых отложений, отступанием береговой линии, спуском озер и новообразованием ММП в днищах молодых хасыреев. Повторное дешифрирование материалов ДЗЗ (АФС и КС высокого разрешения) дает возможность судить о динамике криогенных процессов.

Вышеперечисленные процессы имеют широкое распространение в районе геокриологического стационара ВСЕГИНГЕО Марре-Сале, где наблюдения за характером и динамикой береговых процессов проводятся (как наземными, так и дистанционными методами) с 1978 г. По характеру протекания береговых процессов на площади стационара выделяются две группы участков морского берега, типичных для всего побережья Западного Ямала: эрозионные и аккумулятивные. К первой относятся террасовые поверхности; ко второй – устьевые части рек Марре-Яха и Явар-Яха [6].

Комплекс наблюдений за отступанием бровки коренного берега включал в себя измерения на жестко закрепленных на местности створах, описание и фотографирование береговых обнажений льда и периодические береговые видеосъемочные работы. По данным наземных наблюдений (рис. 1) значение с 1978 по 2009 г. скорости отступления бровки берега за 22 года (1978-1990) было оценено А.А.

Васильевым в 2,1 м/год [1]. Результаты наземных наблюдений представлены на рис. 1. Графики демонстрируют величину отступления бровки по точкам, расположенным в среднем на расстоянии около 70 м.

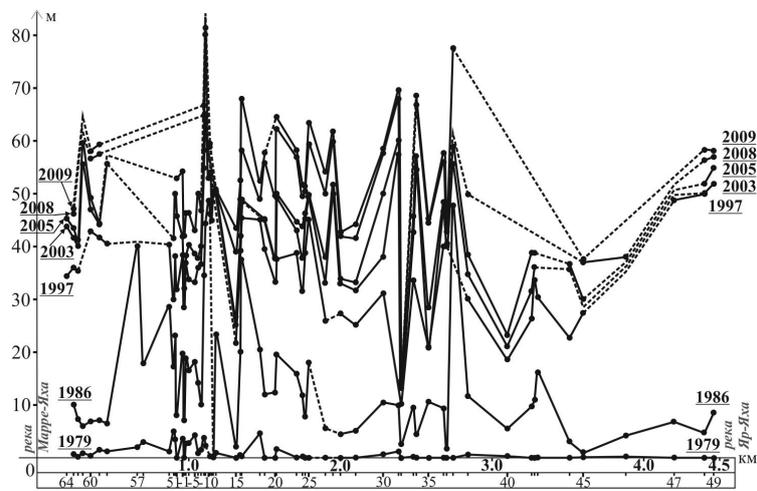


Рис. 1. Отступление бровки берега моря в р-не Марре-Сале

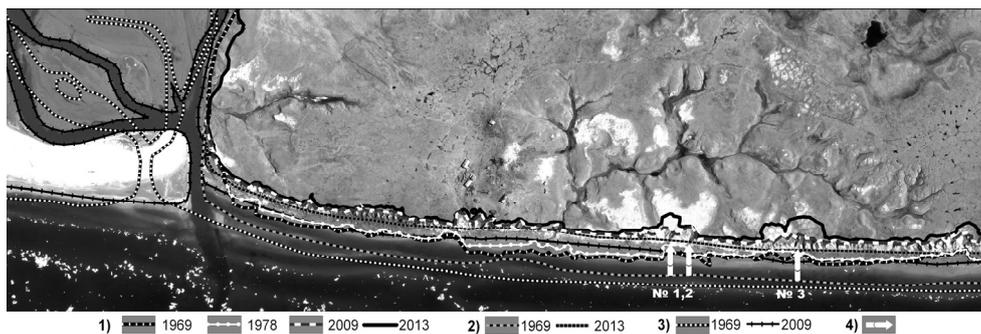


Рис. 2. Динамика отступления коренного берега Карского моря в районе стационара ВСЕГИНГЕО по данным повторных видеофотосъемок:
1 – бровка берега; 2 – подошва берега; 3 – берег моря и русла р. Марре-Яха(1969);
4 – места береговых обнажений подземных льдов 1986г и их номера

Значительно большую информацию о динамике процесса дают повторные дистанционные наблюдения. На рис. 2 приведены результаты наблюдений за отступанием коренного берега Карского моря за 44 года по данным дешифрирования АФС разного масштаба 1969 г. и 1978 г. и периодической видеофотосъемки.

В таблице показаны значения отступления (максимальные и минимальные) за разные периоды времени между выбранными годами видеосъемки. Расстояния определялись по снимкам с помощью программы Arc GIS.

Таблица

Период наблюдений	1969-1978	1979-1986	1987-2000	2001-2009	2010-2013	1969-2013
Бровка						
Минимум	1-5	1-5	10-15	0-3	5-10	40-65
Максимум	30-35	20-25 (45)	25-35 (40)	5-10 (16)	46-50	70-120*
Подошва обрыва						75-90

* – термоцирк с вытаивающими мощными ледяными залежами

По данным наблюдений скорость отступления бровки коренного берега в районе стационара Марре-Сале, изменяется в широких пределах, как во времени, так и по простиранию. При среднем её значении ≈ 2 м/год [1] максимальные значения этой величины за отдельные годы значительно превышали 10 м, а минимальные равнялись нулю. При этом береговая линия моря в районе стационара за 44-летний период (с 1969 по 2013 г.) переместилась в сторону материка примерно на 90 м. Очевидно, что динамика процесса термоабразии определяется особенностями климатических условий в разные годы и спецификой геологического строения разных участков берега. Повышенные относительные значения величины отступления бровки отмечаются в годы с более теплым летним периодом, большей суммой летних (либо за июль-август) атмосферных осадков, а максимальные – при совпадении всех трех компонентов климата.

Различия величины отступления бровки в пределах разных участков берега зависят от криолитологического строения мерзлой толщи и, прежде всего, от наличия подземных льдов и сильно льдистых грунтов.

Суммарная максимальная величина отступления бровки за 44 года в пределах термоцирка с вытаивающим льдом составляет 120 м, а суммарная минимальная равняется 40 м. Вследствие этого вопрос о закономерностях пространственного распределения широко распространенных на полуострове мощных ледяных тел имеет первостепенное значение для прогноза динамики термоабразионных процессов, как на площади стационара, так и на всем Западном побережье Ямала.

Многолетними комплексными исследованиями ВСЕГИНГЕО в прошлом веке было установлено, что мощные пластовые и жильные подземные льды Ямала и Гыдана представляют собой элементы специфических крио-гидрогеологических систем, генетически связанных с локальными структурами платформенного чехла и потому проявляются в рельефе [5].

С выявляемыми при анализе рельефа и гидросети на космических снимках кольцевыми и линейными морфоструктурами в арктических районах криолитозоны связана высокая вероятность близкого к поверхности земли залегания мощных подземных льдов, представляющих собой серьезную опасность при строительстве и эксплуатации различных сооружений.

Подобная морфоструктура была изучена в пределах стационара Марре-Сале в 1986 г. На рис.2 четко видна полукольцевая радиально-концентрическая морфоструктура, длиной около 1 км, на площади которой были поставлены детальные комплексные геокриолого-геофизические исследования, с целью выявления природы мощных подземных льдов, закономерностей их пространственного размещения и влияния на динамику береговых процессов. Эти исследования позволили установить вторично-внутригрунтовую природу обнажавшихся в береговых обрывах мощных подземных льдов, их генетическую связь с изучаемой морфоструктурой и криогидротектоническую природу самой морфоструктуры. В пределах этой морфоструктуры многими исследователями наблюдались береговые обнажения с мощными подземными льдами как пластовыми, так и жильными [2,3,5 и др.]. Именно с вытаяванием этих льдов связано максимальное отступление бровки на участке от устья р. Марре-Яха до устья р. Яр-Яха длиной 4,5 км за 44 года и абсолютные максимумы в отдельные годы. В частности только за 3 года (2010-2012) с аномальными летними температурами и количеством осадков в пределах третьего термоцирка бровка отступила на 50 м.

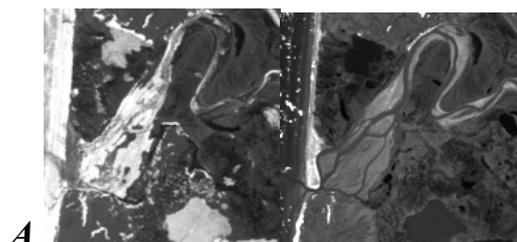
Поскольку уникальная для площади стационара полукольцевая морфоструктура является типичной для Западного побережья полуострова Ямал, то установленные нами закономерности распределения ледяных включений и их индикация позволяют прогнозировать динамику процессов термоабразии коренного берега на всем побережье Карского моря.

На рис. 2 кроме термоабразийных процессов в пределах коренного берега Карского моря прекрасно видны геодинамические процессы в устьевой части поймы р. Марре-Яха, т.е. в пределах аккумулятивного типа берега. Здесь происходит активное латеральное перемещение русла по авандельте, изменение его изгиба и аккумуляция отложений (с созданием кос, береговых валов и баров). За 44 года постоянно изменялся рисунок устьевой части долины р.Марре-Яха, количество и ширина протоков и основного русла. Перемещение последнего в устье составило порядка 155 м. Резко изменилось очертание современной косы, отделяющей долину р. Марре-Яха от моря. Ее ширина уменьшилась (в самом узком месте) с 270 м до 120 м, а длина увеличилась на 140 м. Вместе с основным руслом перемещаются и протоки. Основной причиной столь активного проявления геодинамических процессов, по-видимому, являются специфические геолого-структурные условия района, а именно положение площади стационара на перекрестье двух активных зон разломов и приуроченность ее к локальной структуре платформенного чехла по кровле мезозойских отложений. При этом, скорее всего, основная роль в блуждании русла реки Марре-Яха и осадконакоплении на лайде принадлежит активному наледообразованию.

Проявления наледного процесса в прошлом и в настоящее время в районе стационара Марре-Сале было установлено в конце прошлого века по результатам комплексного гидрохимического и изотопного анализа поверхностных и подземных вод и льдов района, в том числе и по определению содержания трития [4,5,7]. Аномально тяжелой по содержанию трития оказа-

лась весенняя речная вода р.Марре-Яхи (20,1 Т.Е.), что дает основание предполагать поверхностную разгрузку сохранившихся после ядерных испытания 50-х годов изолированных от поверхности объемов подземных вод (межмерзлотных либо глубинных подмерзлотных).

Сделанные ранее выводы подтверждают материалы совместного дешифрирования космических снимков, полученных в 2013 г. (рис. 3).



А



Б

Рис. 3А. Наледь в устье р. Марре-Яха;
Рис. 3Б. КС- 10.06.2013г. КС- 03.07.2013 г.
Видеофото с вертолета 20.09.1999 г.

На снимке 1999 г. (рис. 3Б) отчетливо видно углубление в русле реки – своеобразное «жерло» гидровулкана, способного сформировать гигантскую наледь, длиной 1,5 км и шириной 600м. Установленные в устье р.Марре-Яха активные наледные процессы фиксируются по КС 2013 г. также в устьях других рек западного Ямала.

На разновременных космических снимках Landsat прекрасно фиксируется процесс современного спуска озер, с которым связаны процессы новообразования сильнольдистых мерзлых грунтов. Совместный анализ материалов АФС и КС показал, что за минувшие 40 лет на полуострове Ямал было в разной степени спущено более 500 озер диаметром > 200 м. Вследствие высокой льдистости новообразований мерзлых отложений дна, наличия близко залегающих макроледяных тел или разгрузки напорных подземных вод следует избегать при проектировании использования днищ спущенных озер для размещения ответственных или тепловыделяющих сооружений, а также опор для этих сооружений.

Выявленные закономерности проявления и динамики опасных береговых процессов Западного Ямала должны учитываться при составлении проектов освоения прибрежных участков, а основным документом при проектировании должны являться прогнозные карты геокриологического районирования среднего и крупного масштабов, составленные на основе материалов дистанционного зондирования Земли с выделением участков вероятного проявления опасных береговых процессов и прежде всего термоабразии и наледеобразования. Для объективного прогноза изменения скорости термоабразийных процессов на западном побережье полуострова Ямал и их пространственной изменчивости необходимо учитывать специфику криогенного строения мерзлых пород и закономерности распределения в них мощных залежеобразующих подземных льдов.

Литература

1. *Васильев А.А., Сауткин Е.В.* Термоабразия морских берегов на Западном Ямале // Методы изучения криогенных физико-геологических процессов: Сб. научн. Трудов ВСЕГИНГЕО. – М., 1992. – С. 71-77.
2. *Васильев А.А., Рогов В.В.* Пластовые льды в районе Марре-Сале. Западный Ямал // Матер. Второй конференции геокриологов России. Т. 1. – М.: Изд-во МГУ, 2001. – С. 188-194.
3. *Каплянская Ф.А., Тарноградский В.Л.* Ледниковые образования в районе полярной станции Марре-Сале на п-ове Ямал // Тр. ВСЕГЕИ. Т. 319. – 1982. – С. 77-84.
4. *Крицук Л.Н.* Наледи полуостровов Ямал и Гыдан // Мерзлотно- гидрогеологические исследования зоны свободного водообмена. – М.: Наука, 1989. – С. 86-92.
5. *Крицук Л.Н.* Подземные льды Западной Сибири. – М.: Научный мир, 2010. – 350 с.
6. *Крицук Л.Н., Дубровин В.А.* Подземные льды и криогенные процессы района Марре-Сале (Западный Ямал) // Сборник статей ВСЕГИНГЕО. – М.: ЗАО «Геоинформмарк», 2000. – С. 14-25.
7. *Крицук Л.Н., Поляков В.А.* Изотопные исследования природных вод и подземных льдов Западной Сибири // Инжен. Геология. – 1989. – № 4. – С. 76-94.

ОСОБЕННОСТИ ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИХ И ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ ЗОЛОТОРУДНОЙ МЕСТОРОЖДЕНИЯ КОКПАТАС

Н.Т. Курбанов

Государственное предприятие Научно производственный центр «Геология гидроминеральных ресурсов». 10004, г. Ташкент, ул. Олимлар 64. E-mail: ggpuz@rambler.ru

Кокпатасское месторождения расположено в пределах Букантауского горного массива Центральных Кызылкумов и по административному делению территории к Учкудукскому району Навоийской области. База экспедиции связана автодорогой с городами Учкудук, Зарафшан, Навоий и железнодорожной станцией Учкудук.



Рис. 1. Обзорная карта

Горы Кокпатас в плане имеют цирк образное строение, характеризуются расчлененным рельефом с глубоко врезанными саями. Климат района резко континентальный, пустынно-засушливой, с сухим жарким летом (+43⁰ в тени) и холодной зимой (-30⁰). Осадки выпадают в весенне-зимний период, их количество составляет: в средний по водности год – 120 мм, в многоводный – 180 мм. Испаряемость с открытой водной поверхностью в 20 раз превышает количество выпадающих осадков.

Тектоническое строение Кокпатаасского рудного поля определяется сочетанием складчатых и разрывных структур, сформировавшихся в герцинский тектономагматической цикл. Основной пликативной структурой рудного поля является Кокпатаасская антиклиналь, ядро которой сложено известняками нижнего карбона, покрытых мощной толщей слабо метаморфизованных вулканогенно осадочных пород Карашакской и Кокпатаасской свит. Разрез Карашакской свиты представлен преимущественно песчано-сланцевыми отложениями. Кокпатаасская свита существенно отличается от Карашакской составом слагающих пород. Разрез ее представлен чередованием кремнистых сланцев с доломитами, известняками, песчаниками и сланцами. Порода слагающие обе свиты, прорваны многочисленными дайками различного состава.

Район месторождения Кокпатас по гидрогеологическому районированию относится к Центральному региону, который представляет собой сочетания горных возвышенностей, с максимальной высотой 970 м над уровнем моря, и межгорных тектонических впадин. Горные массивы Букантау, Джетымтау, Тамдытау, Ауминзатау и др. содержат трещинно-карстовые и трещинные воды. В соответствии с литологическим составом пород горных массивов, выделяется водоносные комплексы карбонатных, песчано-сланцевых и интрузивных образований палеозоя. Кокпатаасское рудное поле приурочено к

южным склонам Букантауского рудного массива. Водосборная площадь составляет 150 км². Площадь рудного поля характеризуется слабым понижением рельефа в южном и юго-восточным направлениям с последующим переходом в равнину. Постоянные водотоки отсутствуют. Однако наличие расчленения рельефа гор и предгорных покатых равнин обеспечивает образования временных водотоков.

На площади месторождения на основании литологического строения и по условиям распространения, залегания, движения подземных вод выделяется 3 водоносных комплекса:

1. Водоносный комплекс отложений Кокпатасской свиты.
2. Водоносный комплекс отложений Карашахской свиты.
3. Водоносный комплекс Нижнекаменноугольных отложений.

Водоносный комплекс отложений Кокпатасской свиты. Водовмещающими породами данного комплекса являются отложения Кокпатасской свиты, слагающие крылья Кокпатасской антиклинали. Литологически представлены, в основном, кремнистыми породами с прослойками песчаников и алевролитов. Глубина залегания подземных вод зависит от рельефа местности и от дренирующего действия горных выработок и составляет 37-108 м. Сезонные колебания уровня подземных вод незначительные, амплитуда колебания 1-2 м, водообильность пород характеризуется данными опытных работ по скважинам. Расходы воды по скважинам при желонировании составили 0,014 л/с, удельные расходы 0,0003-0,0005 л/с. Водопроницаемость пород характеризуется следующими коэффициентами фильтрации: скв. 3302 – 0,0003 м/сут, скв. 3216 – 0,013 м/сут, скв. 3434 – 0,01 м/сут. Водоносность пород обусловлена трещиноватостью и зависит от трещиной пустотности этих пород. Для данных пород характерны трещины тектонические и выветривания. Наблюдаемая мощность трещин от 0,1 до 10 см, длина от первых сантиметров до 2-3 м. Большая часть трещин заполнена. Открытость трещин незначительная. Подземные воды данных отложений солоноватые с минерализацией 4,5-5,2 г/л, по составу сульфатно-хлоридные, натриево-кальциевые. Питание подземных вод происходит за счет инфильтрации атмосферных осадков. Движения подземных вод происходит согласно общему уклону местности и к искусственным дренам.

Водоносный комплекс отложений Карашахской свиты. Водовмещающими породами являются отложения Карашахской свиты, залегающие на крыльях Кокпатаской антиклинали. Литологически они представлены песчаниками, углисто-кварц-хлоритовыми сланцами, туфопесчаниками, туфобрекчиями. В целом геологический разрез характеризуется своим непостоянством в различных частях площади, что обусловлено частой фациальной сменой пород по простиранию. Подземные воды скважинами вскрываются на разных глубинах от 25 до 87 м. Коэффициент фильтрации от 0,0003 до 0,24 м/сут. В силу вскрытия мощной зоны дробления и смятия в углисто – кварц – хлоритовых сланцев. Расход воды по скважине составляет 3,4 л/с при понижении 1,9 м, удельный дебит 1,9 л/см, коэффициент фильтрации – 1,7 м/сут. Подземные воды данных отложений солоноватые с минерализацией от 3-до

10 г/л, химический состав их сульфатно-хлоридный кальциево-магниевый. Общая жесткость составляет 29,5-73,5 мг/экв. Они являются агрессивными по отношению к бетону, содержания в них сульфата иона превышает 250 мг/л. По отношению к металлам они не проявляют корродирующего действия (рН колеблется от 7,6 до 8,2).

Водоносный комплекс нижнекаменноугольных отложений. Водовмещающими породами являются карбонатные породы известняки слагающие ядерную часть Кокпатасской антиклинали. Одним из факторов, обуславливающих глубину залегания уровней подземных вод, является строения поверхности. На водораздельных пространствах и вверх по саю Кокпатас уровень подземных вод отмечается на глубине 45-50 м, вниз по саю он приближается к поверхности и составляет 23,8 м. Водообильность пород дается по данным опытных работ в скважинах. Расходы воды по скважинам колеблются от 3,6 до 14,0 л/с при понижениях уровня до 22 м. Удельные расходы составляют 0,03-12 л/с. По имеющимся данным, коэффициент фильтрации колеблется от 0,002-1,92 м/сут. По химическому составу подземные воды, в основном, сульфатно-хлоридные, натриево-кальциевые. Сухой остаток изменяется от 2,9 до 4,3 г/л. Общая жесткость составляет 28,7-40,9 мг/экв. Они являются агрессивными по отношению к бетону. По отношению к металлам они не проявляют корродирующего действия (рН изменяется от 7,2-7,8). Как видно из приведенной характеристики, качество подземных вод повсеместно не соответствует требованиям норм для питьевых и оросительных вод.

Инженерно-геологические исследования, проведенные на территории месторождения Кокпатас, показали, что для изучаемой площади, как и для всей территории Кызылкумов, характерны такие экзогенные геологические процессы как дефляция и выветривание. Сухость климата, интенсивные ветры СВ направления, дующие около 300 дней в году, наличие песчаного покрова и слабое развитие растительности способствует процессу развевания песчано-пылеватого материала. Для изучаемой территории среднегодовая скорость ветра составляет 3-6 м/с. Согласно классификации В.А. Федоровича (1975 г.) при таких скоростях преобладающим является процесс дефляции.

Выветривание (физическое) способствует образованию плоских вершин на останцовых возвышенностях. Атмосферные осадки (180-160 мм/год) способствуют увеличению содержания в породах серной кислоты за счет окисления сульфидов и образованию глинистых материалов. При этом, постоянство и большая сила ветра усиливает в них процесс усыхания и развития блочной структуры, в результате чего повышается трещиноватость пород. Наиболее интенсивно подвержены выветриванию трещиноватые сланцы и песчаники. Температурные колебания в сочетании с физико-механическими процессами приводят к нарушению монолитности пород, их растрескиванию. Выветривание скальных и полускальных пород приводит к значительным изменениям их физико-механических свойств, к увеличению трещиноватости и снижению механической прочности, к образованию делювиальных накоплений. На участке работ имеются небольшие обнажения пород, у подножья которых отмечены скопления делювиальных обломков. Для дан-

ного района характерны и селевые явления, возникающие в результате поверхностного плоскостного и руслового стока в период обильного выпадения атмосферных осадков в виде ливней (март, апрель, май).

Оценка влияния трещин и систем трещин, как поверхностей и зон ослабления в породах, на устойчивость бортов карьеров является важнейшим этапом обобщения инженерно-геологического изучения трещиноватости горных пород. Описание трещиноватости горных пород по месторождению Кокпатас дается по материалам изучения трещиноватости в горных выработках и по керну геологоразведочных скважин. Нарушенность пород трещинами количественно оценивается через следующие показатели: коэффициент трещинной пустотности и удельную трещиноватость. Результаты для всех литологических разностей представлены в таблице:

Таблица

Литологическая разность	Коэффициент трещинной пустотности, %	Удельная трещиноватость 1 п.м
Углисто-кварц-хлоритовые сланцы	0,84-5,47	4-10
Песчаники	3,3-5,7	1,97-6,35
Спессартиты	3,8-8,1	2,5-4,1
Керсантиты	2,2-6,9	2,5-6,4

Горными выработками были вскрыты породы Карашахской свиты, представленные, в основном хлоритовыми сланцами с прослоями песчаников и дайками керсантитового и спессартитового состава. По генезису трещины, в основном, тектонические возраст трещин связан с возрастом тектонических нарушений. Направление трещин, в основном, совпадает с разломами субширотного, северо-восточного и субмеридиального направления. Удельная трещиноватость находится в одних и тех же пределах от 4 до 8 тр/м. Углы падения трещин изменяются от 35-80⁰, наибольшее количество трещин соответствуют значениям 70-80⁰.

Изучение физико-механических свойств на месторождениях проводилось по 36 скважинам и монолитам, отобранным из подземных горных выработок, с привлечением результатов ранее проведенных работ.

Анализ данных испытаний пород показывает, что породы всех литологических разностей по физическим показателям не имеют заметных расхождений. Объемный вес пород изменяется от 2,69-2,80 г/см³. Удельный вес в пределах 2,7-2,82 г/см³. Наибольшие значения соответствует кремнистым разностям. Водопоглощение пород низкое – исчисляется сотыми долями процента 0,06-0,8%. Единичное максимальное значения, до 5%, соответствует породам в зоне окисления (песчаники, углисто-кварц-хлоритовые сланцы). Таким образом, породы всех литологических разностей по физическим показателям не имеют существенных различий. При оценке инженерно-геологических условий, устойчивости бортов карьеров и выборе расчетных показателей, основное внимание уделяется прочностным свойствам горных

пород. Характеристика физико-механических свойств пород рудной зоны дается по монолитам, отобраным с горизонтов +160, +277, +300. Породы, отобранные с горизонтов +277, +300, менее плотные за счет выщелачивания, пористость составляет 1,14-3,53%, объемный вес изменяется в пределах 2,6-2,91 кг/см². Прочностные характеристики следующие: предел прочности на сжатие изменяется в широких пределах 111-957 кг/см², в среднем 592 кг/см²; при водонасыщении составляет 426 кг/см²; коэффициент размягчения составляет 0,6-0,89; коэффициент крепости по шкале Протодяконова составляет 9,6. Модуль упругости -272331 (по слою) и 295004 кг/см² (вкрест простирания слоя). Породы отобранные с горизонта +160 более плотные: пористость низкая 0,3-0,53%, объемный вес составляет 2,75-2,9 кг/см², удельный вес 2,77-2,92 кг/см². Величина предела прочности сжатию имеет весьма большие колебания 411-1389, но наиболее частые значения 725 кг/см², коэффициент размягчения 0,71. Коэффициент крепости по шкале Протодяконова равен 13,3. В целом, из вышеописанного можно сделать следующий вывод: породы в общем крепкие, плотные, подвержены метаморфизму и прорваны большим количеством даек, которые как бы создают каркас прочности пород. Низкие же значения физико-механических свойств пород соответствует породам трещиноватым, слагающим зоны тектонических нарушений. Поэтому, при оценке устойчивости откосов карьеров большое значение имеет ориентировка трещин со слабым заполнителем, а также степень обводненности и зон разломов, что может оказать значительное влияния на возникновение неблагоприятных инженерно-геологических процессов, таких как оползни, обрушения и осыпи.

Выполненные на месторождении Кокпатас гидрогеологические и инженерно-геологические исследования позволяют сделать следующие выводы: геологические условия месторождения являются благоприятными для отработки его карьерами; гидрогеологические условия не будут являться сдерживающим фактором при отработке месторождения; месторождение Кокпатас относится к территории со слабым развитием угрожающих инженерно-геологических процессов, что предопределено преимущественно литолого-геоморфологическими условиями.

Литература

1. Бабушкин В.Д., Пересунько Д.Н. Изучение гидрогеологических и инженерно-геологических условий при разведке и освоении месторождений твердых полезных ископаемых. – М.: изд. «Недра», 1969.
2. Мирасланов М.М. Инженерная геология, гидрогеология месторождений твердых полезных ископаемых Узбекистана. – Ташкент: ГП «НИИМР», 2011.
3. Панюков П.Н. Инженерная геология. – М.: изд. «Недра», 1978.

ИЗМЕНЕНИЕ НАПРЯЖЕННОГО СОСТОЯНИЯ И ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ НАМЫВНЫХ ПОРОД ПРИ ФОРМИРОВАНИИ ГОРНЫХ ПРИРОДНО-ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Ю.И. Кутепов*, Н.А. Кутепова*, Е.В. Сергина**

*НМСУ «Горный», Санкт-Петербург,

**ОАО «УК»Кузбассразрезуголь, Кемерово, Советская 5. E-mail: Se-lena@yandex.ru

Разработка угольных месторождений в Кузбассе характеризуется высокой интенсивностью горных работ и концентрацией на небольших площадях различных их видов, что предопределяет создание и функционирование технологически необходимых горнотехнических сооружений (бортов разрезов, отвалов, гидроотвалов, насыпей и пр.) в зонах взаимного влияния. В этом случае, решение различных вопросов по безопасности и технико-экономической эффективности производства невозможно без совместного их рассмотрения в рамках единых природно-технических систем (ПТС).

На угольных предприятиях Кузбасса можно выделить ПТС, состоящих из следующих горнотехнических сооружений: «борт разреза + отвал», «борт разреза + гидроотвал», «гидроотвал + отвал», «борт разреза + гидроотвал + отвал» и др. Наиболее сложными из них являются ПТС, включающих гидроотвалы – гидротехнические сооружения, служащие для складирования вскрышных пород неоген-четвертичного возраста, разрабатываемых гидро-мезанизационным способом.

Гидроотвалы в силу специфических условий формирования представляют собой намывные техногенные массивы, сложенные «слабыми» водонасыщенными глинистыми породами. При формировании состояния и свойств намывных отложений важное место занимают гидрогеомеханические процессы, связанные с образованием и рассеиванием в них порового давления. Трансформация эффективных напряжений при фильтрационной консолидации приводит к изменению физико-механических свойств намывных пород.

Рассмотрим формирование сложной ПТС «борт + гидроотвал + отвал» на разрезе «Кедровский» ОАО «УК»Кузбассразрезуголь», в котором наиболее «слабым» звеном, определяющим безопасность ее функционирования, является намывное сооружение. История образования ПТС включает три стадии:

1) *Стадия эксплуатации гидроотвала (1958 – 1990 гг.)* Всего намыто 48,7 млн. м³ вскрышных пород неоген-четвертичного возраста, максимальная высота в тальвеге составляла 53 м, площадь 270 га.

2) *Стадия консервации гидроотвала (1990 – 2000 гг.)* Горные работы подошли вплотную к границе сооружения. Доразведкой под участком гидроотвала установлены запасы угля в объеме 70 млн.т, доступные для отработки

открытым способом. В связи с этим, выполнено обоснование частичного удаления гидроотвала, создания новой устойчивой конструкции остающейся части намывного массива и использование оставшейся части для размещения отвалов сухих пород.

3) *Стадия функционирования сложной ПТС (2000-2013 гг.). Этап 1 – 2000-02 гг.* Ликвидирован напорный фронт на основную дамбу. Отсыпана разделительная дамба. Начат гидромеханизированный смыв гидроотвала и складирование пульпы за отсыпанную разделительную дамбу. *Этап 2 – 2003-08 гг.* Складирование пульпы за разделительную дамбу прекращено. Основная дамба полностью отработана. *Этап 3 – 2009-13 гг.* Отсыпается отвал «сухих» пород в районе разделительной дамбы и формируется предохранительная насыпь по периметру остающейся части гидроотвала. Полностью отработана южная часть гидроотвала. отрабатывается оставшаяся часть гидроотвала и планируется формировать пригруз перед разделительной насыпью.

На сегодняшний день на территории гидроотвала сформировалась сложная ПТС: «борт + гидромеханизационные уступы в намывном массиве гидроотвала + не удаляемая часть гидроотвала +отвал сухих пород». При ее формировании и функционировании применяются различные виды горных работ и технологических процессов. Весьма важной особенностью данной ПТС является динамичное изменение параметров горнотехнических сооружений, а также границ техногенных и естественных породных массивов. Обязательным мероприятием безопасности функционирования ПТС и ведения горных работ является мониторинг, одной из важнейших составляющих которого служат инженерно-геологические исследования, позволяющие контролировать строение, состояние и свойства техногенных и естественных горных пород, а также возникающие горно-геологические процессы.

На площади гидроотвала №3, начиная с 1992 г., проведен ряд инженерно-геологических исследований с целью определения стояния и свойств намывных пород, выполнено районирование намывного массива с выделением зон песчано-супесчаных (I), суглинистых (II) и глинистых (III) пород. В вертикальном разрезе намывной толщи выделены подзоны пород текучей (а), мягкопластичной (б) и тугопластичной (в) консистенции (рис. 1).

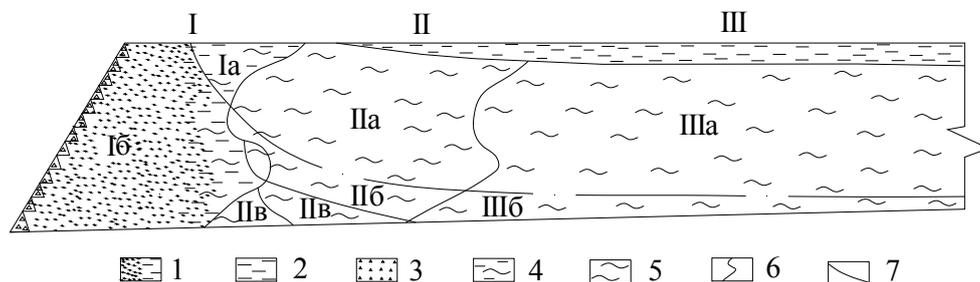


Рис. 1. Инженерно-геологический разрез по гидроотвалу (1992 г.)

На рисунке приведен разрез гидроотвала по тальвегу лога, построенный по результатам инженерно-геологического изучения 1992 г. По состоянию на 2013 г. намывная толща глинистой зоны частично отработанного массива представлена породами мягкопластичной и тугопластичной консистенции. В таблице приведены результаты изменения физико-механических свойств намывных отложений для намывных массивов нагруженного и ненагруженного отвалом.

Таблица

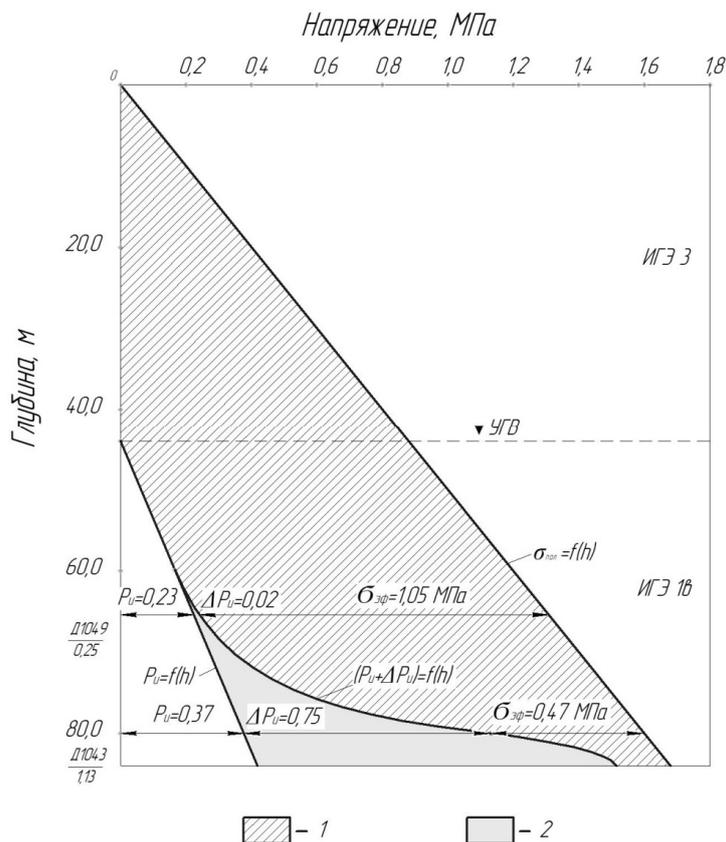
Изменение свойств намывных отложений

Участки гидроотвала	Год исследования	Влажность, доли ед.	Показатель консистенции, доли ед.	Угол вн. трения, град	Сцепление, МПа
Суглинистая зона	1992	0,32	0,74	16	0,22
	2000	0,24	0,18	23	0,38
Глинистая зона	1992	0,46	1,57	2	0,005
	2011	0,34	0,71	7	0,015
Намывной массив под отвальной насыпью (тальвег)	2002	0,26	0,40	11	0,21
	2013	0,236	0,01	13	0,64
Намывной массив под отвальной насыпью (склон)	2002	0,36	0,60	14	0,14
	2013	0,19	-0,06	18	0,51

Известно, что физико-механические свойства намывных пород зависят от напряженно-деформированного состояния массива, которое определяется, с одной стороны, действием веса пород, а, с другой стороны – поровым давлением, образовавшимся при намыве сооружения и отсыпке на его поверхности «сухих» отвалов. Поровое давление снижает эффективные напряжения в скелете намывных пород.

Наблюдения за поровым давлением на объекте ведется с помощью аппаратуры, установленной в намывной массив на различных участках гидроотвала – удаляемом намывном массиве и нагружаемом отвалами сухой вскрыши. Выполненные наблюдения свидетельствуют о различном характере образования и рассеивания порового давления. В удаляемом намывном массиве поровое давление за 20 лет на большей части массива уменьшилось до значений гидростатического давления при его полном обводнении, т.е. избыточное поровое давление равно нулю. Лишь на участке рядом с отвалом в намывных породах сохраняется еще избыточное поровое давление, природой образования которого является передача давления из массива, нагруженного отвальными массами. В намывных породах, находящихся в основании отвалов, избыточное поровое давление может достигать достаточно высоких значений, практически равных весу вышележащих пород. В дальнейшем, оно рассеивается в соответствии с фильтрационно-компрессионными свойствами пород и дренажными условиями. На рис. 2 приведены эпюры давлений в на-

мывном массиве в основании отвала, построенные по одной из оборудованных датчиками скважин. Из рисунка понятно, что избыточное поровое давление наиболее интенсивно рассеивается в верхней части намывной толщи, что говорит о наличии интенсивного дренажа к границе отвала.



**Рис. 2. Графики изменения по глубине намывного массива полных напряжений ($\sigma_{пол}$), гидростатического давления (P_U) и общего порового давления $U = (P_U + \Delta P_U)$:
 1 – эпюра эффективных напряжений ($\sigma_{эф} = \sigma_{пол} - U$);
 2 – эпюра избыточного порового давления ($\Delta P_U = U - P_U$).
 Скважина № 2-12**

Представленные результаты исследований использовались для выполнения расчетов устойчивости гидровскрышных уступов, отвалов «сухих пород» на гидроотвале, а также откосов ПТС. Кроме того, они послужили основой для разработки критериев безопасности функционирования данной системы, необходимых для выполнения мониторинга безопасности. Это позволило провести вскрышные и добычные работы.

ВЛИЯНИЕ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ТЯЖЕЛЫМИ МЕТАЛЛАМИ ПОЧВЫ НА ЕЕ СВОЙСТВА И ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ

Ю.А. Мажайский, В.Ф. Евтюхин, Т.М. Гусева

ООО «Мещерский научно-технический центр», г. Рязань
Государственный медицинский университет, г. Рязань

Загрязнение почв сельскохозяйственного назначения тяжелыми металлами часто сопровождается перераспределением их форм нахождения, ухудшением микробиологической активности и почвенных характеристик, накоплением тяжелых металлов (ТМ) в продукции.

Степень отрицательного влияния ТМ на растения определяется концентрацией мобильных соединений, находящихся в почве. Содержание в почве подвижных форм тяжелых металлов – важнейший показатель, характеризующий санитарно-гигиеническую обстановку, миграционную способность металла.

На подвижность ТМ и их переход в почвенный раствор влияют уровень плодородия, тип почв. Окультуренность почв уменьшает подвижность тяжелых металлов. В дерново-подзолистой слабо окультуренной почве содержание водорастворимых форм Zn, Pb и Cd на 20–35% выше, чем на среднеокультуренной и в 1,5–2,0 раза выше, чем в типичном черноземе [10]. В загрязненной тяжелыми металлами почве со временем происходит перераспределение их различных форм. Через год после загрязнения наблюдалось резкое уменьшение концентрации подвижных соединений ТМ, через два года – некоторое повышение. Дальнейшая трансформация приводит к установлению равновесия между различными формами ТМ в почве [6].

В полевом опыте с узколиственным люпином проведено загрязнение почвы ТМ. Варианты опыта: контроль (фон), опыты: 3 фона, 4 фона, 5 фонов. При поделяночном определении Zn, Cu, Pb, Cd, переходящих в буферный раствор $\text{CH}_3\text{COONH}_4$, выявлено, что концентрация данных форм металлов повышалась под влиянием степени загрязнения почвы ТМ. Так в контрольном варианте в среднем обнаружено Zn – 2,35 мг/кг, Cu – 2,54, Pb – 0,52 и Cd – 0,060 мг/кг. В то же время под влиянием искусственных загрязнений, соответствующих 3, 4, 5 фонам, концентрация подвижного Zn возрастала в 7–12 раз, Cu – в 11–17, Pb – 7–18, Cd – 4–5 раз. Степень их подвижности повышалась от первого изучаемого уровня загрязнения: Zn с 14,7% до 33,6%; Cu с 15,9 до 59,3; Pb с 8,7 до 19,4 и Cd с 60,0% до 71,7%. Дальнейшее загрязнение почвы ТМ не привело к изменению подвижности Zn, а степень подвижности Cu и Cd снижалась, и только активность Pb повышалась. При этом во всех вариантах абсолютное количество Zn, Cu, Pb увеличивалось с 16,11 мг/кг до 28,25 мг/кг, с 26,70 мг/кг до 39,66 мг/кг и с 3,5 мг/кг до

9,1 мг/кг соответственно, но содержание Cd, экстрагируемого ацетатно-аммонийным буфером, увеличивалось на вариантах загрязнения 3,4 фонов.

Степень подвижности металлов свидетельствует об их мобильности в почве и обусловлена химическими свойствами самих металлов. При внесении солей ТМ в почву они закрепляются органическим веществом, гидрооксидами железа, марганца и глинистыми минералами. Со временем произошло упрочение связи ТМ с ППК, что выразилось в стабилизации степени подвижности металлов. Наиболее мобильным элементом на третий год последствия остался Cd. Химический состав растений отражает элементный состав почвенной среды. Между концентрацией металлов в почвенных растворах и их поглощением корнями растений, как правило, существует прямая линейная зависимость. В условиях микрополевого опыта возрастающая концентрация Zn, Cu, Pb, Cd в почве привела к определенному перераспределению элементов в структуре фитомассы люпина (табл.).

Таблица

Среднее содержание тяжелых металлов в структуре урожая люпина узколистного, мг/кг

Варианты опыта	Свинец			Кадмий		
	Зерно	Створки бобов	Стебли + листья	Зерно	Створки бобов	Стебли + листья
Контроль (фон)	1,03	1,47	1,96	0,14	0,22	0,25
3 фона	1,22	1,67	6,03	0,19	0,32	1,14
4 фона	1,28	1,58	11,77	0,21	0,34	2,46
5 фонов	1,48	1,43	8,53	0,23	0,22	2,05
НСР _{0,95}	0,20	0,19	2,49	0,05	0,04	0,28
Варианты опыта	Цинк			Медь		
	Зерно	Створки бобов	Стебли + листья	Зерно	Створки бобов	Стебли + листья
Контроль (фон)	38,0	36,4	35,1	4,29	8,46	6,9
3 фона	42,3	69,4	176,2	5,30	8,72	89,1
4 фона	50,3	75,1	218,4	6,83	9,04	108,1
5 фонов	42,7	47,1	235,7	7,50	4,90	97,4
НСР _{0,95}	6,4	20,5	22,8	1,28	1,52	28,5

Считается, что бобовые культуры значительно больше концентрируют такие токсиканты как Pb и Cd. Соотношение концентраций изучаемых элементов между отдельными частями растений, выращенных на исходной почве, довольно близки. При полиморфизном загрязнении почвы отмечается явное отклонение в распределении ТМ между разными частями люпина узколистного. Так концентрация Zn, Cu, Pb, Cd в зерне на загрязненных вариантах выросло максимально в 1,8 раза. Так же сравнительно небольшие изменения наблюдались в соотношении элементов створок бобов. Основное количество накопленных металлов от 61% до 87% в растении аккумулировалось в стеблях и листьях. Вышеизложенные данные свидетельствуют о механизме

барьерного поглощения. Однако из-за высокой потребности люпина в биофильном Zn, он существенно меньше концентрировался в стеблях и листьях (61–72%) по сравнению с Cu, Pb, Cd.

Основная продукция, выращенная на исходной почве, по накоплению биогенных элементов Zn, Cu отвечает требованиям ПДК [9], а токсичные металлы Pb, Cd содержатся больше количественных показателей санитарно-гигиенических норм в продовольственном сырье и пищевых продуктах, но ниже временных МДУ в кормах [3]. При загрязнении почвы ТМ концентрация Zn и Cu в зерне находится в пределах ПДК, Pb и Cd – выше.

Сбалансированность химического состава живых организмов – основное условие их нормального роста и развития. При поглощении люпином металлов происходит взаимодействия их с элементами почвенного раствора. Между несбалансированными элементами (тем более в искусственно загрязненной ТМ почве) почвы возникают явления антагонизма.

Побочная продукция люпина узколистного: створки бобов, стебли + листья накапливали ТМ в количествах, превышающих МДУ для кормов. Так, количество Zn в побочной продукции концентрировалось от 47,1 мг/кг до 235,7 мг/кг, в стеблях + листьях накапливалось Pb от 6,03 мг/кг до 11,77 мг/кг, Cd – от 1,14 до 2,05; Cu – от 89,1 до 108,1 мг/кг. Большое количество токсикантов изменяет проницаемость клеточных мембран, происходят реакции тиольных групп с катионами Pb, Cd, возникает конкуренция с жизненно важными метаболитами и происходит загрязнение продукции.

В культурных ландшафтах, где произрастает и сорная растительность, отмечается перераспределение поллютантов между сельскохозяйственной культурой и сорняками [1]. Интенсивность накопления ТМ у одуванчика выше, чем у подсолнечника. А такие сообщества сорняков как жабрей, бодяк полевой, подмаренник цепкий, сурепица, ярутка, дикая редька аккумулируют немного более интенсивно, чем зерновые злаковые культуры [8]. Растения по-разному адаптированы к экстремальным геохимическим условиям природной среды и обладают разной пороговой чувствительностью к металлам. Основными факторами, определяющими содержание элемента в растении, признаны: геохимические условия (содержание элемента в почве, его усвояемых форм для растений, эволюция и адаптация растения к данным условиям геохимической среды) и вид растения (фаза развития, особенности распределения элемента по органам растения) [5,4,7]. В исследованиях, проведенных в условиях полевого опыта, наряду с люпином узколистным произрастали сорняки: тимофеевка луговая (*Phleum pratense*), луговик дернистый (*Deschampsia caespitosa*), марь белая (*Chenopodium album* L) [2]. Меньше всего на делянках произрастало мари белой – от 4 до 9 шт./м², а луговик дернистый и тимофеевка луговая занимали в травостое значительное место. Количество этих сорняков колебалось от 7 до 21 шт./м² каждого вида.

Полученные нами аналитические данные позволили установить определенные различия в металлоаккумуляции изучаемыми видами растений. Анализ содержания изучаемых тяжелых металлов в надземной фитомассе травянистых растений позволил выделить луговик дернистый как вид с высо-

кой металлоаккумулирующей способностью на загрязненной почве по отношению к фону. Так в контрольном варианте накапливалось 72,1 мг/кг абсолютно сухого вещества. При загрязнении 3,4,5 фонов аккумуляция Zn + Cu + Pb + Cd возросла в 1,4–4,6 раза.

Активность поглощения ТМ у тимофеевки луговой значительно меньше. В то же время марь белая в условиях химического загрязнения, вероятно, адаптирована к экстремальным условиям и обладает высоким механизмом барьерного поглощения металлов. Суммарное количество накопленных изучаемых металлов имело тенденцию к снижению. Вероятно, марь белая обладает высокой способностью потребления цинка. Из трех видов растений марь белая использовала Zn в 2–3 раза больше других сорняков. Но на загрязненных вариантах поглощение Zn снижалось. Из исследованных видов растений тимофеевка луговая более интенсивно поглощала кадмий, накапливая его при химическом загрязнении почвы. Каждый вид растений избирательно поглощает вполне определенное количество и в определенном соотношении те или иные элементы, отражая геохимическую ситуацию. Поэтому при определенном целенаправленном подборе растений на почвах, загрязненных токсикантами, открывается возможность фитопротекторного способа выращивания растениеводческой продукции. При выращивании растений разных видов на химически загрязненной почве степень аккумуляции экологически опасных элементов растительной массой разная.

При загрязнении ТМ почв изменяется видовой состав и активность почвенной микробиоты. Для интегральной оценки токсичности почвы проведено исследование биологической активности почв. В биологические методы определения активности почвы вошли: 1) определение влияния загрязнения почвы токсикантами на прорастание семян; 2) определение интенсивности разложения целлюлозы.

Изучение активности почвы методом тест-культуры (редис) показали, что дерново-подзолистая мало гумусированная почва по своим природным свойствам несколько отрицательно влияет на прорастание семян. Начальное загрязнение дерново-подзолистой почвы группой металлов (Zn, Cu, Pb, Cd), особенно биомикроэлементами, приводит к сдерживанию негативного влияния почвенного раствора. Средняя длина корешка редиса приближается к показателям абсолютного контроля (водопроводная вода). Высокое загрязнение (5 фонов) резко снизило этот показатель (20%), вероятно, данное явление связано с метаболическими нарушениями. Методом аппликаций по скорости развития на материале специфической и сопутствующей микрофлоры и по степени распада и убыли сухого вещества льняной ткани определялась активность почвенной микрофлоры. Для абсолютного контроля использовали почву вокруг данного опыта, на которой обнаружили слабую интенсивность разложения целлюлозы 29,5%. Искусственно доведенная дерново-подзолистая почва до уровня фона повысила микробиологическую активность до 38,0%, изменения составили 28,8%. Дальнейшее загрязнение почвы 3,4,5 фонов существенно снижает интенсивность разложения аппликаций.

Уменьшение активности микроорганизмов по сравнению с фоном составили 37,1–81%.

Таким образом, при оценке влияния загрязненной дерново-подзолистой почвы установлено, что концентрация подвижных форм тяжелых металлов, особенно Cd, увеличивается, создаются условия миграции опасных форм ТМ в круговороте веществ в природе. Люпин, интенсивно развивая биомассу, аккумулирует значительное количество поллютантов, что способствует выносу их за пределы загрязненных участков. В то же время сорная растительность, особенно луговик дернистый, могут выполнять роль фитопротектора ТМ, а также способствовать удалению поглощенных токсикантов. При этом биологическая оценка степени угнетения микробных ценозов загрязненной дерново-подзолистой почвы показала значительные изменения функционирования биоценозов.

Литература

1. *Алексеев В.А.* Геохимия ландшафта и окружающая среда. – М.: Наука, 1990.
2. *Анохин Ю.А., Воронская Г.Н., Никомин И.Я.* и др. Глобальный баланс ртути в биосфере. – Обнинск, 1978.
3. *Гармаш Н.Ю.* Тяжелые металлы и качество зерна пшеницы // Химия в сельском хозяйстве. – 1985. – № 6. – С. 48-49.
4. *Короткова А.А., Бурматов И.М., Филипченко Г.И.* Влияние внесения минеральных удобрений на накопление в почве и растениях тяжелых металлов // Агрехимия. – 1994. – № 10. – С. 102-108.
5. *Литвак Ш.И.* Агрэкологический мониторинг и методы управления расширенным воспроизводством плодородия почв в интенсивном земледелии // Агрэкологический мониторинг и проблемы расширенного воспроизводства плодородия почв: Науч. тр. / ВИУА. – 1991. – С. 18-23.
6. *Мажайский Ю.А., Захарова О.А., Ушаков Р.Н., Костин Я.В.* Эколого-геохимическая оценка антропогенных воздействий на почвенный покров Рязанской области. – Рязань: Изд-во МФ ГНУ ВНИИГиМ, 2005.
7. *Милащенко Н.З., Посметная Л.В., Варюшкина Н.М.* и др. Структура и основные задачи агроэкологического мониторинга // Вестник сельскохозяйственной науки. – 1990. – № 3. – С. 30-33.
8. Научные основы мониторинга земель Российской Федерации. – М.: АПЕК, 1992.
9. *Обухов А.И., Лурье Е.М.* Закономерности распределения тяжелых металлов в почвах дерново-подзолистой подзоны // Геохимия тяжелых металлов в природных и техногенных ландшафтах. – 1983. – С. 55-62.
10. *Alloway B.J., Morgan H.* The bioavailability and availability of Cd, Ni and Pb in polluted soils // *Cosntam: Soil. L int. Conf.* – 1985, 1986. – P. 101-113.

К ВОПРОСУ О ПРИЧИНАХ ФОРМИРОВАНИЯ РАДОНОВЫХ АНОМАЛИЙ В МОСКВЕ

П.С. Микляев*, Т.Б. Петрова,
А.В. Климшин***, В.М. Макеев***

*Институт геоэкологии им. Е.М. Сергеева РАН, Москва, Уланский пер., д. 13.
E-mail: peterm7@inbox.ru

**МГУ им. М.В. Ломоносова, химический факультет, кафедра радиохимии.
E-mail: alpinzayac@mail.ru

***Институт геофизики им. Ю.П. Булашевича УрО РАН, Екатеринбург, ул. Амундсена, 100.
E-mail: aklimshin@yandex.ru

Разработка эффективных методов оценки потенциальной радоноопасности и способов радонозащиты невозможна без знания механизмов поступления радона к дневной поверхности и выделения его в атмосферу и подвальные помещения зданий. Содержание радона в помещениях, плотность потока радона с поверхности почв на участках строительства зданий в настоящее время регламентируется различными нормативно-правовыми актами, и измеряется в ходе экологических исследований и инженерно-экологических изысканий. Однако параметры, характеризующие содержание радона в подпочвенном воздухе, плотность потока радона с поверхности грунта и закономерности поведения радона в геологической среде с геоэкологических позиций изучены слабо.

Результаты исследований радонового поля на территории Москвы показывают, что в отдельных точках измерения плотность потока радона (ППР) с поверхности грунта характеризуется аномальными значениями, в сотни и даже в тысячи раз превышающими поток радона в соседних точках измерения (т.н. «факельные выбросы»). Аномалии зарегистрированы лишь в 1% от общего количества измерений ППР на исследуемой территории, т.е. представляют собой относительно редкое явление. Однако для аномальных точек характерны крайне высокие абсолютные величины плотности потока радона, достигающие 1000-5000 мБк/м²с, что заставляет считать зарегистрированные аномалии важнейшим фактором радоноопасности на территории платформы. Эти значения близки к плотности потока радона с поверхности «хвостов» переработки урановых руд (1100 – 21000 мБк/м²с) в которых содержание радия-226 составляет 3000 – 10000 Бк/кг [1]. Содержание радия-226 в грунтах исследуемой территории составляет 5-50 Бк/кг. В редких случаях, в отдельных пробах юрских глин с включениями фосфоритов удельная активность радия достигает 200 Бк/кг, при этом фоновые потоки радона составляют 10-200 мБк/м²с, редко достигая 400 мБк/м²с. Фоновые потоки радона формируются в основном за счет диффузионного выноса радона из приповерхностных грунтов в атмосферу, и определяются содержанием радия в приповерхностных грунтах и локальными колебаниями проницаемости почвы и грунта

в точке измерения. Проведенные нами специальные исследования показали, что аномальные потоки радона не связаны ни с возможными локальными очагами радиоактивного загрязнения грунтов, ни с техногенным фактором (вибрационные воздействия, перекопанные грунты и т.п.) ни с развитием экзогенных геологических процессов (карстовые, суффозионные, оползневые). Источники повышенного выделения радона и механизмы формирования радоновых аномалий пока не ясны. Строго говоря, никаких видимых (регистрируемых) причин формирования столь контрастных аномалий, не обнаружено, что можно назвать «парадоксом факельных выбросов». Вместе с тем, опыт нанесения аномальных участков на карту показал, что они распределены в пространстве не случайным образом, а располагаются «кучно», формируя хорошо выраженные зоны сгущения, пространственно тяготеющие к геодинамически активным зонам, выделяемым на территории по комплексу структурно-геоморфологических и геолого-геофизических признаков.

Геодинамически активные зоны платформ являются областями концентрации и разрядки тектонических напряжений и повышенных градиентов возвратных, колебательных движений и деформаций горных пород. В пределах этих зон, в отличие от классических разломов, отсутствует собственно процесс разломообразования, т.е. не наблюдается направленных во времени, унаследованных подвижек слоев горных пород осадочного чехла (крыльевые зоны) и, соответственно, отсутствуют четко локализованные в пространстве и простирающиеся на большие глубины зоны тектонического дробления пород. В тоже время для геодинамически активных зон свойственны, повышенная подвижность, трещиноватость и проницаемость пород чехла, геофизические и гидрогеохимические аномалии, специфика экзогенных процессов. В приповерхностной зоне земной коры с этими зонами связаны закономерно распределенные элементы эрозионно-денудационного рельефа (линеаменты), ослабленные или наоборот избыточно напряженные, но тоже неустойчивые массивы горных пород [2]. Кроме того, в пределах геодинамически активных зон платформ развиты такие специфические процессы (характерные и для разломных зон в сейсмоактивных областях), как аномально интенсивные короткопериодные колебательные деформации земной поверхности, («суперинтенсивные» деформации) регистрируемые высокоточными геодезическими методами [3]. Пространственная связь аномалий радона с геодинамически активными зонами платформ не является сама по себе удивительной, однако, механизмы переноса радона в аномальных зонах и формирования контрастных аномалий пока не ясны. В литературе в настоящее время распространено мнение о существовании на платформах (по аналогии с сейсмоактивными областями) неких глубинных потоков дегазации земной коры или флюидодинамических зон, приуроченных к геодинамическим зонам. С этими зонами и связывают аномальные или повышенные потоки радона. Однако, такие взгляды являются результатом «механического» переноса результатов исследований, полученных в горно-складчатых областях, на платформы. Действительно, в горно-складчатых сейсмически активных областях, на щитах и выступах складчатого и кристаллического основания, зоны разломов являются

своего рода каналами, к которым приурочены глобальные потоки вещества и энергии в земной коре, в связи с чем, предположение о связи радоновых аномалий с тектоническими разломами вполне оправдано и подтверждено фактическими наблюдениями [4]. Однако геодинамически активные зоны нельзя отождествлять с классическими разломами, и считать их основными путями (каналами) глобального переноса вещества в толще осадочных отложений платформенного чехла. На платформах горизонтальная расслоенность геологической среды преобладает над ее вертикальной делимостью, и процессы массопереноса ориентированы преимущественно в горизонтальном направлении, будучи приуроченными к горизонтально залегающим слоям проницаемых пород, разделенным слабопроницаемыми глинистыми водо- и газупорными толщами. В геодинамически активных зонах за счет повышенной трещиноватости пород может наблюдаться более интенсивное вертикальное перетекание подземных вод через водоупорные толщи, или к этим зонам могут быть приурочены гидрогеологические окна в отдельных горизонтах чехла. Но эти явления не носят глобального, «сквозного» характера, и не сказываются существенно на общем субгоризонтальном направлении потока вещества. Обильная водоносность пород чехла и верхней части фундамента и слабая газонасыщенность подземных вод также делает маловероятным существование в геодинамически активных зонах платформы глубинных трансграничных вертикальных газовых потоков, как это предполагается многими исследователями. То есть геолого-геофизические и геодинамические предпосылки для того, чтобы считать геодинамически активные зоны платформ участками разгрузки геогаза, обогащенного радоном (по аналогии с разломными зонами в сейсмоактивных областях), отсутствуют. Все это заставляет искать иные механизмы и причины формирования аномальных радоновых полей в геодинамически активных зонах платформ.

Проведенные авторами исследования показывают, что радоновое поле крайне чувствительно к деформациям приповерхностного грунтового массива. Установлено, что вариации плотности потока радона с поверхности земли и объемной активности радона на глубине 0,5-1,0 м от поверхности тесно связаны с колебаниями скорости вращения земли. Так, обобщение результатов измерений плотности потока радона на территории Москвы, выполненных в период с 2002 по 2008 гг., показывает наличие тесной антикорреляции между ППР и изменением продолжительности суток по сравнению с эталонными (рис.). Причем, синхронные временные колебания ППР, коррелирующие с изменением скорости вращения земли, наблюдаются по результатам режимных наблюдений на экспериментальных площадках, расположенных в Москве, Екатеринбурге и Пятигорске, т.е. на территориях совершенно разных с точки зрения геологического строения, климатических условий, и отстоящих друг от друга на тысячи километров. Все это свидетельствует о глобальном характере процесса. Плотность потока радона возрастает с увеличением скорости вращения земли (уменьшением отклонения длительности суток), и заметно снижается при ее замедлении (увеличении длительности суток).

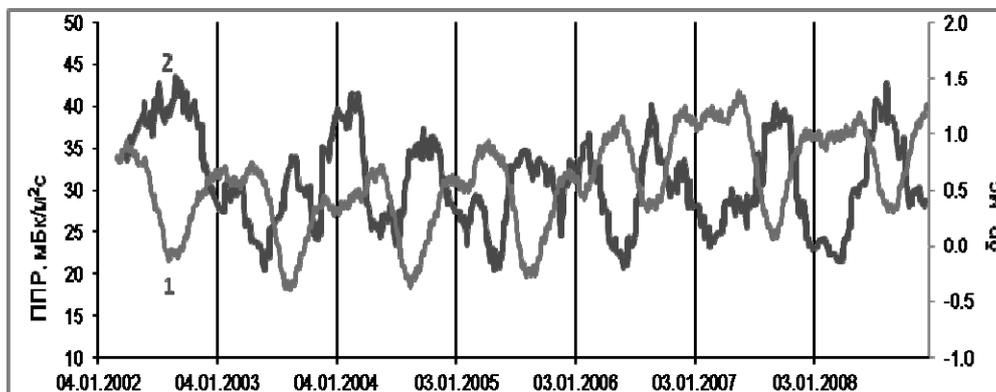


Рис. 1. Сопоставление изменения отклонения длительности суток от эталонных ΔT (1) и колебаний плотности потока радона (2) в Москве в период с 2002 по 2008 год. Данные усреднены по 30 дням (фильтр скользящее среднее)

Связь сезонных колебаний объемной активности радона в грунтах с изменением скорости вращения земли отмечалась многими исследователями [4,5]. Известно [5], что в результате приспособления геоида к меняющемуся ротационному режиму планеты (изменению осевой скорости вращения земли), возникают периодические вертикальные деформации земной поверхности, обусловленные волнами сжатия-растяжения ротационной природы, и регистрирующиеся по вертикальным перемещениям грунтовых реперов. Причем, непосредственные измерения напряжений в массиве грунтов [5], показывают, что увеличению скорости вращения земли соответствует нарастание растягивающих напряжений в массиве, а уменьшению – сжимающих. С глубиной деформации грунтового массива затухают в связи с увеличением бытовой нагрузки от вышележащих пород [5]. Нашими исследованиями также установлено затухание с глубиной колебаний объемной активности радона в грунтовом воздухе, и ослабление их связи с ротационным фактором. Эта связь перестает проявляться уже на глубине 1,5 м.

Таким образом, установлено, что рост плотности потока радона в условиях фоновых радоновых полей тесно связан с деформациями растяжения, формирующимися в приповерхностном грунтовом массиве. Это позволяет предполагать, что аномальные значения ППР могут быть обусловлены аномальными деформациями растяжения грунтового массива. Причем, эти аномальные деформации должны проявляться в приповерхностном слое грунтов и непосредственно на поверхности земли. Это позволяет предположить связь выявленных аномалий ППР с явлением «суперинтенсивных» деформаций (просадок) земной поверхности. Последние регистрируются высокоточным повторным нивелированием как в орогенных, так и в платформенных регионах, причем скорость деформаций земной поверхности в этих аномальных зонах (до 70 мм в год) на порядок превышает фоновые значения, характерные

для платформенных регионов. Важно, что указанные деформации и выявленные нами аномалии ППР обладают общими характеристиками, а именно, приуроченностью к геодинамически активным зонам, дискретным распределением в пространстве, пульсационной направленностью (повторяются в одном и том же месте в разные интервалы времени), и нелинейностью, т.е. неадекватно большим откликом на слабые воздействия (в том числе на отдаленные землетрясения). Формирование «суперинтенсивных» деформаций связывается с растягивающими напряжениями в массиве. Как полагает Ю.О. Кузьмин [3], при формировании просадок реализуется механизм параметрического возбуждения (индуцирования) аномальных деформаций в геодинамически активной зоне, когда в качестве источников «суперинтенсивных» деформаций выступает не внешнее (региональное, локальное) поле напряжений, а процессы, протекающие в самой зоне – изменения параметров среды (модуля жесткости, коэффициента трения и т.п.), возникающие внутри зоны под влиянием крайне малых внешних воздействий.

Таким образом, «суперинтенсивные» деформации земной поверхности следует рассматривать в качестве наиболее вероятной причины формирования аномальных факельных выбросов плотности потока радона с поверхности земли.

Работа выполнена при поддержке РФФИ, проект № 13-05-00975-а, № 13-05-01112-а.

Литература

1. Источники, эффекты и опасность ионизирующей радиации: Доклад научного комитета ООН по действию атомной радиации Генеральной ассамблее за 1988 г. С приложениями: в 2-х т. Т. 1.: Пер. с англ. – М.: Мир, 1992. – 522 с.
2. Макаров В.И., Дорожко А.Л., Макарова Н.В., Макеев В.М. Современные геодинамически активные зоны платформ // Геозкология. – 2007. – №2. – С. 99-110.
3. Кузьмин Ю.О. Современная аномальная геодинамика асейсмичных разломных зон // Электронный научно-информационный журнал «Вестник отделения наук о Земле РАН». – 2002. – №1(20). URL: http://www.scgis.ru/russian/cp1251/h_dgggms/1-2002/scpub-13.pdf
4. Рудаков В.П. Эманационный мониторинг геосред и процессов. – М.: Научный мир, 2009. – 176 с.
5. Селюков И.Е., Стигнеева Л.Т. Краткие очерки практической микрогеодинамики. – СПб.: Питер, 2010. – 176 с.

ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ И ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКАЯ ИЗУЧЕННОСТЬ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ТВЕРДЫХ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ В РЕСПУБЛИКЕ УЗБЕКИСТАН И ДОСТИГНУТЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

М.М. Мирасланов, М.М. Закиров

Государственное предприятие «Институт ГИДРОИНГЕО», Узбекистан, Ташкент,
ул Олимлар, 64. E-mail: hydrouz@rambler.ru

В горно-складчатых и пустынных зонах Республики Узбекистан разведано и разрабатывается большое количество разных типов месторождений, сконцентрированных в Чаткало-Кураминских, Нурата-Зарафшанских, Байсунтауских горах и Центрально-Кызылкумских возвышенностях. В последние годы одной из тенденций развития горнорудной промышленности является вовлечение в разведку и отработку месторождений полезных ископаемых, характеризующихся более сложными инженерно-геологическими, гидрогеологическими условиями, и находящихся в наиболее глубоких горизонтах. В связи с этим увеличивается техногенная нагрузка на геологическую среду, следствием которой является развитие непредвиденных инженерно-геологических процессов, приводящих к технологическим сложностям в разведке и отработке месторождений. Для решения этой проблемы при разведке рудных и не рудных месторождений твердых полезных ископаемых (МТПИ), в гидрогеологических экспедициях созданы отряды и группы с 1973 г., которые проводят гидрогеологические и инженерно-геологические исследования МТПИ на разных стадиях геологоразведочных работ. В развитии рудничной инженерной геологии и гидрогеологии Узбекистана главную роль сыграл институт ГИДРОИНГЕО. В нем 1974 г. создана лаборатория инженерной геологии и гидрогеологии МТПИ, в которой осуществлялись методические проработки на угольных, рудных, фосфоритовых и месторождениях строительных материалов. Сотрудниками лаборатории проведены инженерно-геологические и гидрогеологические исследования на 20-ти эксплуатируемых и более 70-ти разведываемых месторождениях, в итоге достигнуты следующие результаты: за 50 летний период эксплуатации МТПИ в горнорудных районах произошли изменения геологической среды, выразившиеся в различной модификации геоморфометрических характеристик местности, состава, состояния, свойств горных пород, гидрогеологических условий, формировании инженерно-геологических процессов, загрязнении прилегающих земель и водного бассейна; образовался плюсовой рельеф высотой до 50-60 м и 80-120 м, площадью до 2-3 и 8-10 км²; создан (карьерными) минусовой рельеф глубиной до 560 м и площадью до 8-10 км²; в отвальных, под отвальных грунтах и на бортах карьеров и стенок горных выработок изменились физические и механические свойства горных пород; прочностные характеристики отвальных грун-

тов на порядок ниже, а удельная трещиноватость на порядок выше, чем при естественном залегании пород; на бортах карьеров и стенках горных выработок до 20% понизились прочностные свойства; чем до образования выемок; также за счет разгрузки и динамических воздействий взрывов сформировались искусственные трещины, глубина распространения которых достигали до 3 м, где плотность трещин увеличилась почти в два раза; в процессе длительной эксплуатации на бортах карьеров произошли крупные оползни, обрушения, обвалы, осыпи, а в подземных горных выработках – обрушения, вывалы, куполение, выдавливание пород, провальные воронки, мульды сдвигения, посадки кровли и др; в некоторых случаях оползни вывели из строя систему горных работ, в результате несколько уступов карьеров были законсервированы, а иногда и в целом месторождения (в частности карьер Кургашинкан); аналогичные случаи наблюдались при подземной разработке на Агата-Чибаргатинском флюоритовом месторождении и др.; в районе разведанных и эксплуатируемых горных выработок изменились гидрогеологические условия, нарушились естественный режим и химический состав подземных вод, радиус депрессионной воронки достиг 3 км; в районе ухудшился микроклимат, почвы и водоемы загрязнены различными вредными элементами.

В районах интенсивного развития МТПИ разработаны природоохранные мероприятия для охраны и рационального использования геологической среды на региональном и локальном уровне. Определены природа образования ослабленных зон различного генезиса и их связь с развитием крупных оползней, происходящих при разработке угольных месторождений. Установлены закономерности изменения показателей прочности горных пород в различных ослабленных зонах глубоких горизонтов, в период смещения они имеют близкие значения. Выявлена роль ослабленных зон в изменении устойчивости бортов угольных карьеров. На основе проведенных исследований разработаны методические рекомендации по их изучению.

Проведено обобщение натурных наблюдений за развитием зон формирования инженерно-геологических процессов (ИГП) для прогноза при открытом и подземном способах разработки глубоких горизонтов. Сделан научный анализ зависимости зон формирования ИГП от параметров и расположения горных выработок, позволяющий прогнозировать типы, виды, размеры и механизмы ИГП. Разработана принципиальная схема и создан банк и база данных крупных деформаций на откосах уступов и бортов карьеров. Выявлены закономерность и зональность формирования ИГП в зависимости от залегания и пространственного расположения зоны формирования деформируемой толщи в плоскости горных выработок и глубины разгрузки и базиса эрозии. Выявлены факторы и причины формирования ИГП, установлены критерильные признаки типов деформации, оценочные параметры (динамичность, масштабность и опасность каждого из типов процесса). Проведена типизация ИГП, развитых при разведке и разработке месторождений в горнорудных районах и в целом по МТПИ Узбекистана. Разработана прогнозная информационная модель зоны формирования ИГП на МТПИ. Она динамичная, комплексная, удобно используемая и дает множественную (до 36) информацию о

формировании и развитии каждого типа и вида ИГП. Выявлены особенности инженерно-геологических условий золоторудных месторождений горно-складчатых областей и Центральных Кызылкумов на территории Узбекистана. Главная особенность месторождений горно-складчатой зоны состоит в том, что рудные тела пересекают несколько литологических разностей пород под большим углом и приурочены к зонам тектонических нарушений. Кроме этого, отмечаются повышенная обводненность, интенсивная трещиноватость пород и др. Для Центральных Кызылкумов характерно частое чередование различных литологических разностей, невыдержанных по мощности и простираению, широкое развитие зон расщепления и перемятия пород, наличие разнотипных разноориентированных разрывных нарушений. Эти особенности явились основой разработки временных методических рекомендаций по изучению инженерно-геологических условий золоторудных месторождений при их разведке.

Разработан принцип инженерно-геологического опробования горных пород при разведке месторождений: литологический и литолого-тектонический. Литологический принцип используется при опробовании угольных и фосфоритовых, а литолого-тектонический принцип при опробовании всех остальных типов месторождений. Обоснованы места, интервал, количество точек опробования в зависимости от стадии разведки.

Разработан принцип составления карты прогноза инженерно-геологической устойчивости к изменению естественной обстановки при разработке месторождения. Принцип составления таких карт основан на многопараметровой геомеханической классификации породного массива (ПМ). Выделяются главные компоненты ПМ и в зависимости от удельного веса каждого компонента, способного изменить состояние ПМ, устанавливаются соответствующие «баллы». Числовые значения для максимально благоприятных условий участка составляют: прочность пород 40 баллов, коэффициент трещиновой пустотности – 22 балла, коэффициент размягчаемости – 10 баллов, коэффициент нарушенности – 12 баллов, форма структурного блока – 8 баллов, ориентировка главных напряжений относительно горных выработок – 8 баллов. В целом суммарный показатель в идеальных благоприятных условиях составляет 100 баллов. При ухудшении состояния породного массива числовые значения суммарных показателей инженерно-геологических характеристик пород снижаются, а также изменяются соответственно другие компоненты ПМ.

Разработаны инженерно-геологические критерии по выбору экологически безопасных мест для захоронения жидких, пастообразных, твердых токсичных отходов на территории Узбекистана. На выделенных площадях проведены гидрогеологические и инженерно-геологические исследования, в результате которых охарактеризованы площади пригодные для размещения полигонов захоронения промышленных отходов, обоснованы конструктивные параметры могильников и оптимальная технология и эксплуатация. Дана прогнозная оценка возможного влияния создаваемых полигонов на окружающую среду. Разработаны методические рекомендации по инженерно-

геологическому изысканию на полигонных участках при различных стадиях проектирования.

Дана оценка состояния геологической среды естественного и промышленного опустынивания территории Центральных Кызылкумов. Сформулировано понятие «промышленная пустыня», установлены причины и факторы формирования «промышленных пустынь», выявлены источники, виды, степень деградированно-нарушенных земель и основные негативные компоненты промышленных пустынь, разработаны критерии формирования «промышленных пустынь». Дана оценка процессов промышленного опустынивания и характер их развития на территории Учкудукской, Зарафшан-Бесапанской и Навоийской промзон [2]. Проведен анализ состояния породного массива высоких бортов при длительной эксплуатации месторождений, выявлены факторы и причины формирования деформаций и прогноз их устойчивости исследований дана инженерно-геологическая и гидрогеологическая оценка опыта разведки, строительства и эксплуатации МТПИ республики; проведена типизация месторождений по сложности инженерно-геологических условий, отражающая категории сложности, характерную особенность разработки, виды месторождений, генетические типы, горнотехнические условия разработки и необходимые вопросы к инженерно-геологическим исследованиям в соответствие с категорией сложности; выявлены интенсивность и характер развития деформаций на бортах глубоких карьеров при их длительной эксплуатации; установлены этапность развития деформации для высоких бортов. Составлен справочник физико-механических свойств горных пород охватывающий 110 рудных месторождений Узбекистана [2], который содержит научный анализ, синтез и обобщение многочисленных накопленных за период 1950-2003 гг. материалов, выполненных лабораторных испытаний физико-механических свойств горных пород на разных стадиях разведки и эксплуатации установлены основные закономерности изменения физико-механических свойств в зависимости от степени нарушенности, трещиноватости породного массива и вторичных изменений пород. В литологически однотипных породах в сильнотрещиноватых зонах прочность уменьшается в 2-2,5 раза, также уменьшение связано с образованием вторичных минералов (гидроокиси железа, пелита, хлорита, серицита, альбита) до 20%, а наличие в образцах карбоната, кварца рудного минерала повышает прочность до 10-15%; выявлены и оценены более чувствительные показатели, реагирующие на различные факторы, а также выявлены причины большого разброса данных в литологически однотипных породах. Наряду с трещиноватостью, нарушенностью и вторичными изменениями большую роль играет технологическая схема испытания образцов. В сланцевых толщах или породах, имеющих чешуйчатое структуры, сопротивление сжатию, полученное при испытании перпендикулярно слоистости, имеет самое высокое значение (63,4-128,3 МПа), а при испытании параллельно слоистости – самое низкое (48,6-62,3 МПа), в естественном залегании (около 50-70%) и находится в промежутке (61,8-83,5 МПа); составлена классификация литологически однотипных пород по прочности, где выделяются 5 категорий прочности: I – «слабые

породы», имеют менее 10 МПа, II – «низкопрочные породы» – $\tau_{сж}=10-30$ МПа, III – «прочные породы» – $\tau_{сж}=30-50$ МПа, IV – «высокопрочные» породы – $\tau_{сж}=50-100$ МПа; составлен реестр (в инженерно-геологическом аспекте) для 70 рудных месторождений (цветных и благородных металлов), где приводится основная информация, характеризующая горно-геологические, инженерно-геологические и гидрогеологические условия месторождений. Разработаны требования к гидрогеологическим и инженерно-геологическим исследованиям при разведке месторождений твердых полезных ископаемых [3], являющиеся первым методическим пособием в системе отрасли геологических наук. В основу требований положена концепция гидрогеологии и инженерной геологии МТПИ, направленная на повышение эффективности геологоразведочных работ на стадии разведки и освоения месторождений, а также безопасное ведение горно-эксплуатационных работ. С этой точки зрения проанализированы литературные источники, инструктивно-нормативные положения, включающие требования к гидрогеологическим и инженерно-геологическим материалам на стадии геологоразведочных работ. Проанализированы гидрогеологические и инженерно-геологические работы 50 летних исследований на месторождениях твердых полезных ископаемых территории Узбекистана, сопоставлены с литературными данными и опубликована монография «Инженерная геология, гидрогеология месторождений твердых полезных ископаемых Узбекистана» [4]. Монография является справочно-методическим руководством по изучению инженерно-геологических и гидрогеологических условий МТПИ Узбекистана. Приведенные в ней примеры могут, являясь методическим пособием и объектом аналогом для вновь изучаемых месторождений.

Литература

1. *Арипова Ф.М., Мирасланов М.М., Закиров М.М., Мавлянов Н.Г.* Физико-механические свойства горных пород рудных месторождений Узбекистана. Справочник. – Ташкент: Типография Центра по науке и технологиям, 2006. – С. 223.
2. *Мирасланов М.М., Закиров М.М., Мавлянов Н.Г.* Промышленные пустыни, факторы, причины и критерии // Горный вестник Узбекистана. – 2007. – № 2(24).
3. *Мирасланов М.М., Закиров М.М.* Требования к гидрогеологическим и инженерно-геологическим исследованиям твердых полезных ископаемых. – Ташкент: Типография Центра по науке, 2007. – С. 132.
4. *Мирасланов М.М.* Инженерная геология, гидрогеология месторождений твердых полезных ископаемых Узбекистана. – Ташкент: Типография ГП «НИИМР». – С. 227.

ОБ АКТУАЛЬНОСТИ ИДЕЙ АКАДЕМИКА Е.М. СЕРГЕЕВА «О ШИРОКОЙ ГЕОЛОГИЗАЦИИ ГРУНТОВЕДЕНИЯ И ИНЖЕНЕРНОЙ ГЕОЛОГИИ» СЕГОДНЯ

Н.Ф. Петров¹, Н.А. Прокопьева², И.В. Никонорова¹

¹Чувашский государственный университет им. И.Н. Ульянова, 428015, Чебоксары,
Московский пр., д. 15. E-mail: petrovnf@gmail.com

²ЗАО Институт «Чувашгипроводхоз», 428024, г. Чебоксары, пр. И.Яковлева 19.

В русле тематики настоящей конференции (Развитие научных идей академика Е.М.Сергеева на современном этапе) особую ценность представляют воспоминания его учеников и соратников о многогранной деятельности юбиляра [1]. По этим сведениям в палитре направлений научных исследований Евгения Михайловича (природа прочности горных пород, особенности в понимании роли структуры в литологии к в грунтоведении, характер структурных связей между элементами грунта, природа и роль связанной воды, проблемы охраны геологической среды и его рационального использования и др.) актуальными представляются деятельность по «геологизации грунтоведения и инженерной геологии», а также системность его взглядов на геологическую среду – от минерального уровня к горно-породному, а от последнего – к формационному.

Мы благодарны академику, его учителям и соратникам за подобную многогранную деятельность, за создание основ некогда передовой советской инженерной геологии [2], как неотъемлемой части геологических наук о Земле, и удержать ее от сползания в русло «геотехнического подхода» в инженерных изысканиях, далекого от понимания роли геологических факторов, истории геологического развития региона, его частей в формировании свойств горных пород и территориальных природных особенностей.

По В.И.Осипову [1, с.85], необходимость в «геологизации» грунтоведения, в его насыщении достижениями исторической и структурной геологии, других фундаментальных геологических наук, была вызвана в середине прошлого века, в частности, и тем обстоятельством, что молодое грунтоведение, недавно отпочковавшееся от почвоведения, крайне нуждалось в геологической подпитке. Будучи подлинным геологом по образованию и мировоззрению, Е.М. Сергеев не сомневался, что истоки теории прочности пород – в их генезисе и в последующей истории развития (в литогенезе, метаморфизме, в тектонических преобразованиях, в выветривании и др.). Само это направление воспринимается как преемственное развитие взглядов основоположников инженерной геологии (ИГ) Ф.П. Саваренского, его ученика В.А. Приклонского и других классиков нашей науки. Не будет излишним вспомнить, что Ф.П. Саваренский определял инженерную геологию [3, с.47] как «специализированную отрасль **геологических наук** применительно к специфическим требованиям строительства, используя для этого приемы и

методы, разработанные при изучении механики грунтов», а В.А. Приклонский рассматривал инженерную геологию как **науку геологического цикла**, сочетающую естественно-исторические и инженерно-технические направления. У обоих ученых, как и у Е.М.Сергеева, примат геологической компоненты в ИГ очевиден. Аналогичной точки зрения придерживаемся и мы. Еще более «геологичной» ИГ была, пожалуй, у В.Д. Ломтадзе и некоторых других корифеев ИГ (И.В. Попов, Г.С. Золотарев и др.).

Можно было бы и воздержаться на данной конференции от озвучивания этих, многим известных, сведений, если бы не участились, особенно в последние годы, атаки на инженерную геологию якобы за ее «чрезмерную геологичность», т.е. по ее дегеологизации и геотехнизации. Процесс размывания геологического из инженерной геологии, подмены геологических тел техногенными под эгидой достаточности выделения в строительных целях часто абстрактных инженерно-геологических элементов (ИГЭ) осуществляется в разных направлениях: под видом актуализации нормативных документов [6], подготовки специалистов по инженерным изысканиям не в геологических вузах, как раньше, а в строительных [5] и др. Особенно усердствуют в этом направлении некоторые геотехники и даже грунтоведы.

Известный инженер-геолог Э.Р. Черняк перечисляет три удара, полученные инженерными изысканиями [6] в последние годы (с 2008 г. по 2011 г.): 1-ый – в 2008 г. Постановлением № 87, разрушившим структуру прежних изысканий, 2-ой – в 2009 г. Приказом № 624 с несуществующими в мире технологиями и видами изыскательских работ, 3-ий удар – СП 22.13330.2010 (актуализированная редакция СНиП 2.02.01-83) с откровенными нелепостями (у Черняка – глупостями) непрофессиональных руководителей отрасли. Не будет преувеличением сказать, что важнейший компонент строительной отрасли «инженерная геология» переживает состояние, близкое к прострации.

Сказанное подтверждается массой примеров из практики проектно-изыскательских работ, в том числе и на объектах федерального значения. Так, на дороге М-7 «Москва–Н.Новгород–Казань–Уфа» на пересечении с долиной р.Сура (Чувашия), в ее естественно оползневом правобережье, специалисты Института «ГипродорНИИ» (Москва) и ее Саратовского филиала удосужились в течении более десяти лет (с 2002 г. по 2012 г. включительно) «не заметить» эти оползни и запроектировать на оползневом склоне (ПК30 – ПК42), без каких-либо расчетов устойчивости, автодорогу 1-го класса на грунтовой насыпи высотой местами до 10,0 м. В тех местах, где насыпь оказалась на активных головных блоках Вр или Сб давнеоползневых ярусов, начались (5-го июля 2012 г.) оползневые деформации уже в процессе возведения насыпи при ее высоте 6-7 м, или на 1,5-2,0 м ниже проектных отметок. Строительство дороги приостановилось, срок сдачи объекта (конец 2012 г.) был сорван. Нашими экстренными изысканиями (июль – август 2012 г.) был подтвержден оползневой характер склона, многоблочность оползневых систем, их ярусное и этажное строение, выявлены причины активизации давних оползней и разработаны рекомендации по стабилизации дорожного

полотна [4]. Однако проектировщик, ГипродорНИИ, не внял этим советам, оставался на своих прежних позициях об отсутствии здесь оползней и вместо корректуры проекта дороги с учетом оползневого характера склона почти год занимался «доказательством» недоказуемого об отсутствии оползней на оползневом склоне. Для экспертизы материалов изысканий он привлек сотрудников множества организаций (МГУ, Институт Геоэкологии РАН, ООО НТЦ Геопроект, МАДИ и др.) и выполнил в феврале месяце в условиях многоснежной зимы в лесу дополнительные буровые работы (более 800 м бурения между ПК37 и ПК40). Данные экспертизы и нового бурения однозначно свидетельствовали об оползневом характере склона. Круг замкнулся. Результаты этих работ показаны на рис.1 – план (фрагмент карты фактического материала) и рисунках 2 и 3 – в вариантах разрезов давних и активных оползней в створе IV-IV для их сравнения между собой.

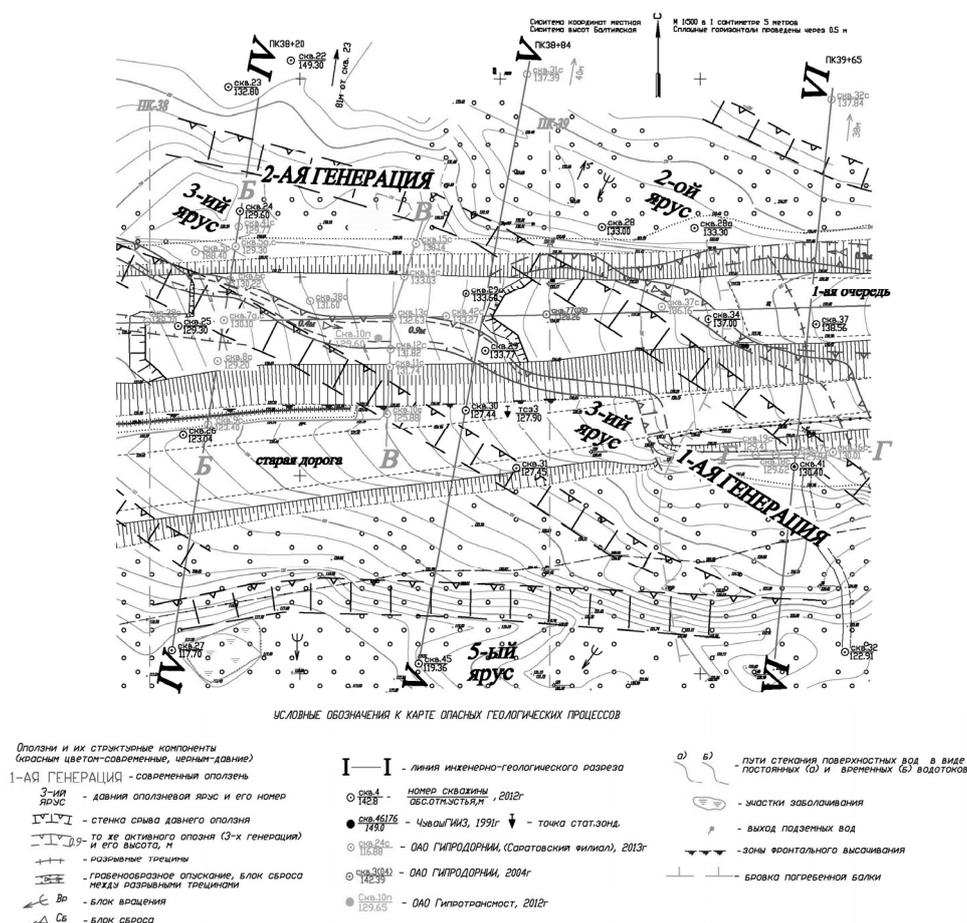
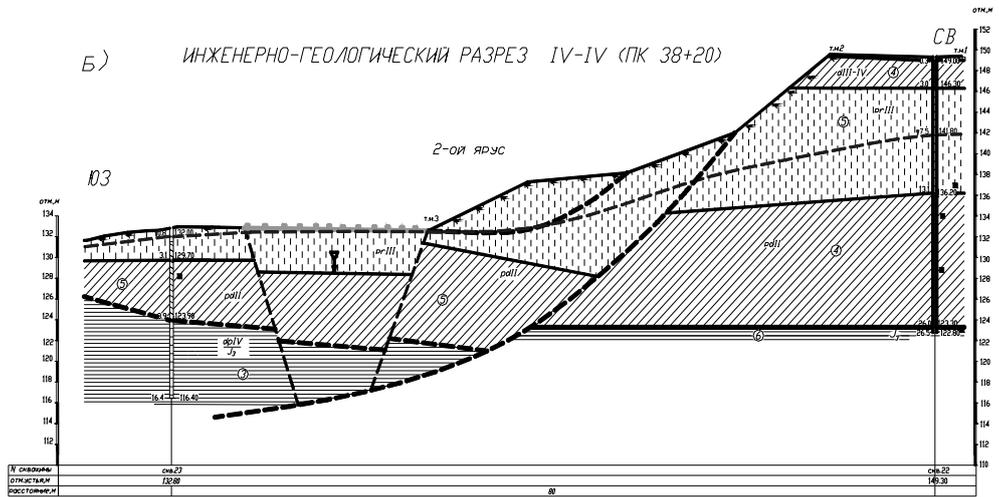
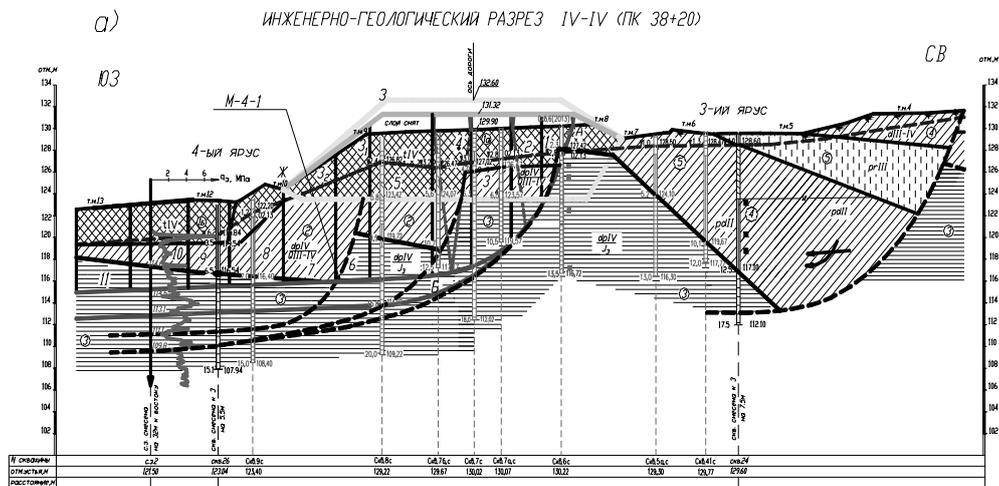


Рис. 1. Фрагмент карты фактического материала и опасных геологических процессов

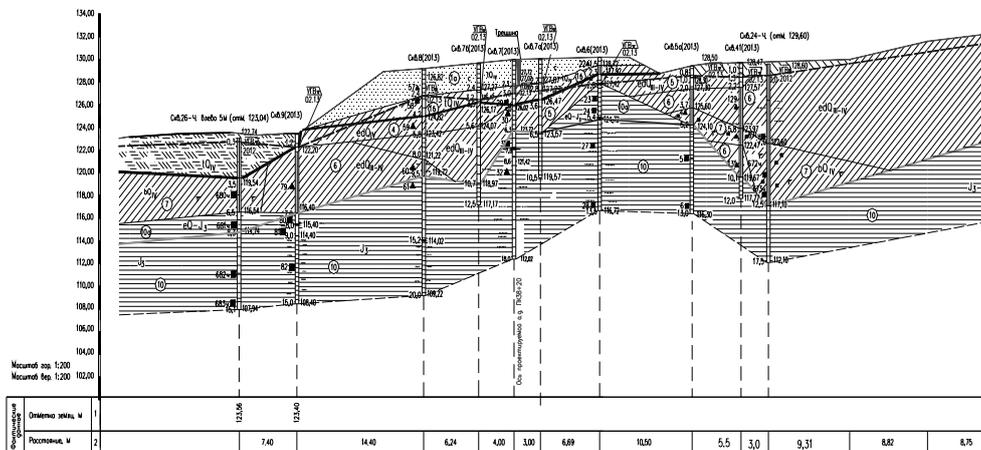


УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ

<p>Четвертичные отложения</p> <ul style="list-style-type: none"> IV - насыпные глины III-V - оползневые образования III-V - суглинок лессовидный III - суглинок <p>Волжские отложения</p> <ul style="list-style-type: none"> J₃ - глина J₃ - алевит J₃ - песок 	<p>Литологические особенности</p> <ul style="list-style-type: none"> - хрупкость/гибкость - трещиноватость/известковатость - прослойки глыбы/песчаность - прослой алевита <p>Границы</p> <ul style="list-style-type: none"> — литологическая — стратиграфическая — предполагаемые (лит., стратиг.) — инженерно-геологическая - - - - - уровень подземных вод 	<p>① - номер инженерно-геологического элемента</p> <p>Место отбора проб:</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ - граница ненарезанного слоя ▲ - граница нарезанного слоя <p>Цветами показаны:</p> <ul style="list-style-type: none"> — поверхность скопления современного оползневания — поверхность скопления прогнозного оползневания — предполагаемая поверхность скопления древнего оползневания — проектная граница насыпи — насыпь на момент образования оползневания 07.07.12 	<p>Базовая свалка</p> <ul style="list-style-type: none"> 25 1267 - слева граница подошвы слоя, и справа отметка слоя, и слева граница застаивающегося слоя 136 1157 - подземных вод (ГПВ), и справа отметка застаивающегося ГПВ, и дата замера 150 1017 - слева граница зловон, и справа отметка зловон, и <p>Базовая свалка</p> <ul style="list-style-type: none"> 25 1267 - 136 1157 - ОАО ГИРОДОРНИИ (Саратовский филиал) 2013 150 1017
---	---	--	--

Рис. 2. Фрагмент инженерно-геологического разреза IV-IV (а и б)

а) Геолого-литологический разрез по линии IV-IV на ПК 38+20



б) Геолого-литологический разрез по линии IV-IV на ПК 38+20

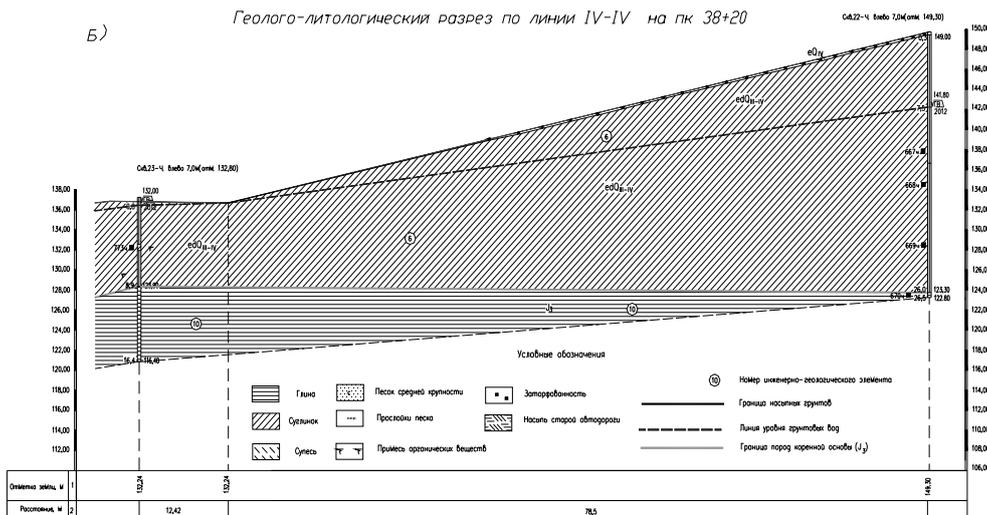


Рис. 3. Фрагмент того же инженерно-геологического разреза IV-IV, составленного саратовцами (а и б)

Последние составлены по одним и тем же скважинам: 1-ый вариант (рис. 2а и 2б) – авторами статьи, а 2-ой (рис. 3а и 3б) – саратовцами с МАДИ. В варианте саратовцев на оползневом склоне оползни не показаны даже после гигантского объема бурения (более 1000 м на отрезке трассы длиной около 300 м). В 1-ом варианте реализован инженерно-геологический подход к изучению геологической среды, в котором основная часть информации

о строении оползневого склона получена путем маршрутного искаживания и визуальных наблюдений по специальной методике картирования оползневых систем. Данные же бурения здесь являются вспомогательными для суждения о составе и состоянии оползневых образований и пород коренной основы, о глубине деформаций, положении водоносных горизонтов.

Второй вариант – типичный продукт геотехнического подхода, в котором нет места данным о происхождении и условиях залегания геологических тел, нет ни геоморфологических, ни гидрогеологических проблем, кроме УПВ, состава и агрессивности.

Не случайно, на подобных разрезах нет ни оползней, ни форм залегания слоев (субгоризонтально, наклонно, субвертикально и почему), ни погребенных балок, ни разновозрастных поверхностей выравнивания. Вряд ли нужен еще более яркий пример для подтверждения вывода о дегеологизации инженерных изысканий, о падении профессионального уровня изыскателей (например, изыскательских служб системы ГипродорНИИ). Все это хорошо видно из приведенных разрезов. Изыскатели Саратовского филиала, прежде всего, не разобрались в геоморфологии долины р. Сура, приняв оползневой склон за делювиальный. Ошиблись они и в оценке грунтовых и гидрогеологических условий массива (в частности, в оценке несущих и деформационных свойств юрских глин), приведших к грубым ошибкам в проектировании, а при строительстве дороги по этому проекту – к оползневым деформациям возводимой грунтовой насыпи.

В заключении уместно привести редакционную реплику о сущности геолога из журнала [Инженерная геология, 2006, май, с.2]: несмотря на технический прогресс «альтернативы геологу с молотком, острым взглядом и пытливым умом нет и еще долго не будет».

Литература

1. Воспоминания об академике Е.М. Сергееве (к 90-летию со дня рождения) / Под ред. В.И. Осипова, В.Т. Трофимова. – М.: ГЕОС, 2004. – 230 с.
2. *Богданов М.И.* Задачи инженерной геологии на современном этапе // Инженерная геология. – 2006. – Май. – С. 3-4.
3. *Коробанова И.Г.* Инженерно-геологическое изучение горных пород в ЛГТП и ПНИИС // Инженерная геология. – 2006. – Май. – С. 47-54.
4. *Петров Н.Ф., Павлов А.Н.* Оползни на автомобильной дороге М–7 «Волга» (Москва–Казань, 583-584 км) в правобережье р. Сура в Чувашской Республике // Современные проблемы науки и образования. – 2012. – № 6; URL: <http://www.science-education.ru/106-7772> (дата обращения: 17.12.2012).
5. *Теличенко В.И., Чернышев С.Н., Потапов А.Д., Тер-Мартirosян З.Г., Зерцалов М.Г.* О необходимости подготовки специалистов по инженерным изысканиям в строительстве на базе строительных вузов геологии // Инженерная геология. – 2007. – Март. – С. 13-15.
6. *Черняк Э.Р.* Взгляд изыскателя на СП 22.13330.2011 (актуализированная редакция СНиП 2.02.01-83* «Основания зданий и сооружений») // Инженерные изыскания. – 2011. – №12. – С. 4-8.

ИССЛЕДОВАНИЯ ЕСТЕСТВЕННОЙ РАДИОАКТИВНОСТИ ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ СРЕДЫ

Т.Б. Петрова *, П.С. Микляев*, А.В. Климшин **,**

*МГУ им. М.В. Ломоносова, химический факультет, кафедра радиохимии.

E-mail: alpinzayac@mail.ru

** Институт геофизики им. Ю.П. Булашевича УрО РАН, Екатеринбург, ул. Амундсена, 100.

E-mail: aklimshin@yandex.ru

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

E-mail: peterm7@inbox.ru

Исследования фоновой радиоактивности геологической среды – одна из важнейших задач геоэкологии. Прежде всего, знание фона необходимо для оценки доз облучения населения природными источниками ионизирующего излучения, а также в качестве исходных данных («нулевого уровня») при исследованиях радиоактивного загрязнения территорий и оценки его воздействия на здоровье населения. Авторами предложен новый подход к радиоэкологическому картированию территорий, не подверженных техногенному радиоактивному загрязнению, основанный на закономерных связях между мощностью AMBIENTНОГО эквивалента дозы гамма-излучения (гамма-фона) территории, радиоактивностью приповерхностных отложений, и их геолого-генетическим типом. Анализ литературы [1-3] и проведенные авторами исследования показывают, что радиоактивность геологической среды, т.е. содержание в горных породах и рыхлых отложениях природных радионуклидов (^{226}Ra , ^{232}Th и ^{40}K) обусловлено их минеральным составом и сорбционной способностью. В свою очередь, эти параметры контролируются особенностями петрологического (кислотностью, щелочностью) и литологического состава пород (карбонатностью, дисперсностью, и т.п.) и условиями их формирования.

Дисперсные четвертичные отложения наименее исследованы по сравнению с магматическими и метаморфическими образованиями с радиогеохимической точки зрения.

Изучение радионуклидного состава осадочных отложений Восточно-Европейской платформы проводилось на образцах, отобранных на обширной территории районах Восточно-Европейской платформы (Московская, Новгородская, Ленинградская, Нижегородская, Самарская, Курская обл., респ. Беларусь) в ходе полевых исследований в период 2008-2012 гг., а также в ходе полевого сезона 2013 г. Всего проанализировано более 500 образцов. Отбор образцов сопровождался геологическим описанием образцов и территории отбора, измерением гамма-фона (мощности AMBIENTНОГО эквивалента дозы гамма-излучения) в месте отбора проб. По результатам измерений рассчитаны средние значения эффективной удельной активности естественных радионуклидов в грунтах, определяющей интенсивность гамма-излучения этих

отложений. Обобщенные результаты измерений приведены в табл. 1. Из таблицы видно, что для каждого литологического типа отложений характерно строго определенное содержание радионуклидов и значения эффективной удельной активности естественных радионуклидов.

Таблица 1

Удельная активность естественных радионуклидов в осадочных отложениях Восточно-Европейской платформы (Московская, Новгородская, Нижегородская, Ленинградская, Курская обл., Белоруссия)

Литологический состав	A _{эфф} Бк/кг	Удельная активность, мин.- макс./сред. (СКО), Бк/кг		
		²²⁰ Ra	²³² Th	⁴⁰ K
Известняки, доломиты (С ₂₋₃)	30	8 – 37 22,5 (7,1)	1- 4 3,2 (1,1)	19 – 44 34 (12)
Мергели (С ₃ , К ₁)	23	6 – 10 8,1 (1,9)	6 – 8 7,4 (1,5)	56 – 82 61 (18)
Пески (К-Q)	41	3 – 24 8,0 (3,8)	5 – 35 10 (4,9)	100 – 344 221 (77)
Суглинки (Q)	82	10 – 36 17 (5,7)	11 – 40 24 (6,5)	220 – 663 368 (110)
Глины (P ₂ , J ₃ , Q)	101	5 – 40 24 (6,6)	10 – 50 29 (9,5)	246 – 1125 433 (110)
Фосфориты и глины с включением фосфоритов (J ₃ -K ₁)	104-726	70 – 420	12 – 50	220 – 480
Техногенные грунты+почвы	80	7 – 52 23 (7,5)	5 – 28 17 (4,4)	140 – 680 388 (95)

Из проанализированных грунтов наиболее радиоактивными являются отложения с включениями фосфоритов, приуроченные на исследуемой территории, прежде всего к границе юры и мела (титонский ярус). Повышенная радиоактивность фосфоритов связана с высоким содержанием урана и радия, что обусловлено специфическими условиями образования фосфоритов, способствующими накоплению урана [1]. Среди дисперсных отложений наибольшая радиоактивность характерна для глин, и уменьшается с уменьшением дисперсности от глин к пескам. В табл. 2 приведены результаты корреляционного анализа зависимости содержания радионуклидов в глинистых грунтах от гранулометрического состава и числа пластичности, являющегося интегральной характеристикой сорбционной способности грунтов.

Таблица 2

Коэффициенты корреляции между содержанием гранулометрических фракций в грунте, а также числом пластичности и удельной активностью ЕРН

Свойства грунтов	²²⁶ Ra	²³² Th	⁴⁰ K
Число пластичности	0,71	0,54	0,03
Содержание глинистой фракции	0,45	0,28	0,55
Содержание пылеватой фракции	0,19	0,22	0,66
Содержание суммы пылеватой и глинистой фракций	0,32	0,27	0,68
Содержание песчаной фракции	-0,29	-0,24	-0,49

Как видно из таблицы, содержание в грунтах радия и тория проявляет значимую корреляцию, прежде всего, с числом пластичности грунтов и, в меньшей степени, с содержанием глинистой фракции, что свидетельствует о преобладании сорбционных форм нахождения этих радионуклидов. Для калия-40 корреляция с числом пластичности отсутствует, а значимая корреляция проявляется с суммой пылеватой и глинистой фракции. По мнению авторов, это объясняется тем, что калий-40 присутствует в грунтах в основном не в сорбционной обменной форме, а связан, скорее всего, с гидрослюдыстыми глинистыми минералами, где он присутствует в виде катиона компенсатора.

На рис. 1 приведено соотношение в исследованных отложениях тория и радия. На диаграмме четко выделяются дисперсные четвертичные отложения континентального (ледникового и покровного) генезиса – пески, суглинки, глины. При общем увеличении удельной активности радионуклидов от песков к глинам, соотношение между этими радионуклидами остается постоянным, равным приблизительно $Th/Ra = 1,3$. Карбонатные отложения и юрские глины выделяются на диаграмме повышенным содержанием радия по отношению к торию ($Th/Ra < 0,5$). Особое место занимают техногенные образования и почвы, где радий в целом преобладает над торием ($Th/Ra < 1$), что объясняется повышенным содержанием органического вещества в этих образованиях (радий, как правило, хорошо связывается органическим веществом, в то время как торий сорбируется исключительно минеральной компонентой [1]). Интересными являются результаты анализа радионуклидного состава бентонитовых глин из Даушковского (Украина) и Даш-Салахлинского (Азербайджан) месторождений. Несмотря на крайне высокую сорбционную способность бентонитов, содержание естественных радионуклидов в этих глинах оказалось существенно ниже значений, характерных вообще для осадочных глинистых отложений. Наблюдаемый эффект связан с особыми геохимиче-

скими условиями, а именно, отсутствием источников поступления радионуклидов в систему в процессе формирования этих глин.

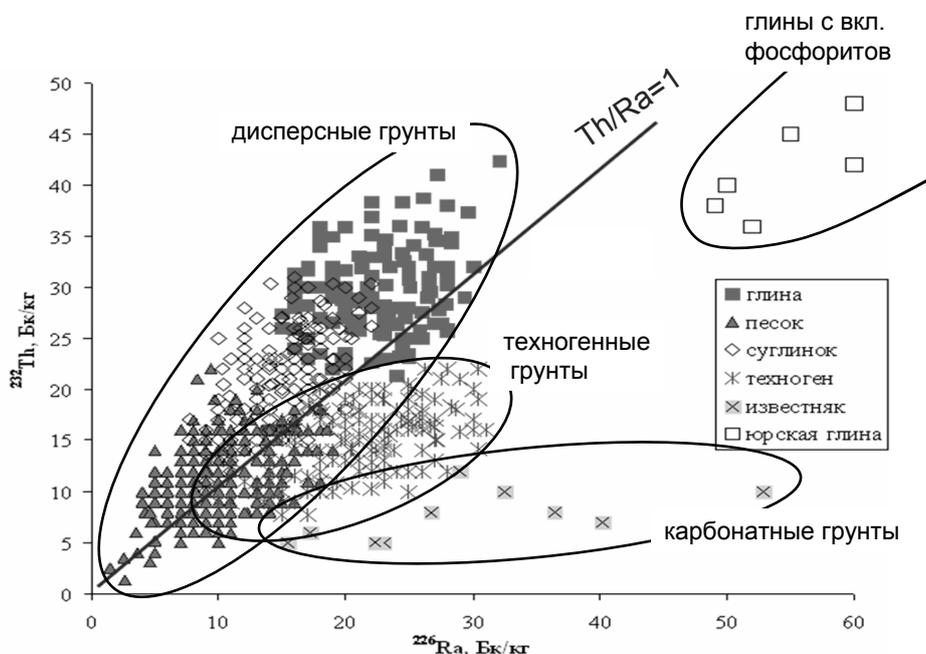


Рис. 1. Отношение $^{232}\text{Th}/^{226}\text{Ra}$ в грунтах Восточно-Европейской платформы

Таким образом, полученные авторами результаты позволяют утверждать, что естественная радиоактивность дисперсных отложений обусловлена их сорбционной способностью и интенсивностью геохимических процессов, способствующих привнесу радионуклидов в процессе формирования отложений. То есть радиоактивность осадочных отложений тесно связана с их литологическим составом и генезисом. На основе полученных данных авторами предлагается новый подход к радиоэкологическому картированию территорий, основанный на выявлении зависимостей удельной активности естественных радионуклидов и мощности AMBIENTного эквивалента дозы гамма-излучения от литолого-генетического типа отложений, выходящих на дневную поверхность. Такой подход позволяет картировать данные показатели, используя в качестве исходной информации о геологическом строении территорий. При этом методология картирования основана на анализе геологических карт четвертичных и дочетвертичных отложений и выборе ключевых участков, на которых проводятся детальные радиоэкологические исследования (измерения удельной активности радионуклидов в породах и гамма-фона). Результаты этих исследований дают средние фоновые значения содержания радионуклидов и параметров поля гамма-фона, характерные для

каждого геолого-генетического типа отложений, распространенных на исследуемой территории. Знание закономерных взаимосвязей между радиоэкологическими показателями и типом отложений позволяет обоснованно распространить (экстраполировать) данные, полученные на ключевых участках на всю исследуемую территорию.

Работа выполнена при поддержке РФФИ, проект № 13-05-01112-а, № 13-05-00975-а.

Литература

1. *Титаева Н.А.* Ядерная геохимия. – М.: Изд-во МГУ, 2000. – 336 стр.
2. *Смыслов А.А.* Уран и торий в земной коре. – Л.: Наука, 1974.
3. Фоновая радиоактивность почв и горных пород на территории СССР // Труды ин-та прикладной геофизики. – М., 1980. – Вып. 43.

ИЗУЧЕНИЕ ЗОН ПОВЫШЕННОЙ ТРЕЩИНОВАТОСТИ В ПРЕДЕЛАХ ЕНИСЕЙСКОГО КРЯЖА ДЛЯ ПОИСКОВ ПОДЗЕМНЫХ ВОД

М.Н. Пинкевич

Национальный минерально-сырьевой университет «Горный», г. Санкт-Петербург В.О.,
21-я линия, 1. E-mail: marina_pinkevich@mail.ru

Интенсивное развитие современных горнодобывающих предприятий в пределах Енисейского кряжа требуют необходимости привлечения новых источников водоснабжения.

Основной вопрос состоит в определении перспективных участков для постановки работ по геологическому изучению и комплекса методов, которые позволили бы при минимальных трудозатратах предельно оперативно решить поставленные задачи.

В связи с расширением горнорудного предприятия Олимпиадинского ГОКа, потребовалось в кратчайшие сроки в слабоизученном в гидрогеологическом отношении районе, найти и оценить новое месторождение подземных вод.

По системе гидрогеологического районирования район исследований расположен в пределах Енисейского сложного бассейна 2-го порядка, по более дробному делению месторождение принадлежит центральной части Больше-Питского гидрогеологического массива, сложенного гранитами и метаморфическими породами архея и нижнего протерозоя. С последними связаны трещинно-грунтовые воды, распространенные преимущественно до

глубины 70-100 м, локально-трещинные воды разломов и жильных образований, проникающие на глубину в несколько сотен метров [4].

Низкогорный рельеф предопределил разобщение регионально-трещинных вод на систему бассейнов стока, совпадающих с водосборными площадями рек и ручьев. Запасы подземных вод в этом районе невелики.

Учитывая производственную необходимость мобильного выполнения работ по изучению и скорейшему вводу в эксплуатацию месторождения, большое внимание было уделено наземным геофизическим исследованиям.

Зоны повышенной трещиноватости, к которым приурочены основные запасы подземных вод, выделялись по результатам комплекса геофизических исследований, который состоял из симметричного электропрофилирования (СЭП), естественного электрического поля (ЕП), вертикального электрического зондирования (ВЭЗ) и ВП в модификации электротомографии 2D (ЭТ) [2].

Исследования методом симметричного электропрофилирования осуществлялись с целью выделения и прослеживания зон трещиноватости и качественной оценки их элементов залегания.

Метод естественного электрического поля осуществлялся для выяснения гидродинамической позиции участков: оконтуривания восходящих и нисходящих потоков трещинных вод, оценки общего направления течения подземных вод.

Метод ВЭЗ выполнялся для литологического расчленения разреза, определения элементов залегания зон трещиноватости и их структуры, оценки степени дезинтеграции пород.

Метод ВП в модификации электротомографии 2D выполнен для установления его эффективности при решении гидрогеологических задач на участке Досеровский.

Электротомография (ЭТ) – современная модификация метода ВП, состоящая из оптимизированной методики полевых наблюдений и соответствующих технологий обработки и интерпретации данных.

По данным наземных геофизических исследований, было установлено, что швы основных разломов формируют систему нарушений наиболее раннего заложения. Данные структуры рассматриваются как водоподводящие каналы. Их генеральное простирание выдержано в северо-западном направлении. Падение сместителей, преимущественно, субвертикальное. На глубину они прослеживаются более чем на 100 м.

Вторая система разрывных нарушений выделена менее однозначно, из-за близкого простирания разрывов и линий наблюдений. Она образована разломами северо-восточного простирания и заложена в более позднее время, что видно из деформирующего влияния данной системы на древние разрывы. Предположительно рассматриваемые дизъюнктивы также водовмещающие.

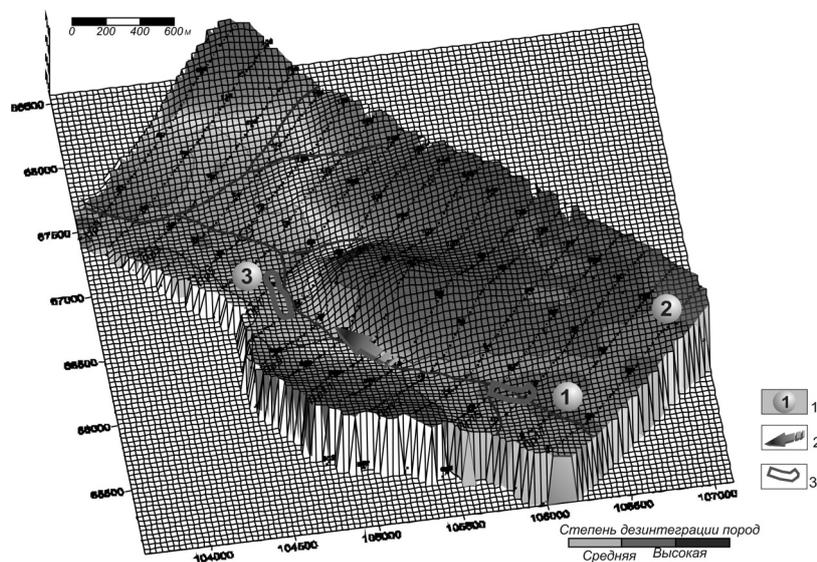
Наиболее широкое распространение трещиноватость получила в зоне экзогенного воздействия, хотя очевидно, что иницирующие воздействие на нее оказали выше отмеченные глубинные нарушения. Эти зоны рассматриваются как основные аккумуляторы подземных вод. В совокупности все раз-

рывные нарушения и зоны повышенной трещиноватости формируют на месторождении 3 водоносные структуры [6].

Первая – наиболее перспективная – расположена на юге участка. Ее размеры по данным геофизики превосходят 1500х600 м. С юго-востока структура не оконтурена. Простирается – северо-западное. В центральной части этой единицы в верхней части разреза развиты тонкодисперсные, водонепроницаемые отложения (коры выветривания), что в совокупности со значительной площадью водосбора обеспечивает напорный характер трещинных вод.

Вторая водовмещающая структура находится на юго-востоке участка. С юга, востока и севера она не оконтурена. Видимые размеры – более чем 300х600 м. Простирается предположительно – северо-западное. Судя по локальным аномалиям ЕП, здесь вероятно наличие слабо напорных трещинных вод. Максимальные величины водопроницаемости (по данным ВЭЗ и ЕП) здесь превышают 1000 м²/сут при среднем уровне около 350 м²/сут. Гидрогеологические данные в целом «вписываются» в геофизическую оценку.

Рассматривая гипсометрическое положение, наличие разгрузки подземных вод, формирующей истоки руч. Досеровский и выявленное простирание зон повышенной трещиноватости, две водоносные структуры, выделенные по данным наземных геофизических исследований, объединяются в одну, общей площадью 5,3 км², в пределах которой и будут формироваться естественные запасы подземных вод для данной структуры.



1 - водоносные структуры и их номера; 2 - участки межструктурных перетоков подземных вод;
3 - перспективные участки

Рис. 1. Обобщенная карта водоносности по геофизическим данным с выделенными перспективными участками

Третья водоаккумулирующая область расположена в северной части площади. Размеры структуры более 1800x500 м. Форма сложная, при генеральном субмеридиональном простирании. Динамика трещинных потоков невыдержанна. Здесь распространены как безнапорные, так и слабонапорные воды. Максимальные величины водопроницаемости превышают 500 м²/сут, а средние – составляют около 200 м²/сут.

Однако вне пределов помех возможно выделение локальных участков перспективных на выявление водообильных зон. Последние выделены на юге, в центре структуры, а также в приустьевой части руч. Досеровский. Здесь распространены как безнапорные, так и слабонапорные воды.

Границы между рассмотренными структурами проходят по относительно монолитным, приподнятым блокам гранитоидов. Гидравлическая связь между этими водоаккумулирующими образованиями, хотя и ослаблена, но имеет место. Перетоки осуществляются по приповерхностным маломощным зонам трещиноватости и узким швам разрывных нарушений.

При интерпретации геоэлектрических разрезов в изученном разрезе, было выделено 3 зоны трещиноватости. Первая – ниже 70 м расположена в породах с предельно низкой проницаемостью. Вторая зона находится в интервале 20-70 м. Выше (20 м) характеризуется наиболее высокими фильтрационными свойствами.

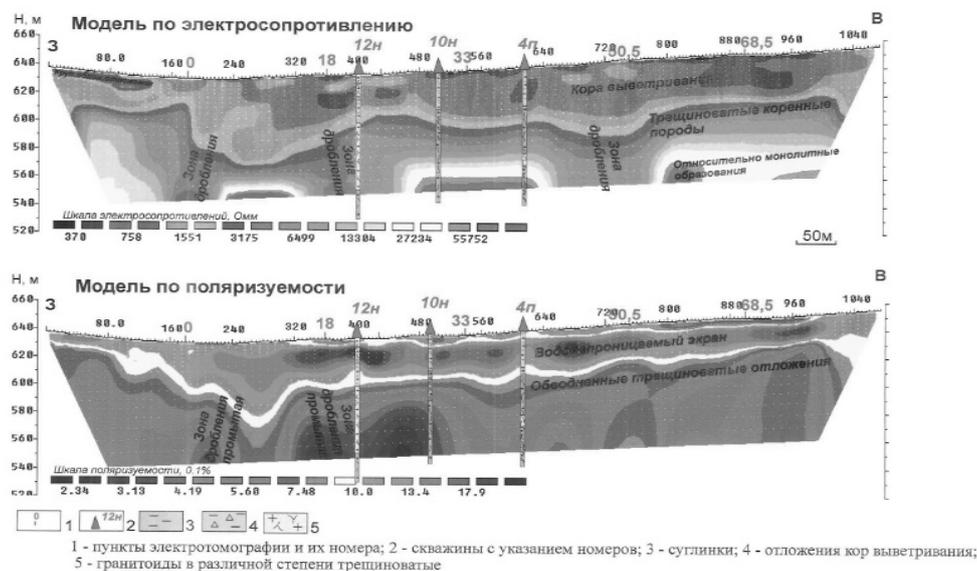


Рис. 2. Результаты работ методом электротомографии

По данным электротомографии установлено сложное строение. Несмотря на то, что профили проходят непосредственно по зонам разломов, видна чрезвычайная неоднородность нижнего полупространства. Наряду с

высокой степенью дезинтеграции пород (вплоть до образования кор выветривания), отмечаются достаточно сохранившиеся (безводные) блоки.

По данным наземных геофизических исследований с учётом геологического строения и визуальных наблюдений при проведении гидрогеологических маршрутов были выбраны два перспективных участка для постановки дальнейших работ по изучению Досеровского месторождения подземных вод.

Литература

1. *Боревский Б.В., Хордикайнен М.А., Язвин Л.С.* Разведка и оценка эксплуатационных запасов месторождений подземных вод в трещинно-карстовых пластах. – М.: Недра, 1976. – 247 с.
2. Комплексирование геофизических методов при решении геологических задач / Под ред. В.Е. Никитского, В.В. Бродового. – М.: Недра, 1987. – 472 с.
3. *Климентов П.П.* Методика гидрогеологических исследований. – М.: Высшая школа, 1967. – 421 с.
4. *Пинкевич Е.В.* Геологическое изучение территории прилегающей к Олимпиадинскому ГОКу с целью добычи подземных вод. – Красноярск, 2006. – Архив ГО ЗАО «Полнос». – № 56. – 123 с.
5. *Плотников Н.И.* Поиски и разведка пресных подземных вод. – М.: Недра, 1985. – 370 с.
6. *Пустозеров М.Г.* Экспресс-комплекс геофизических методов при поисках и оценке подземных вод на Енисейском кряже / Тезисы докладов второй международной научно-практической конференции «Инженерная геофизика-2006». – Геленджик, 2006. – С 151-153.

ФОРМИРОВАНИЕ РЕСУРСОВ И КАЧЕСТВА ПОДЗЕМНЫХ ВОД В РАЙОНАХ ЛИКВИДИРУЕМЫХ РУДНИКОВ СРЕДНЕГО УРАЛА

Л.С. Рыбникова^{1,2}, П.А. Рыбников¹

¹ Институт горного дела УрО РАН, 620219, г. Екатеринбург, ул. Мамина-Сибиряка, 58.
E-mail: gibnikoff@yandex.ru

² «Российский научно-исследовательский институт комплексного использования и охраны водных ресурсов», 620049, г. Екатеринбург, ул. Мира, 23.

В течение десятков и сотен лет вокруг обрабатываемых рудных месторождений Урала (железных, медных, никелевых и других) происходило строительство основных городов и поселков: например, комплекс бывших и нынешних заводов-городов трассирует Зеленокаменную полосу – региональную провинцию медноколчеданных месторождений [5].

В пределах горнопромышленных территорий возникает целый ряд гидрогеологических проблем, связанных с обработкой месторождений полезных ископаемых [2]. После завершения отработки начинается постэксплуата-

ционный этап – этап постмайнинга (обычно это означает прекращение водоотлива и мокрую консервацию рудника), продолжительность которого во много раз больше периода отработки [11, 12]. На этом этапе происходит принципиальное изменение гидродинамической и гидрохимической обстановки и условий формирования ресурсов и качества подземных вод. Это приводит к затоплению горных выработок и заполнению депрессионной воронки; подтоплению прилегающих территорий; формированию очагов сосредоточенной разгрузки кислых вод, техногенных родников и водоемов с токсичными водами; загрязнению подземных вод; скрытому (латентному) загрязнению поверхностных вод; возникает угроза утраты питьевых водозаборов дренажных подземных вод.

Формирование очагов сосредоточенной разгрузки кислых шахтных вод. В районе затопленных медноколчеданных рудников Среднего Урала сформировались техногенные водоемы и родники с кислыми водами (рН около 3) специфического состава; расход такой разгрузки составляет около половины от расхода дренажного водоотлива при отработке месторождения [6]. Нейтрализация кислых шахтных вод медноколчеданных рудников осуществляется за счет средств областного бюджета по программе «Экология и природные ресурсы Свердловской области» (затраты около 300 тыс. руб. в день).

Скрытое (латентное) загрязнение поверхностных вод. Формирование качества подземных и поверхностных вод в районах горнодобывающих комплексов происходит при ведущей роли скрытого (латентного, или диффузного) загрязнения гидросферы. Организованный сброс загрязняющих веществ сопоставим с диффузным (рассредоточенным) стоком только в районах крупных городов. Латентное загрязнение поверхностных водотоков подземным путем в районе затопленных рудников сопоставимо с общей массой вещества в гидросфере: так, в районе Левихинского рудника массовый расход, поступающий с подземными водами от техногенного водоема в поверхностные водотоки, составляет до 1 – 30 т в год по меди и цинку, соответственно [7].

Наиболее значительное увеличение массы компонентов в гидросфере происходит на участке развития техногенеза горнопромышленного профиля, характеризующегося наличием отработанных и затопленных рудников, содержащих высокотоксичные шахтные воды; загрязнением подземных вод в районе затопленного рудника и их миграцией к местным дренам – в реки.

Увеличение скорости массо-водообмена. На этапе постмайнинга состав шахтных вод по сравнению с этапом отработки изменяется, кроме того, отмечается существенно нестационарный гидрохимический режим. На рисунке приведены концентрации цинка в техногенном водоеме Левихинского рудника: после существенного роста в первые годы после затопления («first flush» по принятой в англоязычной литературе терминологии [12]) начинается постепенное снижение содержания всех компонентов, но с разной скоростью.

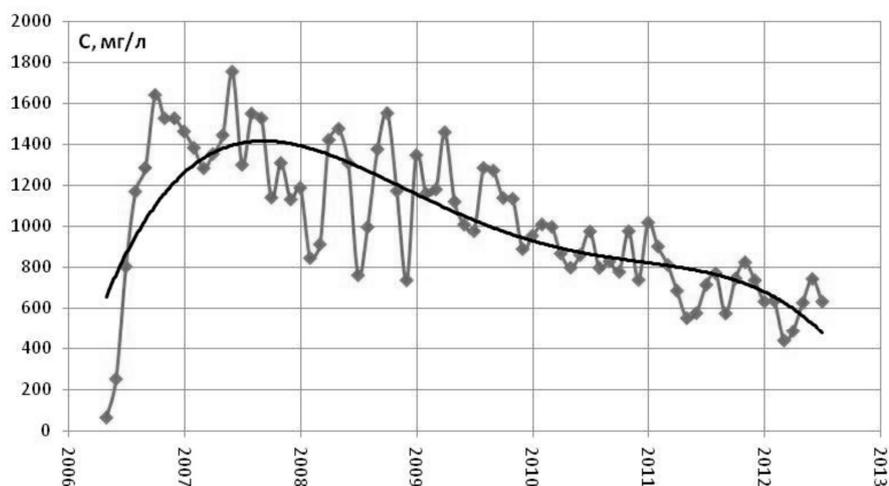


Рис. Изменение содержания цинка (мг/дм^3) в шахтных водах на этапе постмайнинга (при эксплуатации 413 мг/дм^3)

Резкий рост содержания большинства компонентов в шахтных водах обязан растворению «вторичных сульфатов, или неосульфатов» [5,12], которые образовывались в течение десятилетий отработки в техногенной зоне аэрации мощностью десятки и сотни метров. Такие изменения приводят к тому, что суммарный вынос компонентов на этапе постмайнинга существенно возрастает.

Формирование новых свойств массива горных пород. Геофильтрационная схематизация условий формирования потока подземных вод в области влияния обрабатываемых и ликвидируемых рудников Среднего Урала должна учитывать, что пространственная структура, граничные условия потока и параметры пласта имеет принципиальные отличия в естественных условиях, на этапе отработки и после ее завершения.

Закономерности изменения фильтрационных и емкостных свойств массива горных пород, условий питания подземных вод зависит не только от геоморфологических и геологических факторов, но и от способа отработки полезного ископаемого (открытый, подземный или комбинированный; с закладкой выработанного пространства или с обрушением кровли).

Процесс формирования фильтрационной зональности массива горных пород в пределах горнопромышленной территории определяется напряженно-деформированным состоянием массива. В зонах обрушения развивается техногенная трещиноватость, что приводит к росту проницаемости массива горных пород на один – два порядка, увеличению трещинной пористости и площадного питания в несколько раз [7]. Именно это является основной причиной формирования зон подтопления на этапе постмайнинга.

Причины и масштаб подтопления территории после прекращения водоотлива. Формирование гидродинамического режима горнопромышленной территории определяется характером дренажных мероприятий на этапе отработки месторождения полезных ископаемых и степенью нарушенности территории после прекращения водоотлива.

Масштаб и интенсивность подтопления зависят от размеров нарушенной горными работами территории (L_2), интенсивности питания, поступающего в ее пределах после прекращения водоотлива (w_2^*), фильтрационного сопротивления приречного участка (L_3/T_3) [7]:

$$H^* - H = \frac{w_2^* - w_2}{T_3} L_2 (L_3 - x_3), \quad (1)$$

при этом расход потока подземных вод (q_p^*), поступающего от водораздела и шахтного поля к дрене, по сравнению с естественными условиями (q_p) возрастает пропорционально размерам нарушенной зоны:

$$q_p^* - q_p = (w_2^* - w_2) L_2. \quad (2)$$

Оценочные аналитические расчеты для условий и параметров, характерных для Среднего Урала, показывают, что подъем уровня подземных вод после прекращения водоотлива может составлять до 1 – 5 м по сравнению с естественными условиями: это обусловлено формированием зоны повышенного питания в пределах бывшего горного отвода предприятия.

Угроза утраты питьевых водозаборов подземных вод. Возможность использования дренажных подземных вод для питьевых целей определяется санитарно-эпидемиологическими требованиями, которые предъявляются к источникам водоснабжения питьевого назначения [4,8,9]. Одним из существенных ограничений является необходимость организации зоны санитарной охраны водозабора, в пределах которой запрещено складирование отходов и разработка недр земли [7].

Месторождения пресных подземных вод в зоне ведения горных работ постоянно существуют в условиях значительной перестройки балансовой структуры водоотбора как в процессе горнодобывающей деятельности, так и особенно после завершения отработки.

Мокрая консервация горнорудного объекта приводит к принципиальному перераспределению источников формирования эксплуатационных запасов месторождения подземных вод (их видов, количественного и качественного состава); изменению границ и площади месторождения; образованию новых объектов загрязнения (карьерных озер, техногенных водоносных горизонтов во вскрышных породах и некондиционных рудах) или вовлечению ранее образованных (отвалов, рекультивированных карьеров) в область питания.

Для питьевых целей на Среднем Урале эксплуатируется несколько месторождений питьевых подземных вод, запасы которых первоначально

утверждались в схеме водоотлива горнорудного предприятия как попутное полезное ископаемое и используются в настоящее время для водоснабжения городов Североуральск, Богданович, Карпинск, Реж, Уфалей [3]. На водозаборах, расположенных в районе отработанных месторождений, происходит существенное ухудшение качества подземных вод, в том числе до значений, выше ПДК [10].

После завершения горноэксплуатационной деятельности возможность использования подземных вод определяется несколькими факторами, в том числе типом полезного ископаемого, способом рекультивации нарушенной территории, конструкцией (расположением) водозабора.

Выводы

Методика инженерно-геологических и геоэкологических исследований горнопромышленной территории после завершения отработки месторождения полезного ископаемого направлена на решение специфических гидрогеоэкологических проблем постмайнинга и оценки накопленного экологического вреда – эколого-гидрогеологических последствий затопления шахт и рудников.

Наиболее опасными с экологической точки зрения являются действующие и ликвидированные медноколчеданные рудники, причем отрицательные экологические явления могут проявлять себя спустя годы. Причинами этого являются инерционность процессов загрязнения и большое количество источников; на этапе постмайнинга появляются новые источники загрязнения – затопленные шахты и карьеры.

Формирование гидросферы горнопромышленного района происходит под влиянием скрытого (латентного) загрязнения, роль которого возрастает на этапе постмайнинга, особенно на водозаборах малых рек, где ведущим источником загрязнения гидросферы является диффузный сток.

Геомеханические процессы формируют новые свойства массива горных пород. Масштаб и интенсивность подтопления на этапе постмайнинга определяются видом и интенсивностью горнопромышленной деятельности на этапе отработки месторождения полезных ископаемых и степенью нарушения территории после прекращения водоотлива.

Хорошее качество дренажных вод в начальный период отработки месторождений полезных ископаемых не может гарантировать возможность их использования для хозяйственно-питьевого водоснабжения на длительную перспективу из-за неконтролируемого загрязнения подземных вод.

Неблагополучная гидрогеоэкологическая ситуация на этапе постмайнинга в таком старопромышленном регионе как Уральский определяется в значительной мере тем, что отсутствует действенный механизм ликвидации накопленного (исторического) экологического ущерба.

Литература

1. ГОСТ Р 54003-2010 «Экологический менеджмент. Оценка прошлого накопленного в местах дислокации организаций экологического ущерба» Утвержден Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 30 ноября 2010 г. N 594-ст.
2. Гидрогеологические исследования в горном деле / Под ред. В.А. Мироненко. – М.: Недра, 1976. – 352 с.
3. Грязнов О.Н., Новиков В.П., Фельдман А.Л. Гидрогеологические и геоэкологические аспекты разработки рудных месторождений горно-складчатого Урала // Известия вузов. Горный журнал. – 1995. – № 5. – С. 95-101.
4. ГН 2.1.5.1315-03 «Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в воде водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования» (зарегистрированы Министерством юстиции Российской Федерации 19 мая 2003 г., регистрационный № 4550).
5. Емлин Э.Ф. Техногенез колчеданных месторождений Урала. – Свердловск: Изд-во УрГУ, 1991. – 256 с.
6. Рыбникова Л.С. Техногенное воздействие горнодобывающих предприятий Урала на состояние гидросферы // Водное хозяйство России. – 2012. – №1. – С. 74-91.
7. Рыбникова Л.С., Фельдман А.Л., Рыбников П.А. Последствия затопления медноколчеданных рудников Среднего Урала: формирование гидрогеологических условий // Проблемы недропользования: Сборник статей. Отдельный выпуск Горного информационно-аналитического бюллетеня (научно-технического журнала) – М.: Изд-во «Горная книга», 2011. – №ОБ11. – С. 459-470.
8. СанПиН 2.1.4.1110-02 «Зоны санитарной охраны источников водоснабжения и водопроводов питьевого назначения».
9. СанПиН 2.1.4.1074-01 «Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения. Контроль качества».
10. Фельдман А.Л., Рыбникова Л.С., Рыбников П.А. Защита питьевых водозаборов при осушении и затоплении карьеров горноскладчатого Урала // Питьевые воды. Изучение, использование и информационные технологии. Материалы Международной научно-практической конференции (18-22 апреля 2011 г.). Ч. 4. – С. 88-98.
11. Mine closure and post-mining management. International state-of-the-art. International commission on mine closure. International society for rock mechanics. June 2008. 164 p.
12. Wolkersdorfer Christian. Water management at abandoned flooded underground mines. Fundamentals. Tracer tests. Modelling. Water treatment. Springer, 2008. 465 p.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ГИДРОГЕОХИМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В ПРОДУКТИВНЫХ ПЛАСТАХ ПОД ВОЗДЕЙСТВИЕМ ЗАВОДНЕНИЯ НА ПРИМЕРЕ МИШКИНСКОГО НЕФТЯНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ

Е.Н. Савельева

Национальный минерально-сырьевой университет «Горный», 199106, г. Санкт-Петербург,
21-я линия, д. 2. E-mail: saveleva.spmi@gmail.com

На данный момент многие месторождения Удмуртской республики, находящиеся на поздней стадии разработки, характеризуются снижением добычи нефти и ростом обводненности продукции скважин. Добыча нефти на этой стадии характеризуется не только освоением новых площадей, но и реализацией вторичных методов нефтеизвлечения с применением заводнения в целях поддержания пластового давления, что может приводить к изменению состава добываемой продукции и осложнениям при эксплуатации: росту коррозионной активности, формированию устойчивых эмульсий, осложняющих процессы подготовки нефти и воды [2].

Одним из нефтяных месторождений Удмуртии, находящихся на поздней стадии разработки, является Мишкинское нефтяное месторождение, расположенное на территории Воткинского и Шарканского районов республики и открытое в 1966 г.

Мишкинская зона поднятий расположена в южной части Верхнекамской впадины, в пределах которой наблюдается довольно сложное строение отдельных пачек осадочных пород. С угловым и стратиграфическим несогласием на отложениях рифейского и вендского комплексов залегают отложения девонской системы, прослеживается зона с резко увеличенными терригенными отложениями нижнего карбона.

Промышленная нефтеносность в пределах Мишкинского месторождения установлена в отложениях верейского горизонта, башкирского яруса, яснополянского надгоризонта (тульский и бобриковский горизонт) и турнейского яруса. Породы-коллекторы верейского горизонта, башкирского и турнейского ярусов представлены известняками с подчиненными прослойками мергелей, доломитов, алевролитов и аргиллитов. Известняки трех основных литологических разновидностей: мелко- и тонкозернистые, органогенно-детритовые и сгустково-комковатые. Нефтенасыщенные отложения яснополянского надгоризонта сложены песчаниками кварцевыми, мелко и разномзернистыми, алевролитами, слабо глинистыми и алевролитами песчанистыми, крупнозернистыми различной степени глинистости [4].

Технологической схемой разработки на месторождении выделено 4 объекта разработки: верейский (I), башкирский (II), яснополянский (III) и тур-

нейский (IV). В разработке находится два поднятия – Воткинское и Черепановское [5].

Мишкинское месторождение относится к числу низкопродуктивных по большинству объектов разработки в связи с неблагоприятными геолого-физическими параметрами пластов и нефтей. Нефть имеет повышенную вязкость по I, II и III объектам, и высокую по IV. Верейский, башкирский и турнейский объекты представлены залежами с карбонатными, кавернозно-трещиноватыми высокорасчлененными коллекторами.

Нефть по химическому составу высокосернистая, парафинистая и смолистая, тяжелая и высоковязкая. Газонасыщенность нефтей Мишкинского месторождения незначительная. Залежи лишены газовых шапок [5].

Подземные воды в пределах месторождения, как и на всей территории республики, приурочены ко всему разрезу осадочного чехла. Результаты анализа проб пластовой воды приведены в табл. 1.

Таблица 1

Химический состав пластовых вод Мишкинского месторождения [5]

Наименование параметра		Верейские отложения	Башкирские отложения	Визейские отложения	Турнейские отложения
Плотность при 20°C, г/см ³		1,171	1,172	1,173	1,172
рН		6,8	7,0	6,4	5,93
Минерализация	г/л	254,5	256,6	254,3	251,2
	мг-экв/л	8981	8988	8892	8792
Температура расч., град		26	27	31	32
Давление расч., МПа		11,42	11,72	14,69	15,20
Вязкость расч., мПа*с		1,35	1,34	1,26	1,24
Концентрация ионов, г/л	НСО ₃ ⁻	0,2	0,0	0,0	0,1
	Сl ⁻	158,8	158,9	157,4	155,4
	SO ₄ ²⁻	0,5	0,6	0,4	0,5
	Ca ²⁺	17,1	14,9	15,6	15,9
	Mg ²⁺	5,2	4,5	3,7	4,0
K ⁺ +Na ⁺		73,6	77,7	77,2	75,1
Микроэлементы, мг/л	Br ⁻	663	614	616	569
	J	13	12	11	12
	Бор (B ₂ O ₃)	89	109	131	180

Воды исследованных гидростратиграфических подразделений являются высокоминерализованными рассолами хлор-кальциевого типа (по Сулину) с промышленным содержанием йода и брома, плотностью 1,17 г/см³, с очень низким содержанием гидрокарбонатов и сульфатов. Замеры концентрации водородных ионов рН единичные, значения близки к нейтральным, сдвинуты в сторону кислой среды [4].

Все объекты месторождения разрабатываются с применением искусственного поддержания пластового давления, для этих целей реализованы площадные системы заводнения на I, II и III объектах. Согласно технологической схеме разработки, основная площадь Мишкинского месторождения

охвачена треугольной сеткой с расстояниями между добывающими и нагнетательными скважинами 500 метров (7-точечный элемент). Северо-западная и западная части месторождения разбурены по уплотненной сетке 250*250 метров (13-точечный элемент). Основным агентом закачки является пресная вода [5]. Водозабор для ППД расположен на р. Сива. Химический состав воды данного водотока представлен в табл. 2.

Таблица 2

Химический состав вод р. Сива, используемых в системе ППД [3]

Наименование параметра	
Водородный показатель	8,64
Жесткость, ммоль/дм ³	3,634
Концентрация ионов, мг/дм ³	
Ca ²⁺	43,44
Mg ²⁺	17,83
K ⁺ +Na ⁺	30,45
Cl ⁻	25,81
SO ₄ ²⁻	24,69
HCO ₃ ⁻	190,6
NH ₄ ⁺	0,4
NO ₃ ⁻	0,4
NO ₂ ⁻	0,035
PO ₄ ³⁻	<0,2
Cu ²⁺	0,1
Fe _{общ.}	3,8
Cr ⁶⁺	<0,02
Нефтепродукты	<0,05
Минерализация	333,9

В данный момент на Мишкинском месторождении 17% фонда эксплуатируется установками электроцентробежных насосов, в основном этот фонд является высокодебитным и отказы на этих скважинах сопровождаются большими затратами.

В процессе эксплуатации скважин оборудованных УЭЦН приходится неизбежно сталкиваться с проблемами снижения производительности, нестабильной работой насоса, заклиниванием УЭЦН. Анализ распределения отказов УЭЦН за последние годы по причинам показывает, что основной причиной является засорение механическими примесями рабочих органов установок (составляет почти половину от общего числа отказов) [2].

Для определения возможного химического состава механических примесей в нефтеносных пластах Мишкинского месторождения были созданы модели процессов, протекающих при закачивании пресных вод в продуктивные горизонты и смешении закачиваемых вод с пластовыми, в программе PHREEQC (version 3). В последовательности реакций модели были учтены следующие процессы, протекающие, как в водотоке в поверхностных условиях, так и в смеси двух типов вод в пластовых условиях [1,2]:

1. Биоразложение, которое может быть вызвано присутствием нефтепродуктов в поверхностных водах.

2. Изменение химического состава поверхностных вод при закачивании их в продуктивный пласт. Повышение температуры, давления и смена окислительных условий на восстановительные являются причиной восстановления сульфатов, появлению сероводорода в воде. Ионы железа Fe^{3+} также в пластовых условиях могут восстанавливаться до Fe^{2+} .

3. Изменение состава вод в продуктивном горизонте при смешении закачиваемых вод с пластовыми. При этом понижается минерализация пластовых вод, меняется их химический состав, а также возможно образование нерастворимых в воде примесей, осложняющих нефтедобычу и снижающих производительность оборудования.

Результатом моделирования для каждого объекта разработки являются конечный состав раствора после протекания всех предусмотренных реакций, величины произведений растворимости различных минералов относительно данного раствора, возможное количество растворенных или выпавших в осадок компонентов.

Анализ результатов моделирования показывает, что химический состав механических примесей различается в зависимости от объекта разработки, но для всех объектов характерно высокое содержание сульфидов железа (от 47 до 73% от объема всех примесей). Также в большом количестве могут присутствовать гипс (от 9 до 20%) и соли, в основном хлориды ($NaCl$ от 6 до 25%, $CaCl_2$ от 3 до 5%, $MgCl_2$ от 2 до 4%). Для верейского объекта разработки возможно высокое содержание кальцита (15%).

Полученные результаты соответствуют данным промысловых исследований на месторождениях Удмуртии, находящихся на поздней стадии разработки в схожих геолого-гидрогеологических условиях. По материалам разработки месторождений можно сделать вывод, что наиболее распространенный состав механических смесей включает гипсосульфидоуглеводородные ($CaSO_3+FeS+АСПО$) и карбонатосульфидоуглеводородные ($CaCO_3+FeS+АСПО$) отложения. Данные промысловых исследований показывают, что сульфиды железа образуются в большей части в призабойной части пласта при наличии железосодержащей воды и сероводорода в результате изменения термобарических условий при движении жидкости. Образованные «хлопья» сульфида железа, соединяясь с кристаллами других солей и агломератами АСПО, образуют сульфидосодержащие осадки на поверхности оборудования и рабочих органах насосов [2].

Наиболее эффективными методами борьбы с солеотложениями в пласте, в скважинах и скважинном оборудовании являются методы предупреждения отложений. По борьбе с наиболее часто встречающимися солями можно назвать следующие методы предупреждения солеотложений:

1) использование в системе ППД вместо пресной воды подтоварной или подземных вод, схожих по химическому составу с водами продуктивных горизонтов;

- 2) прогнозирование интенсивности солеотложений с использованием термодинамического моделирования и лабораторных исследований;
- 3) обработка призабойных зон ингибиторами солеотложений (или бактерицидами-поглотителями сероводорода для предупреждения отложений сульфида железа) [2];
- 4) периодическая обработка закачиваемой в продуктивные пласты воды бактерицидом для снижения содержания в пласте сероводорода.

Литература

1. *Merkel B.J., Planer-Friedrich B., Nordstrom D.K.* Groundwater Geochemistry: A Practical Guide to Modeling of Natural and Contaminated Aquatic Systems. Springer, 2008.
2. *Кудинов В.И.* Основы нефтегазового дела. – Москва – Ижевск: Институт компьютерных исследований, 2005.
3. Организация и проведение мониторинга природной среды на объектах ОАО «Удмуртнефть». Информационный отчет. – Ижевск: УдмуртНИПИнефть, 2001.
4. *Савельев В.А.* Нефтегазоносность и перспективы освоения ресурсов нефти Удмуртской республики. – Москва – Ижевск: Институт компьютерных исследований, 2003.
5. Технологическая схема разработки Мишкинского нефтяного месторождения. Отчет. – Бугульма: УКО «ГатНИПИнефть», 1986.

ОЦЕНКА УСЛОВИЙ ЗАЩИЩЕННОСТИ ПОДЗЕМНЫХ ВОД СЕВЕРО-ПЕТЕРБУРГСКОЙ ПЛОЩАДИ КАРЕЛЬСКОГО ПЕРЕШЕЙКА

А.В. Семенчук, Т.В. Любимова

Кубанский государственный университет, г. Краснодар, ул. Ставропольская 149.
E-mail: aleksandr.s-k@mail.ru

Известно, что формирование ресурсов подземных вод в артезианских бассейнах платформенного типа происходит на всей области распространения водоносных горизонтов. Там же происходит и разгрузка подземных вод. При этом питание напорных водоносных горизонтов обеспечивается на тех участках, где пьезометрическая поверхность напорных вод находится ниже уровня грунтовых вод. Разгрузка артезианских вод происходит на участках, где зафиксировано обратное соотношение уровня грунтовых вод и пьезометрической поверхности. С различием в соотношении уровней грунтовых и напорных вод напрямую связано и понятие защищенности подземных вод от загрязнения с поверхности.

Во время прохождения производственной практики в ОАО «ПКГЭ» (г. Санкт-Петербург), автором статьи проводились работы по составлению карты защищенности подземных вод масштаба 1:200000 в пределах террито-

рии листа Р-35-XXXVI. Данная работа направлена на определение условий формирования подземных вод в областях питания, уточнение границ территорий с различными условиями защищенности основных для водоснабжения напорных водоносных горизонтов (первых от поверхности), а также получение характеристик отложений, слагающих зону аэрации и характеризующих их способность «не допускать проникновение загрязнения на глубину».

Как известно, возможность загрязнения инфильтрующихся вод или способность к самоочищению уже загрязненных вод определяется следующими факторами: типом почв, содержанием гумуса, содержанием глинистой фракции в почвах и породах зоны аэрации, мощностью зоны аэрации, литологическим составом, фильтрационными свойствами, гранулометрическим составом, фациальной изменчивостью пород [5].

Исходя из этих предпосылок пробы почв и отложений зоны аэрации (каждой литологической разности) отбирались для изучения перечисленных характеристик на следующие виды анализов: определение гранулометрического (литологического) состава, определение валового содержания металлов (Al, Ba, Fe, Cd, Co, Mn, Cu, As, Ni, Pb, Cr, Zn, P).

Помимо учета критериев защищенности 1-го от поверхности основного водоносного горизонта (табл. 1), в работе была использована оценка защищенности водоносных горизонтов по методике, разработанной В.М. Гольдбергом [4].

Таблица 1

Критерии защищенности 1-го от поверхности основного водоносного горизонта

Мощность водоупора, м	Соотношение уровней безнапорных (H_1) и напорных (H_2) вод	
	$H_2 > H_1$	$H_2 < H_1$
>20	горизонт защищен	горизонт защищен
10 – 20	горизонт защищен	условно защищен
5<m<10	условно защищен	не защищен
<5	не защищен	не защищен

Для изучения зоны аэрации было пробурено 13 скважин глубиной до 20 м. Из каждой скважины отбиралось несколько проб для получения картины распределения определяемых компонентов и свойств грунтов с глубиной.

Уточнение литологического состава проб выполнялось с применением трехчленной классификации И.О. Приклонского [1] на основе результатов анализов лаборатории филиала ОАО «Севзапгеология» – «ОМЭ».

Для качественной оценки условий защищенности грунтовых вод были использованы четыре основных показателя зоны аэрации: глубина залегания уровня грунтовых вод, строение и литология пород, мощность слабопроницаемых отложений в разрезе и фильтрационные свойства пород.

Оценка защищенности грунтовых вод была выполнена на основе сопоставления категорий защищенности. Каждая категория защищенности от-

личается своей суммой баллов, зависящей от приведенных выше показателей. Более высоким категориям защищенности соответствует большая сумма баллов [4].

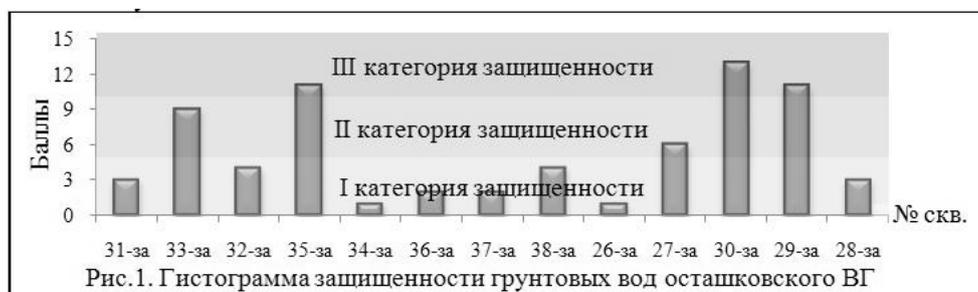


Рис.1. Гистограмма защищенности грунтовых вод оstashковского ВГ

Согласно рис. 1, на площади исследования выделено три категории защищенности грунтовых вод. Наименее защищенными являются воды в районах скважин 31, 32, 34, 36, 37, 38, 26, 28. Здесь отмечается полное отсутствие либо незначительная мощность относительно водоупорных отложений. Увеличение глубины залегания уровня грунтовых вод (скв.36, 38), хоть и улучшает их защищенность, но влияние этого фактора существенно меньше, чем наличие в разрезе слабопроницаемых пород.

Более высоким показателем защищенности соответствуют грунтовые воды в районе скважин 33, 27 – II категория, и скважины 35, 30, 29 – III категория. В их разрезе присутствуют озерно-ледниковые отложения IgIIIos и моренные отложения gIIIos относительно водоупорных горизонтов.

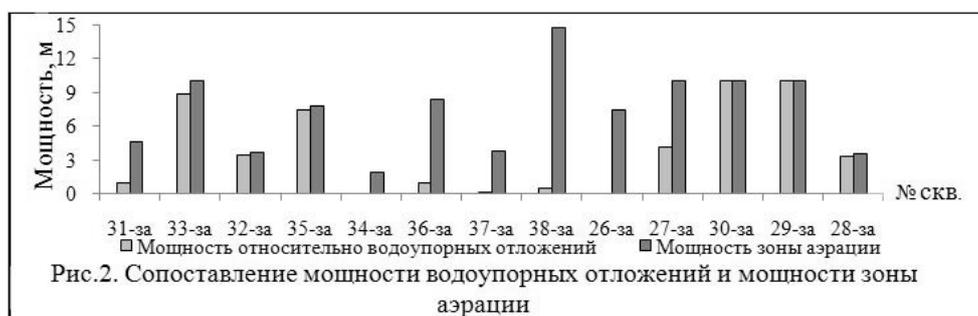


Рис.2. Сопоставление мощности водоупорных отложений и мощности зоны аэрации

При этом, согласно сопоставлению графиков 1 и 2, отмечается прямая зависимость категории защищенности от мощности слабопроницаемых отложений.

Для оценки концентраций тяжелых металлов (табл. 2.) использовались ПДК и ОДК [2,3]. Отметим, что значения ПДК хрома и марганца, а так же ОДК кобальта были получены из «Порядка определения размеров ущерба, 1993 г...» [6], так как данные по ним имеются только в этом документе. Так же для сравнения концентраций тяжелых металлов использованы результаты

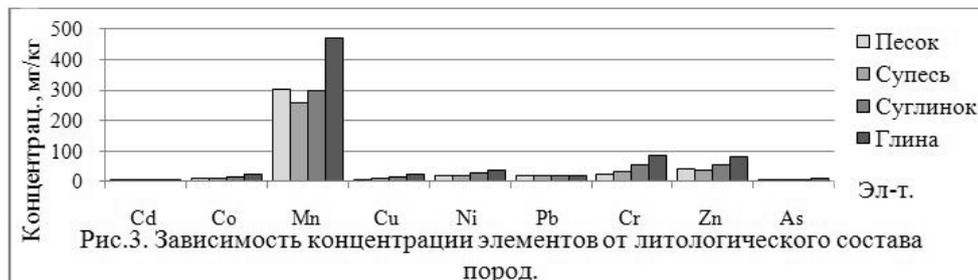
по фоновым содержаниям из отчета Э.Я. Яхнина [8]. Для элементов, которым ПДК и ОДК не установлены, используется значения фитотоксичности [8].

Таблица 2

Среднее содержание тяжелых металлов в грунтах зоны аэрации

Возраст	Cd	Co	Mn	Cu	Ni	Pb	Cr	Zn	As
	Концентрация в мг/кг								
ПДК			1500	3		32	90		2
ПДК и ОДК	0,5/1/2	50	1500	33/66/132	20/40/80	32/65/130		55/110/220	2/5/10
Фон		4,4-6	500	21-27	19-25	14-23	32-41	59-92	
<i>lgIIIos</i>	2,6	17,7	395,0	24,8	28,4	20,0	69,5	62,8	9,7
<i>lgIIos</i>	1,8	9,5	369,7	7,6	17,8	17,5	24,2	29,0	3,3
<i>gIIos</i>	2,0	12,1	285,3	12,2	22,0	19,2	39,5	42,1	4,7
<i>lg,flms-IIIos</i>	1,7	8,3	214,6	8,7	16,1	18,2	18,2	32,7	3,0
Средн.	1,9	10,7	287,2	11,4	21,2	19,0	33,6	42,3	4,7
max	2,8	22,4	1642	25,3	37,5	24	87	80,2	10,4
min	1,4	1,8	101	5,6	8,9	14	15,8	9,1	1
медиан.	1,8	10,6	256	10,5	20,1	18,4	30,1	37,7	4,6
n >ПДК	31			28	8			1	25
n проб	40	40	40	40	40	40	40	40	40

Основной закономерностью распределения микроэлементов в породах зоны аэрации, является увеличение концентраций в горизонтах глинистого литологического состава (рис. 3.).

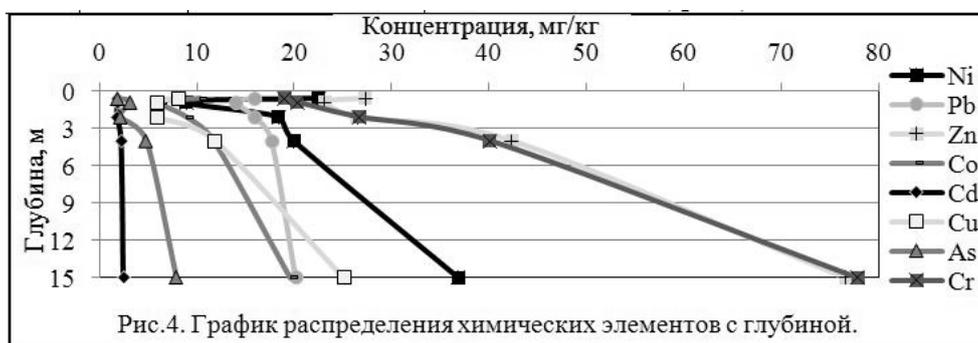


Также это подтверждается графиком распределения тяжелых металлов с глубиной (рис. 4., табл. 3.).

Таблица 3

Литологический состав грунтов (скв. 34)

№ п/п	№ пробы	Литологический состав	Наименование горизонта
1	34/1	песок	Водоносный горизонт (lgIIIos)
2	34/2	песок	Водоносный горизонт (lgIIIos)
3	34/3	песок	Водоносный горизонт (lgIIIos)
4	34/4	супесь тяжелая пылеватая	Относительно-водоупорный горизонт (lgIIIos)
5	34/5	суглинок тяжелый	Относительно-водоупорный горизонт (lgIIIos)



Подобное распределение концентраций тяжелых металлов по глубине, характерно для всех районов Северо-Петербургской площади, где первыми от поверхности залегают отложения осташковского озерно-ледникового водоносного горизонта. Этот горизонт распространен по территории практически повсеместно и сложен хорошо водопринимаемыми песками и супесями. Грунтовые воды в таких районах, в частности в районе скв. 34, относятся к первой категории защищенности, т.е. не защищены от загрязнения с поверхности.

Методами статистического анализа оценено влияние содержания тяжелых металлов в грунтах зоны аэрации на химический состав грунтовых вод осташковского озерно-ледникового водоносного горизонта. Выборка данных по пробам была сформирована из 20 проб грунтов зоны аэрации и 20 проб грунтовых вод осташковского озерно-ледникового водоносного горизонта.

Для корреляционного анализа был выбран коэффициент линейной корреляции Браве-Пирсона. Он изменяется от (-1) (полная обратная линейная зависимость) до 1 (полная пропорциональная линейная зависимость). Принято считать, что при $r \leq 0,25$ – корреляция слабая, $0,25 < r \leq 0,75$ – умеренная, при $r \geq 0,75$ – сильная. Если переменные независимы коэффициент корреляции равен 0 [7].

Таблица 4

Результаты анализа

Элемент	Cd	Mn	Cu	Ni	Pb	Cr
Кф. кор. r	$1,17 * 10^{-15}$	-0,039	-0,283	$1,6 * 10^{-16}$	0	$6,8 * 10^{-16}$
Элемент	Zn	As	Al	Fe	F	
Кф. кор. r	0,165	$-5,2 * 10^{-18}$	-0,041	0,067	-0,197	

Из полученных данных видно (табл. 4), что для кадмия, никеля, свинца, хрома и мышьяка можно говорить почти о полном отсутствии любого типа линейных зависимостей. Для марганца, алюминия и фтора была выявлена слабая обратная линейная зависимость. Для цинка выявлена слабая прямая пропорциональная линейная зависимость. Умеренная обратная линейная зависимость была выявлена для меди. При визуальном исследовании этой зави-

симости на фоне стабильного содержания Си в химическом составе грунтовых вод, был обнаружен «выброс», который искусственным образом увеличил коэффициент корреляции. При пересчете данных с учетом выделенной аномалии коэффициент корреляции для меди составил $1,77 \cdot 10^{-16}$.

Таким образом, учитывая критерии защищенности, подземные воды на большей части территории относятся к защищенным или условно защищенным от поверхностного загрязнения. Согласно методике оценки защищенности В.М. Гольдберга, подземные воды относятся к защищенным только на участках, где мощность водоупорных отложений более 10 м (скв. 35,30,29). На остальной части территории водоносные горизонты являются условно-защищенными и незащищенными. Такое различие следует учитывать при построении карт защищенности подземных вод основных водоносных горизонтов, как взаимодополняющее.

Полученные в работе данные по распределению тяжелых металлов в четвертичных отложениях дополнили существующие представления о механизмах миграции и концентрации загрязняющих веществ горных пород на территории Северо-Петербургской площади.

Проведенное сравнение проб зоны аэрации и проб водопунктов не выявило зависимостей между концентрациями тяжелых металлов в грунтах зоны аэрации и грунтовых водах ошашковского водоносного горизонта. Для более точных исследований необходима выборка не менее 30 проб.

Литература

1. *Альтовский М.Е.* Справочник гидрогеолога. М., 1962
2. Гигиенические нормативы ГН 2.1.7.2042-06. Почва, очистка населенных мест, отходы производства и потребления, санитарная охрана почвы. Ориентировочно допустимые концентрации (ОДК) химических веществ в почве, 2006.
3. Гигиенические нормативы ГН 2.1.7.2041-06. Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в почве, 2006.
4. *Гольдберг В.М., Газда С.* Гидрогеологические основы охраны подземных вод от загрязнения. – М.: Недра, 1984.
5. Методические рекомендации по составлению эколого-геологических карт масштаба 1:200000 – 1:100000. – М., 1998.
6. Порядок определения размеров ущерба от загрязнения земель химическими веществами. – МПР, 1993.
7. *Халафян А.А.* STATISTICA 6. Статистический анализ данных. – М.: Бином, 2007.
8. *Яхнин Э.Я.* и др. Проведение эколого-геологических исследований и картографирования масштаба 1:1000 000 листов О-35; Р-35. – Псков, Выборг, 2001.

ИЗУЧЕНИЕ ИЗМЕНЕНИЙ ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ В СИСТЕМЕ НЕПРЕРЫВНЫХ ПОТОКОВ ВЕЩЕСТВА РАЗНОГО РАНГА

Н.В. Соколова

Институт проблем нефти и газа РАН, г. Москва. E-mail: sona@ipng.ru

Геоэкологические условия активно меняются в ходе непрерывного изменения природы. В свое время Е.М. Сергеев отмечал, что от движения ионов и молекул, происходящих в процессах гидратации и дегидратации, при адсорбции и десорбции ионов, при возникновении и разрушении минералов, и до перемещения, уничтожения и возникновения целых массивов горных пород, мы имеем единую форму движения материи, которая может быть названа «геологической формой движения материи». Человек, став крупнейшей геологической силой, оказывает свое особое влияние на это движение, в ряде случаев сознательно изменяя его в нужных для себя направлениях. В других случаях влияние человека на геологическую форму движения материи происходит стихийно и может привести к отрицательным или случайно к положительным результатам [4].

Все пространство можно представить как совокупность непрерывных взаимосвязанных потоков с различными показателями. Эта совокупность не является хаотичной. При исследовании непрерывных потоков вещества выделяются две главные противоположные дефиниции: зоны минимальных относительных изменений природы (ЗМОИП) и зоны максимальных изменений, разрядки напряжений, потенциальных разрывов, трещин (ЗРН) разного ранга [1,2]. На земной поверхности действуют ЗМОИП (с минимумом сноса и минимумом накопления) и ЗРН (с максимумом сноса и максимумом накопления вещества). В земных недрах и в атмосфере также действуют ЗМОИП (с минимумом уплотнения и минимумом разуплотнения) и ЗРН (с максимумом уплотнения и максимумом разуплотнения вещества). Формирование современных ЗРН всегда связано с функционированием системы непрерывных потоков вещества [7].

Поток не может функционировать без раскрывающихся трещин, потому что он несет с собой вещество. Если нет возможности не только для внедрения, размещения, но и продвижения этого вещества, то и непрерывного потока быть не может. Система раскрывающихся трещин – необходимое условие для функционирования непрерывных потоков разного ранга. Это один из режимов развития трещины. Наряду с этим, трещины более низкого ранга той же ориентировки, которые размещаются на участке между двумя параллельными (люфт 45°) раскрывающимися трещинами более высокого ранга, будут находиться в режиме смыкания. Одновременно, в пределах своеобразного кластера закрывающихся в данном направлении трещин есть такие, ко-

торые работают в режиме раскрытия, но меньшего ранга. Такое положение вещей способствует еще большему сжатию отдельных частей кластера относительно низкого ранга, формированию там практически сплошной среды. Но в ней все равно на микроуровне развивается система сильно сжатых трещин, которые в любой момент при определенных внешних условиях могут сработать на раскрытие. Нет ни одного материала (природного или искусственного происхождения), где не было бы микротрещин. Многие трещины мы не видим, но пытаемся выделить их по косвенным признакам, другие – наблюдаем только под микроскопом. Характер ветвления взаимосвязанных современных трещин изначально заложен в структуре материала, земной поверхности и пространства в целом. Одна трещина работает поочередно в режиме раскрытия на одном энергетическом уровне и в режиме смыкания – на другом более низком уровне [7].

От режима развития трещин зависят их выраженность, ширина разуплотненных ЗРН, границы кластера, объединения закрывающихся трещин конкретного ранга, и в конечном итоге, структура, форма объекта и его прочностные свойства. Эти противоположно развивающиеся трещины, в свою очередь, позволяют изменяться (в определенных пределах) системе непрерывных флюидных потоков вещества разного ранга. Распад старых и образование новых природных объектов связаны с распадом старых и образованием новых связей непрерывных потоков вещества разного ранга и с действием зависимых процессов раскрывания и закрывания трещин. Заранее идет наработка приспособлений к непрерывно изменяющимся условиям.

Возникает насущная необходимость выявления надежных индикаторов трещиноватой структуры земной поверхности, связанной с системой непрерывных потоков. Как показали исследования, такими индикаторами являются реки.

Для функционирования рек необходимы важнейшие условия: непрерывная стимуляция склоновых процессов (приточных систем); подпитка данных потоков веществом в ортогональных плоскостях; возможности внедрения (и прохождения) движущегося в потоке вещества. Все эти условия могут быть выполнены только в зоне трещин. Ни один поток (и река) не может работать без своих противоположных притоков. В зоне трещины обеспечивается непрерывное понижение базисов эрозии. В зонах сочленения трех трещин развиваются базисы–воронки (прямые и обратные), способствующие подпитке непрерывных потоков веществом в ортогональных плоскостях. Реки должны восприниматься как надежные индикаторы единой геодинамической системы непрерывных потоков вещества и современных трещин разного ранга.

Трещина будет иметь тот же ранг, что и ранг связанного с ней непрерывного потока вещества. Поэтому каждая современная трещина в пределах ЗРН – совокупность линейно расположенных взаимосвязанных самых низких точек (узлов, базисов эрозии) разного ранга, очень четко дешифрируемая. Процессы раскрывания и закрывания современных трещин осуществляются с понижением базиса эрозии. Только при их смыкании базис эрозии понижается без обновления трещины, а за счет увеличения вертикальной составляющей

щей движений к центру Земли. При раскрывании трещин превалирует горизонтальная составляющая движений (способствующая разуплотнению вещества), а при закрывании – вертикальная (способствующая уплотнению вещества). В паре с процессом понижения базиса эрозии, но чуть со сдвигом во времени работает всегда противоположный процесс повышения базиса эрозии за счет усиления сноса вещества и аккумуляции его в наиболее низких местах, к которым и приурочены трещины. И при раскрытии, и при закрытии трещины действуют процессы залечивания ее продуктами сноса, но при смыкании скорости этих процессов больше, чем при раскрытии. Развитием потенциальной системы трещин пренебрегать нельзя. Трещины, работающие в условиях смыкания, обладают огромным потенциалом и возможностью обновления (нового раскрытия) [7].

В ходе многолетнего изучения российских северных рек (Кокшеньги, Тарноги и др.) выявлены особенности развития двух противоположных процессов: усиления меандрирования русла реки и усиления его спрямления. С учетом динамики базисов эрозии эти процессы являются следствием соответствующих других процессов: раскрытия трещины (при увеличении энергетической транзитной нагрузки потока), закрытия трещины (при уменьшении энергетической транзитной нагрузки потока и действия независимой (параллельной) трещины более крупного ранга). Спрявление русла может происходить только до определенного предела, ибо внутри ЗРН в барьерной области усиливается действие ЗМОИП, через которую транзитный поток сместиться в ортогональной плоскости не может. Одновременно происходит формирование меандра у противоположного борта ЗРН. Действующая там трещина постепенно углубляется и затем принимает транзитный поток. Процесс усиления меандрирования русла имеет свои пределы, связанные с характером развития ЗРН, динамикой ее границ. Как показывают исследования, полный цикл поочередного развития двух противоположных максимальных по амплитуде меандров в ЗРН на одном из участков р. Кокшеньги, например, составляет около 80 лет [6].

В ЗРН функционируют ЗМОИП определенного низкого ранга, которые индицируют положение своеобразных пористых мембран, относительно уплотненных областей.

Сейсмические исследования подтверждают определенную мембранную внутреннюю структуру разуплотненных зон, наличие в них разломов, трещин и локальных уплотнений [9]. В работе [10], в частности, рассматривается формирование пространственной структуры зон нарушений (в том числе основных разломов, трещин и примыкающих к ним более уплотненных зон) в карбонатных коллекторах, влияние их на флюидные потоки.

В трехмерном пространстве наряду с вертикальной составляющей имеют место и две горизонтальные составляющие движений блоков, разделяемых трещинами конкретного ранга. На этапе сильного их сжатия начинается вторичный процесс разрушения поверхности. Этот процесс может дать дополнительные индикаторы для определения характера развития трещин.

При исследовании систем относительно независимых (параллельных) потоков и ортогональных (люфт 45°) к ним притоков оказалось, что узел сочленения трех трещин связан с узлом слияния рек (сочленения транзитного потока и активного притока к нему), имеет четкую приуроченность к самой низкой части воронки. Так как в транзитном потоке на более низком уровне действует в том же русле более слабый поток противоположного направления [1], то такие узлы являются одновременно и точками бифуркации. Узлы сочленения трещин разного ранга смещаются в ЗРН в определенных пределах по вертикали, в плане, а также могут менять ранг. По вертикали они развиваются в двух противоположных режимах: углубления воронки (в глубь Земли) и активизации выброса вещества из земных недр [7].

Значение проблемы переформирования узлов слияния рек для человека огромное. В работе Р.С. Чалова отражена, к примеру, динамика смещения узла слияния рек Амура и Уссури в плане, свидетельствующая, что переформирование данного узла затрагивает не только интересы различных отраслей хозяйства, но и государственные интересы в целом [8]. Необходимо отметить, что особенности функционирования данного узла сочленения трех трещин способствуют формированию в области его действия (в ЗМОИП) обширных зон затопления.

Трещина одного ранга на всем своем протяжении имеет разную глубину проникновения разрыва. Данное обстоятельство связано с развитием системы непрерывных потоков вещества, с их переходами в ортогональные плоскости, поэтому, когда мы говорим о ранге трещин (границ кластеров), то имеем в виду максимально возможный предел раскрытия их в конкретном направлении [7].

В общем пространстве Земли функционирует динамический каркас – единая система взаимосвязей ортогональных (с люфтом 45°) соподчиненных потоков земного вещества разного ранга, которые контролируют процесс ветвления трещин того же ранга в ортогональных плоскостях. В этой связи одной из важнейших проблем взаимодействия общества с окружающей природной средой является учет непрерывных потоков земного вещества и их причинно-следственных связей.

Е.М. Сергеев отмечал, что необходимо подходить к горным породам при решении практических вопросов как к естественно-историческим образованиям, искать зависимость между свойствами горных пород и теми процессами, под влиянием которых они сформировались и изменились на протяжении всего своего существования. А эти процессы, в свою очередь, зависят не только от геологических факторов, но и от биологических и географических [3, 5]. Если мы хотим познать влияние всей многообразной деятельности человека на геологические формы движения материи, то в первую очередь мы должны изучить объективно существующие формы движения материи в природе независимо от самой деятельности человека. Только познав закономерности природных процессов на различных уровнях, возможно сознательное регулирование этих процессов человеком. Инженерная геология обязана изучать природные закономерности в широком аспекте [4].

Наиболее опасными для функционирования антропогенных объектов являются ЗРН определенного ранга, а точнее, развивающиеся в них системы современных трещин. Если учитывать латеральную и вертикальную динамику узла трещин, изменение его матрицы (пределов действия ЗМОИП), то решение многих практических проблем упрощается. Заранее можно прогнозировать многие изменения территорий, расчлененных ЗРН, а также характер раскрытия трещин, возможные локальные микроземлетрясения из-за перестройки узлов трещин в ЗРН и связанные с ними вторичные процессы изменения природных условий. Проблемы выявления динамики ЗРН разного ранга и учета их в хозяйственной деятельности будут со временем все более и более актуальными.

Литература

1. Орлов В.И. Динамическая география. – М.: Научный мир, 2006. – 594 с.
2. Орлов В.И., Соколова Н.В. Патент № 2034317 РФ. Способ выявления зон разрядки напряжений, потенциальных разрывов земного вещества. 93029540/23; Заявл. 25.05.93; Опубл. 30.04.95 // Изобретения. – 1995. – № 12.
3. Сергеев Е.М. Вступительное слово председателя Оргкомитета конференции чл.-корр. АН СССР, профессора Е.М. Сергеева (СССР) // Генетические основы инженерно-геологического изучения горных пород: Труды Междунар. конф. (4–6 июня 1974 г., Москва). – М.: изд-во Моск. ун-та, 1975. – С. 5–15.
4. Сергеев Е.М. Еще раз об инженерной геологии // Пути дальнейшего развития инженерной геологии: Материалы дискуссии 1-го междунар. конгресса по инженерной геологии. – М., 1971. – С. 117–123.
5. Сергеев Е.М. Положение инженерной геологии в разделе геологических наук, ее современное состояние и пути дальнейшего развития // Инженерная геология. – 1989. – № 2. – С. 5–14.
6. Соколова Н.В. Выявление динамики зон разрядки напряжений, потенциальных разрывов земного вещества разного ранга // Геоморфология и картография: материалы XXXIII Пленума геоморфологической Комиссии РАН. – Саратов: Изд-во Саратовск. ун-та, 2013. – С. 251–254.
7. Соколова Н.В. Роль флюидных потоков в геодинамических перестройках. Saarbrücken (Deutschland): LAP Lambert Academic Publishing, 2013. – 151 с.
8. Чалов Р.С. Амуро-Уссурийский водный узел: клубок проблем экономических, экологических, политических // СТАТУС-КВО. Диалог. 2005-05-10. www. http://statusquo.ru/687/article_798.html/.
9. Шерман С.И. Деструктивные зоны литосферы Центральной Азии и их активизация на современном геодинамическом этапе // Современная геодинамика Центральной Азии и опасные природные процессы: Материалы Всеросс. совещания и молодежной школы по современной геодинамике. – Иркутск: ИЗК СО РАН, 2012. – Т. 2. – С. 91–93.
10. Wennberg O.P., Logstein J.I., Hashemi N. Fluid Flow Effects of Faults in Carbonate Reservoirs, an Example from the Kharyaga Field, Russia // 3rd Intern. EAGE Conf. on Fault and Top Seals – From Characterization to Modelling. Montpellier (France), 1-3 October 2012. [Montpellier], 2012. P15.

ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКИЕ РИСКИ ПРИ ОСВОЕНИИ НЕТРАДИЦИОННЫХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ РЕСУРСОВ

Р.Х. Сунгатуллин, Р.Р. Хасанов

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

В текущем столетии ожидается значительное увеличение потребления энергетических ресурсов, связанное с развитием экономики, повышением жизненного уровня и ростом населения. Этот процесс сопровождается истощением запасов традиционных углеводородов (нефть, газ), что может привести к энергетическому «голоду», особенно на промышленно-урбанизированных территориях. Уже в ближайшие десятилетия добыча традиционных горючих полезных ископаемых будет дополняться разработкой нетрадиционных источников сырья (высоковязкие нефти, битумы, угольный метан, сланцевые нефть и газ, газогидраты и др.), которые сконцентрированы в колоссальных объемах в верхней части литосферы нашей планеты. В связи с изложенным следует пояснить, что к нетрадиционным относятся минеральные ресурсы, первоначально учитывающиеся для отдаленного временного интервала, но из-за роста потребностей в сырье и в связи с повышением уровня развития науки и техники, оказавшиеся рентабельными для использования.

Развитые государства (США, Канада, Китай, Япония и др.) придают большое значение и выделяют большие финансовые средства на разработку «прорывных» технологий добычи энергии из альтернативных источников. Однако использование новейших технологий добычи полезных ископаемых часто ведет к дестабилизации экологического состояния геологического пространства с непредсказуемыми последствиями и, преимущественно, отрицательно влияет на развитие биоты и человечества, с возникновением зон экологического дискомфорта. Источниками нестабильности геологической среды в этих случаях, помимо естественных природных явлений (землетрясения, опасные экзогенные геологические процессы и др.), выступают также техногенные факторы – извлечение полезных ископаемых из недр, техногенные аварии на продуктопроводах, искусственные землетрясения и др. Сюда входит и возможность потери контроля за происходящими геологическими процессами. Поэтому при рассмотрении вопросов освоения нетрадиционных углеводородных ресурсов на первый план выходят вопросы экологической безопасности и риска. Особенно важны и актуальны исследования геоэкологических рисков для густонаселенных и экономически развитых регионов. Примером последнего является восток европейской части России и, в частности, Республика Татарстан, где в геологическом разрезе расположены залежи различных горючих полезных ископаемых, при этом разработка некоторых традиционными способами невозможна. К последним следует отнести ископаемые угли и битумное сырье.

Для освоения угольных ресурсов республики, залегающих на глубинах 900-1400 м, одной из наиболее перспективных представляется технология подземной газификации углей (ПГУ), которая сводится к образованию и перемещению по угольному пласту высокотемпературной зоны, в которой тепло генерируется в результате экзотермических окислительных реакций между содержащимся в пласте газом и кислородом нагнетаемого воздуха. За последние 80 лет показана эффективность ПГУ как бесшахтной технологии получения газообразного энергоносителя из угля на месте его залегания. Скважинная технология ПГУ 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. По сравнению с традиционными способами добычи и использования угля, ПГУ имеет эколого-экономические преимущества, к которым относятся: 1) низкие затраты на вскрытие залежей; 2) отсутствие необходимости отчуждения земель и сохранения плодородного слоя почвы, зависимости способов добычи от глубины залегания угольных пластов, людей в добычном забое; 3) минимальное воздействие на большинство геосфер (педосфера, растительный покров, поверхностная и подземная гидросферы, донные осадки) и социосферу; 4) значительное снижение выбросов вредных веществ в атмосферу и отсутствие необходимости улавливания и захоронения CO_2 ; 5) отсутствие отходов пород и проявлений опасных процессов (провалы, карст, образование депрессионных воронок); 6) приближенность к источнику энергопотребления с использованием сырья на миниТЭЦ, возможность получения ощутимого эффекта в автономном энергетическом обеспечении промышленных районов, не обладающих запасами традиционных углеводородов, и районов пионерного освоения – децентрализация энергетики; 7) полнота извлечения энергии из угольного пласта (до 80 %). Экологический ущерб при ПГУ выражается, прежде всего, в повышении температуры горных пород и химическом загрязнении подземных вод под действием теплового антропогенного потока. ПГУ является одним из примеров создания минерального сырья за счет техногенной трансформации природных залежей углеводородов, в основе которой лежит идея возможности целенаправленного изменения свойств угленосного массива в результате физико-химических воздействий. Очевидно, что при проектировании предприятий ПГУ необходимо проводить специальные геоэкологические исследования, геологический мониторинг и гидрогеологические расчеты. Должны быть разработаны рекомендации по снижению или устранению вредного воздействия загрязненных сред, образующихся при ПГУ на прилегающие природные комплексы.

Для разработки месторождений битумов и высоковязких нефтей обычно применяют 3 способа добычи: шахтный, карьерный и скважинный. Особенностью геологического строения Республики Татарстан является то, что здесь залежи битумов в пермских отложениях в плане совмещены с мощными пластами угля и залежами нефти в нижнекаменноугольных отложениях,

что создает предпосылки для их комплексного освоения. Главным экономическим препятствием для рентабельного освоения нетрадиционных углеводородов являются технологии их добычи и переработки, которые требуют намного больше энергии, чем получение традиционных видов сырья. Так, при извлечении традиционной нефти потребляемое количество энергии эквивалентно 6% энергии, содержащейся в добытых углеводородах, а при добыче высоковязких нефтей данный показатель достигает 20–25%. Наиболее успешно промышленные технологии добычи высоковязких нефтей и битумов сегодня развиваются в Канаде, США и Венесуэле. Существуют несколько технологий скважинного извлечения битумов – внутрискважинное горение, термоциклическое воздействие на пласт, парогравитационный метод и др. Так, при разработке битумных залежей в Канаде (также как и в Татарстане) применяется технология энергоемкого парогравитационного дренажа, сущность которого заключается в разработке нефтяной залежи горизонтальными скважинами с поверхности. При этом необходимо использование дополнительных энергоресурсов для производства тепла и получения из битумов синтетической нефти. Например, в Канаде на производство каждого барреля тяжелой нефти затрачивается около 45 м³ газа, из них 2/3 используется для производства тепла, а 1/3 – для обработки. Отсюда, доступность энергоресурсов становится ограничивающим фактором для разработки залежей битумов.

Важной причиной, осложняющей освоение залежей битумов, является недостаточная экологическая обеспеченность технологий их разработок. Битумы имеют высокую вязкость, поэтому их промышленная разработка требует необходимости воздействия на битумный пласт тепловыми, химическими или другими методами, которые неизбежно изменяют окружающую среду в районе залежи. К возможным экологическим ограничениям, которые встречаются на объектах битумодобычи в Республике Татарстан, также относятся: особо охраняемые природные территории; наличие мест произрастания редких растений и мест обитания охраняемых животных; водоохранные зоны; наличие других месторождений полезных ископаемых; недостаточная эколого-гидрогеологическая обеспеченность технологий разработок этих залежей, их влияния на месторождения пресных подземных вод; земли историко-культурного значения; близкое расположение селитебной территории; защитные леса; утечки углеводородных газов из залежей; возможность образования провалов и физических (термических, радиационных и др.) аномалий.

Таким образом, технологию разработки нетрадиционных углеводородных энергоносителей сегодня нужно рассматривать как среднесрочную, которая пока не в состоянии конкурировать в энергетике с газом и нефтью, но интерес к ней неуклонно растет. К первоочередным объектам разработки нетрадиционных углеводородов можно отнести промышленно-урбанизированные территории, так как их освоением решается комплекс экономических, социальных и экологических задач. По нашему мнению, одним из самых перспективных российских субъектов для промышленной разработки нетрадиционных углеводородов является Республика Татарстан. Здесь имеется высококвалифицированный производственный и научно-технический кад-

ровый потенциал, создана мощная нефтеперерабатывающая и нефтехимическая промышленность (ОАО «Оргсинтез», «Нижекамскнефтехим», «ТАНЕКО», «Нижекамскшина» и др.), существует трубопроводная инфраструктура. Татарстан располагает значительными ресурсами нетрадиционных энергоносителей, сосредоточенных в породах осадочного чехла, что позволяет рассмотреть вопрос перспективности их комплексного освоения и создания здесь конкурентноспособных предприятий, разрабатывающих залежи углеводородного сырья. При этом, необходимо очень тщательно проводить экспертизу с расчетом геоэкологических рисков и мониторинг планируемых к разработке нетрадиционных залежей углеводородного сырья, т. к. многие природные среды (биосфера и социосфера, подземная и поверхностная гидросферы, атмосфера, педосфера и 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 добычных регионов.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 12-05-97028-р_поволжье_а.

ДИНАМИКА ЗАГРЯЗНЕНИЯ В ОКРЕСТНОСТЯХ ПРЕДПРИЯТИЯ ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКИ НА ОСНОВЕ ХИМИЧЕСКОГО АНАЛИЗА СНЕГОВОГО ПОКРОВА (НА ПРИМЕРЕ ГРЭС-2 Г. ТОМСК)

А.В. Таловская, Е.А. Филимоненко, Е.Г. Язиков

Национальный исследовательский Томский политехнический университет,
634050, г. Томск, пр. Ленина, 30. E-mail: talovskaj@yandex.ru

По данным Департамента природных ресурсов и охраны окружающей среды Томской области в г. Томск значительный вклад в общий объем выбросов загрязняющих веществ в атмосферу от всех стационарных источников вносят предприятия теплоэнергетики, в том числе государственная районная теплоэлектростанция (ГРЭС-2), использующей в качестве топлива уголь (~ 40 %) и природный газ (~ 60 %).

В данной работе представлены результаты многолетних исследований (2009-2013 гг.) пространственно-временного распространения широкого круга химических элементов в окрестностях ГРЭС-2 г. Томск по данным снеговой съемки.

Методика исследований. В конце зимних сезонов 2009 – 2013 гг. выполняли маршрутный отбор снеговых проб по векторной сети в северо-восточном направлении на расстоянии 0,73; 1,0; 1,3; 1,6 и 2,0 км от труб

ГРЭС-2. Выбор точек наблюдения осуществлялся согласно РД 52.04.186 № 2932-83. Таким образом, условно была выделена ближняя зона распространения загрязнения на расстоянии от 0,73 до 1,3 км, а также дальняя зона – от 1,6 до 2 км от труб.

Для отбора и подготовки проб снега использовалась стандартная методика (Сает и др., 1990; РД 52.04.186 № 2932-83) с учетом многолетнего практического опыта снегогеохимических исследований на территории Западной Сибири (Бояркина и др., 1993; Язиков, 2006; Бортникова и др., 2009). Объект исследования – твердый осадок снега, содержащий осевшие твердые частицы аэрозолей. В 2013 г. дополнительно осуществляли изучение талой снеговой воды для выявления растворимых форм элементов.

Содержание 28 химических элементов в пробах твердого осадка снега определяли инструментальным нейтронно-активационным анализом (ИНАА) в аттестованной ядерно-геохимической лаборатории Международного инновационного научно-образовательного центра «Урановая геология» кафедры геоэкологии и геохимии ТПУ. Содержание ртути определялось методом беспламенной атомной абсорбции в учебно-научной лаборатории микроэлементного анализа данного центра. В пробах талой снеговой воды и нерастворимого осадка снега за 2013 г. также синхронно определяли содержание 58 элементов методом масс-спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой (ИСП-МС) в аккредитованной лаборатории Химико-аналитического центра «Плазма» (г. Томск). Применяли метод ионной хроматографии для изучения ионного состава проб талой снеговой воды в научно-производственном центре «Вода» при кафедре гидрогеологии и инженерной геологии ТПУ. Изучение вещественного состава твердого осадка снега выполняли на бинокулярном микроскопе и сканирующем электронном микроскопе фирмы Hitachi S-3400N с энергодисперсионной приставкой для микроанализа Bruker в лаборатории МИНОЦ «Урановая геология».

Для выявления аномальных концентраций элементов, полученные значения содержания изучаемых элементов в твердом осадке снега сравнивали с величиной регионального (Ср. Васюган, 480 км от г. Томска [6]) и локального (фоновая станция ИОА СО РАН, 70 км от г. Томск) фона.

Данные гидрохимического состава проб талой снеговой воды и содержания элементов использовались для термодинамического расчета химических форм нахождения элементов (Li, B, Al, Si, V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, As, Se, Br, Rb, Sr, Mo, Ag, Cd, I, Cs, Ba, Pb, U) при помощи программы WATEQ4F (Ball & Nordstrom, 1991).

Результаты и их обсуждение. Анализ многолетних данных показал снижение уровня пылевого загрязнения и среднесуточного притока группы тяжелых металлов, редкоземельных и радиоактивных элементов с 2009 по 2013 гг. в окрестностях теплоэлектростанции (табл.). Величина пылевой нагрузки уменьшилась в среднем на 45 % (с 115 мг/(м²·сут) до 44 мг/(м²·сут)), при фоне 7 мг/(м²·сут). Это может быть связано с тем, что в 2010 г. на станции выполнена реконструкция существующей золоулавливающей установки одного из котлов, а также установлены два дополнительных золоуловителя.

В тоже время, на Томской ГРЭС-2 ежегодно выполняется ремонт и наладка золоуловителей с целью повышения степени улавливания золы. Кроме того, дополнительным фактором может являться использование различной доли газа в технологическом процессе в зимние сезоны, что приводит к уменьшению объемов выбросов твердых частиц.

Данные пятилетнего мониторинга в окрестностях теплоэлектростанции показали, что в пробах твердого осадка снега концентрация As, U, Ba, Yb, Tb, La, Zn находится на уровне 10-30 фонов, Ta, Sm, Ce, Lu – 5-10 фонов, Na, Sr, Hg – 3-5 фонов, тогда как Th, Hf, Sb, Fe, Br, Ca, Co, Sc, Eu, Cs – 1-3 фона, остальные элементы – ниже фоновых значений. В целом в пробах содержание большинства элементов существенно не изменяется от года к году. В тоже время, отмечается увеличение содержания Hg, Sr, Zn, Ba, Ce с 2009 по 2013 гг. Кроме того, в 2009 г. было зафиксировано высокое среднее содержание Ba с превышением фона в 12 раз, тогда как в 2012 г. – As с превышением фона в 46 раз и в 2013 г. – Zn с превышением фона в 39 раз.

Согласно ориентировочной шкале оценки аэрогенных очагов загрязнения [4] по величине суммарного показателя химического загрязнения снегового покрова (СПЗ) в окрестностях теплоэлектростанции наблюдается высокая степень загрязнения (СПЗ от 128 до 256) на протяжении всего периода наблюдения.

Наиболее значимые выпадения рассматриваемых элементов приходятся преимущественно на зону до 2,0 км от высотных труб теплоэлектростанции. Данные наблюдений подтверждаются методами численного моделирования на примере переноса урана и тория в составе твердых частиц аэрозолей [5].

Результаты изучения проб в 2013 г. методом ИСП-МС позволили подтвердить и дополнить список приоритетных элементов-загрязнителей снегового покрова в окрестностях изучаемого объекта. В нерастворимой фазе снегового покрова содержание As, Al, Zn, U, La, Tb, Yb, Ce, Ba, Ta, Sm, W, Bi превышает локальный фон от 4 до 62 раз. В талой снеговой воде содержание Sc, W, Ge, Co, Ba, V, Mo, Cu, Nb, Ta, Fe превышает фон от 5 до 80 раз.

Установлено, что тяжелые металлы, редкоземельные, редкие и радиоактивные элементы концентрируются преимущественно на твердых частицах аэрозолей и только небольшая часть переходит в раствор.

Анализ проб талой снеговой воды показал, что воды относятся к классу ультрапресных (минерализация от 12,7 до 16,3 мг/дм³). По гидрохимическому составу снеговые воды исследуемой территории являются гидрокарбонатно-сульфатными. Данный тип вод свидетельствует о техногенном загрязнении приземной атмосферы выбросами теплоэлектростанции.

Выявлено, что Br, Sb, Na, Ca, Au, Re, Mo, Cd, Zn, Sc, K, As, Yg, Bi, Mg – наиболее подвижные элементы, способные переходить в раствор талой снеговой воды (коэффициент подвижности от – 0,6 до 0,2); Sr, P, Co, Ge, Mn, Ba, Tl, Ni, In, Cu, Lu, Tm, Pb, V, Li, Cr, Rb, Se, Ag, Be, Sn, Cs, W, Tb, Ho, Ta, Sm – элементы средней подвижности (от 0,3 до 1,2); Sm, Eu, Y, Dy, Gd, Fe, Nd, La, Pr, Ce, Yb, Ga, Er, Al, Th, Nb, Hf, Zr, Ti – наименее подвижные

(от 1,3 до 1,7). Полученные данные по подвижности некоторых элементов хорошо сопоставимы с опубликованными данными по составу снегового покрова в окрестностях теплоэлектростанций г. Новосибирск [2].

Результаты термодинамического моделирования показали, что химическими формами As являются ионы H_2As_4^- (78 %) и HAsO_4^{2-} (22%), В – аква-ионов H_3BO_3 (99,9 %), U – ионы гидрофосфата урана $\text{UO}_2(\text{HPO}_4)_2^{2-}$ (98,7%), Se – ионы HSeO_3^- (99%). Металлы Al, Cd, Pb, Zn, Cu образуют в основном фторидные комплексы типа AlF (14%), AlF_2 (21%), CdF (98%), PbF (99%), ZnF (99%) и CuF (99%). Кроме того, в пробах свободной ионной формой преобладает для Cs^+ (100%), Br⁻ (100%), I⁻ (100%), Rb⁺ (100%), Ba^{2+} (99%), Li⁺ (99%), Sr^{2+} (99%), Mn^{2+} (98%), Ni^{2+} (92%) и Fe^{2+} (91%). Калий, кальций и натрий находятся в растворе преимущественно в виде катионов K^+ , Ca^{2+} и Na^+ .

Согласно работам Линник, Набиванец (1986), Мур, Рамамурти (1987) свободные ионы тяжелых металлов при определенных концентрациях в большинстве случаев токсичны для живых организмов.

По данным электронно-микроскопических исследований твердого осадка снега установлено, что минеральными формами макроэлементов (Al, Si, Na, Ca, Fe, K) являются кварц, полевые шпаты, амфиболы, карбонаты, слюды. Глинистые образования (каолинит, монтмориллонит, иллит, муллит) и минералы группы железа (магнетит, гематит, пирит, халькопирит) встречаются в виде отдельных минералов, а также в составе алюмосиликатных и ферросферул соответственно. Данные микросферулы являются типичными техногенными образованиями, содержащиеся в выбросах от объектов угольной теплоэнергетики [3]. Халькофильные элементы встречаются в форме сульфидов (галенит, ковеллин), также были обнаружены частицы металлического железа, сплавов некоторых тяжелых металлов (Pb, Ni, W). Минеральной формой нахождения Sb является антимонит, Ba – барит. Помимо кристаллических фаз пробы содержат около 35% аморфного вещества, которое преимущественно представлено угольными частицами и сажей.

Поступление рассматриваемых элементов в окрестностях теплоэлектростанции вероятно всего связано с составом сжигаемого угля, а также ветровым переносом от складов угля на территории объекта. В качестве топлива на городской теплоэлектростанции используется природный газ (~70%) и уголь (~30%), но с ноября по март доля используемого угля – более 50%. В работе показано [1], что используемые угли с Кузнецкого бассейна содержат примеси радиоактивных, редких и редкоземельных элементов, которые поступают в атмосферный воздух при сжигании угля. Тяжелые металлы, содержащиеся в топливе, обладают высоким потенциалом мобилизации в газовую фазу и при сжигании конденсируются в виде пленки на поверхности твердых частиц уноса [2,3]. Исследование элементного состава отходов с данной теплоэлектростанции показало, что зола уноса обогащена тяжелыми металлами, редкими, редкоземельными и радиоактивными элементами в большей степени, чем шлаковые отходы. При сжигании углей с газовой фазой могут уходить многие химические элементы: As, Se, Sn, Ge, Mo. Следует отметить, что Mo, Ge, Nb, U были также выделены как специфичные элемен-

ты в составе аэрозольных выбросов от теплоэлектростанций г. Новосибирск по данным снеговой съемки [2].

Таблица

Динамика величины пылевой нагрузки и среднего содержания химических элементов в пробах твердого осадка снега в окрестностях Томской ГРЭС-2 в зимние сезоны с 2009 по 2013 гг., мг/кг

Элемент	2009	2010	2011	2012	2013	Региональный фон [6]
Pn, мг/м ² ·сут	115	90	82	57	44	7
Na, %	0,8	0,7	0,7	0,7	0,7	0,2
Ca, %	1,2	1,4	1,3	1,8	1,9	0,8
Sc	8,9	10,8	10,7	11,4	10,3	7,1
Cr	101	111	94	89	101	110
Fe, %	6,0	4,1	3,3	4,2	3,3	1,9
Co	16,1	19,1	19,7	20,7	17,5	10,3
As	11,4	12,0	7,3	21,8	17,3	0,5
Zn	519	652	421	589	1797	46**
Br	7,2	4,6	5,8	4,2	5,3	2,9
Rb	47,2	51,8	48,2	51,2	60,4	55
Sr	360	275	322	428	562	100
Sb	360	275	322	428	562	2,3
Cs	3,3	3,8	3,2	3,8	3,3	3,5
Ba	1218	656	664	834	939	100
La	32	35	33	39	34	2,8
Ce	62	55	65	81	85	10,3
Nd	28,3	27,6	22,7	28,5	30,6	1,6**
Sm	5,3	5,3	5,2	5,6	5,3	0,6
Eu	1,1	1,3	1,3	1,0	1,2	1,1
Tb	0,8	0,9	0,8	0,7	0,9	0,06
Yb	2,6	3,0	2,6	2,9	2,7	0,2
Lu	0,3	0,4	0,4	0,4	0,4	0,075
Hf	5,6	5,9	5,3	6,5	5,9	2,2
Hg	0,3	0,3	0,3	0,3	0,5	0,08**
Ta	1,0	1,0	0,9	1,0	1,1	0,1
Th	7,7	9,0	7,7	9,3	8,9	2,9
U	3,9	4,1	3,6	4,3	3,8	0,2
СПЗ	200	160	134	187	207	
Доля уг- ля/газа*, %	39,6/ 60,4	41/59	47,6/ 52,4	35,2/ 64,8		

Примечание. Данные ИНАА, ртуть по данным метода беспламенной атомной абсорбции; количество проб 25; Pn – величина пылевой нагрузки; СПЗ – суммарный показатель загрязнения; * – среднее значение с ноября по март (данные предоставлены Гавриленко А.С. инженером-экологом ПТО СП ГРЭС-2 ТФ ОАО «ТГК-11»); ** – локальный фон.

Заключение. Таким образом, результаты многолетнего мониторинга в окрестностях теплоэлектростанции г. Томск позволили выявить специфичный микроэлементный и вещественный состав твёрдого осадка снега – повышенные концентрации As, U, Ba, Yb, Tb, La, Zn, Ta, Sm, Ce, Lu, Na, Sr, Hg, W, Mo, Bi, Ge, Co, B; присутствие кварца, альбита, диоксида, хлорита, муллита, частиц сажи, угля и шлака, галенита, ковеллина, антимонита, барита, пирита, халькопирита, магнетита, гематита, ферросферул, алюмосиликатных микросферул, сплавов тяжелых металлов. Выявлено, что химические элементы концентрируются преимущественно на твердых частицах аэрозолей и только небольшая часть переходит в раствор. Установлена временная динамика притока пыли с комплексом химических элементов, определены их минеральные формы в твердом осадке снега и формы нахождения в талой снеговой воде.

Работа выполнена при финансовой поддержке Гранта Президента для поддержки молодых российских ученых (МК 951.2013.5).

Литература

1. *Арбузов С.И.* Редкие элементы в углях Кузнецкого бассейна / С.И. Арбузов, В.В. Ершов [и др.]. – Кемерово: Изд-во КПК, 2000. – 246 с.
2. *Бортникова С.Б., Рапута В.Ф., Девятова А.Ю., Юдахин Ф.Н.* Методы анализа данных загрязнения снегового покрова в зонах влияния промышленных предприятий (на примере г. Новосибирска) // *Геоэкология*. – 2009. – № 6. – С. 515–525.
3. *Кизильштейн Л.Я., Дубов Н.В., Штицглюз А.Л., Парада С.Г.* Компоненты зол и шлаков ТЭС. – М.: Энерго-атомиздат, 1995. – 176 с.
4. *Саэт Ю.Е., Ревич Б.А., Янин Е.П. и др.* Геохимия окружающей среды. – М.: Недра, 1990. – 335 с.
5. *Таловская А.В., Рапута В.В., Филимоненко Е.А., Язиков Е.Г.* Экспериментальные и численные исследования длительного пылеаэрозольного загрязнения в окрестностях теплоэлектростанции (на примере Томской ГРЭС-2) // *Оптика атмосферы и океана*. Т. 26. – 2013. – № 8. – С.642-646.
6. *Язиков Е.Г.* Экогеохимия территорий Западной Сибири: монография / Saarbrücken: LAP LAMBERT Academic Publishing GmbH & Co. – KG, Germany, 2011. – 360 с.

ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ РИСКИ ДЛЯ ЗДОРОВЬЯ НАСЕЛЕНИЯ ПО ДАННЫМ ГЕОХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА АТМОСФЕРНЫХ АЭРОЗОЛЕЙ (НА ПРИМЕРЕ Г. ТОМСКА)

А.В. Таловская, Е.А. Филимоненко, Н.А. Осипова

Национальный исследовательский Томский политехнический университет, 634050, г. Томск,
пр. Ленина, д. 30. E-mail: talovskaj@yandex.ru, filimonenko@tpu.ru, osipova@tpu.ru

Проблема воздействия загрязнения окружающей среды на здоровье людей становится все более актуальной, особенно для крупных городов и промышленных центров. Наряду с такими компонентами окружающей среды как почвы и природные воды, атмосферный воздух оказывает прямое воздействие на организм человека, что обуславливает его использование при геоэкологических оценках территорий городов.

Томск, согласно рейтингу Минрегионразвития РФ, обладает высокой инвестиционной привлекательностью среди городов России, что вероятно в ближайшие годы приведет к развитию промышленности в городе. В связи с этим особую актуальность приобретают исследования экологических рисков – вероятностей проявления неблагоприятных эффектов в состоянии здоровья людей от загрязнения окружающей среды, проживающих в непосредственной близости от промышленных предприятий. Для управления качеством окружающей среды и здоровьем населения в России рекомендовано использование методики количественной оценки экологического риска [6,8]. В настоящее время для некоторых городов России проведены исследования по оценке риска для здоровья населения в связи с загрязнением атмосферного воздуха на основе геохимического подхода, в том числе в г. Томске [4,7]. В сравнении с ранее проведенными исследованиями на территории г. Томска [7,9] в данной работе существенно расширен перечень химических элементов, вовлекаемых в практику оценки риска для здоровья населения.

Настоящее исследование проводилось в 2013 г. на 4 участках г. Томска в окрестностях промышленных объектов: в зоне влияния городской теплоэлектростанции (центральная часть города с интенсивным движением автотранспорта и размещением промышленных предприятий машино-, приборостроения); в зоне влияния кирпичных заводов (восточная часть города, жилые районы); в зоне совместного влияния железобетонных заводов, частных котельных и автобаз (северо-западная часть города, промышленный район) и на территории Северного промышленного узла (СПУ) в окрестностях нефтехимического завода. В качестве фонового участка была выбрана территория фоновой станции Института оптики атмосферы СО РАН (пос. Киреевск) в 70 км от г. Томска в направлении противоположном главенствующим ветрам (преобладают южные, юго-западные ветра). Опробование снегового покрова (30 проб) проводилось в марте по стандартной методике [2,5]. Оцен-

ка канцерогенного риска для здоровья населения проведена на основе фактического материала о содержании Be, Cr, Co, Ni, As, Cd, Pb в атмосферном аэрозоле, депонированном на снеговой покров. Содержание Be, Cr, Co, Ni, As, Cd, Pb в атмосферном аэрозоле определялось методом масс-спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой в ХАЦ «Плазма» (г. Томск). Внешний контроль точности определения осуществляли методом инструментального нейтронно-активационного анализа в ядерно-геохимической лаборатории МИНОЦ «Урановая геология» при кафедре геоэкологии и геохимии ТПУ.

Для оценки индивидуального канцерогенного риска $R_{инд.}$ от ингаляционного воздействия Be, Cr, Co, Ni, As, Cd, Pb, согласно принятой в России методике [6], применялась беспороговая модель, использующая величины факторов канцерогенного потенциала веществ SF_i мг/(кг × день)⁻¹:

$$R_{инд.} = LADD \times SF_i, \quad (1)$$

где $LADD$ – среднесуточная доза элемента в течение жизни, мг/(кг × день), рассчитывается по формуле:

$$LADD = [C_{атм} \times CR \times ED \times EF] / [BW \times AT \times 365] \quad (2)$$

где $C_{атм}$ – среднесуточная концентрация элемента в атмосферном воздухе (мг/м³), CR – скорость поступления воздуха в организм (20 м³/день), ED – продолжительность воздействия (70 лет), EF – частота воздействия, (350 дней/год), BW – масса тела человека (70 кг), AT – период усреднения экспозиции (для канцерогенов $AT = 70$ лет), 365 – число дней в году.

Среднесуточные концентрации Be, Cr, Co, Ni, As, Cd, Pb в пыли в атмосферном воздухе ($C_{атм}$) были рассчитаны на основе данных о концентрации этих элементов в пыли в снеговом покрове ($C_{пыль}$):

$$C_{атм} = Pn \times C_{пыль} / W \quad (3)$$

где W – скорость осаждения атмосферной пыли (м/сут), Pn – пылевая нагрузка (мг/м²×сут), рассчитывается по формуле:

$$Pn = M / [S \times t] \quad (4)$$

где M – масса твердого осадка в снеговой пробе (мг), S – площадь шурфа (м²), t – период от начала снегостава до отбора пробы (сутки).

Скорости осаждения атмосферной пыли были определены по данным Л.С. Ивлева [3], с учетом дисперсности атмосферных аэрозолей в г. Томске [1], фазового и минерального состава твердого осадка снега, определенного при микроскопическом изучении проб. Концентрации элементов в атмосферном воздухе, определенные расчетным методом, в целом сопоставимы с результатами натуральных измерений по данным [1].

По результатам исследования установлено, что наибольшие концентрации Cr, Co, As, Cd, Pb в пробах атмосферного аэрозоля, осевшего на снеговой

покров, характерны для зоны воздействия теплоэлектростанции (от 1,3 до 4,1 фонов), а Be и Ni для проб с территории СПУ в окрестностях нефтехимического завода (от 0,9 до 3,7 фонов). Наименьшие превышения концентраций металлов относительно фоновых показателей характерны для проб твердого осадка снега из зон воздействия предприятий строительной индустрии (от 0,4 до 2,3 фонов). Однако за счет высокой пылевой нагрузки на снеговой покров в окрестностях кирпичных заводов (от 34 до 84 фонов) на данной территории установлен наибольший приток микроэлементов с атмосферной пылью на подстилающую поверхность: от 224 мг/(км²×сут) для Cd до 22,6 г/(км²×сут) для Cr (табл.1). Также установлен повышенный приток As и Pb с атмосферной пылью на снеговой покров в окрестностях теплоэлектростанции в сравнении с другими рассматриваемыми территориями (21 и 10 фонов соответственно), а Co – в зоне воздействия железобетонных заводов (26 фонов).

Таблица 1

Содержание микроэлементов в твердом осадке снега и их среднесуточный приток с атмосферной пылью на снеговой покров в окрестностях промышленных предприятий г. Томска в 2013 г.

Тер- ния ¹	Be	Cr	Co	Ni	As	Cd	Pb
<i>Концентрация элементов в твердом осадке снега; мг/кг</i>							
I	3,5±0,2	80,5±14,9	21,0±2,3	40,0±5,4	31,2±3,8	1,2±0,2	101,8±12,2
II	2,0±0,2	66,7±3,7	14,3±0,8	23,1±2,9	12,4±1,0	0,7±0,1	33,4±1,5
III	3,1±0,5	56,3±5,3	17,0±1,4	27,6±3,1	16,8±3,1	1,2±0,2	71,0±12,1
IV	4,4±0,4	79,7±9,3	15,5±0,9	45,6±6,4	10,7±2,6	1,1±0,1	70,1±5,8
Фон³	1,5	43	6,4	13,6	10	0,3	76,7
<i>Среднесуточный приток элементов с атмосферной пылью, мг/(км² × сут)</i>							
I	153±16	3411±502	885±61	1663±146	1334±142	51,1±3,7	4736±1200
II²	0,7±0,2	22,6±5,0	4,8±1,1	7,4±1,2	4,3±1,1	0,2±0,1	11,7±2,6
III	169±22	3184±420	1053±255	1578±242	1049±332	63,9±8,3	3840±545
IV	176±38	3294±837	623±137	1858±451	435±120	43,3±7,5	2796±584
Фон³	9,6	271	40,3	85,8	63,0	1,9	483

Примечание: ¹ – I – зона воздействия теплоэлектростанции; II – зона воздействия кирпичных заводов; III – зона совоздействия ж/б заводов, котельных, автобаз; IV – территория СПУ, окрестности нефтехимического завода; ² – в г/(км² × сут); ³ – фоновая станция ИОА СО РАН, 70 км от г. Томска; ± – стандартная ошибка.

Для населения г. Томска, проживающего в окрестностях изучаемых промышленных объектов, рассчитанные значения индивидуального канцерогенного риска от влияния изучаемых металлов при их ингаляционном воздействии изменяются в широком интервале от 2,0×10⁻⁸ до 3,9×10⁻⁴ (табл. 2). При этом уровень индивидуального канцерогенного риска, превышающий

1×10^{-6} , который является приемлемым (прогноз возникновения 1 дополнительного заболевания на 1 миллион жителей), установлен от ингаляционного поступления Cr, As и Co в окрестностях кирпичных заводов, Cr и As – теплоэлектростанции, Cr – железобетонных заводов. Количественная оценка индивидуальных канцерогенных рисков от воздействия Ni, Be, Cd и Pb меньше условно приемлемого уровня для населения, проживающего в окрестностях изучаемых промышленных объектов г. Томска.

Таблица 2

Уровни индивидуального канцерогенного риска для здоровья населения, проживающего на изучаемых участках г. Томска (ингаляционный фактор воздействия металлов)

Тер- ния ¹	Be	Cr	Co	Ni	As	Cd	Pb
SF _i *	8,4	42	9,8	0,84	15	6,3	0,042
<i>Среднесуточные концентрации в пыли в атмосферном воздухе; мг/м³ × 10⁻⁷</i>							
I	2,8±0,3	62,6±8,6	16,3±1,0	30,5±2,3	24,5±2,4	09±0,1	88,6±24,3
II	9,9±2,4	335±67	71,3±14,3	110±16,8	64±15,3	3,3±0,7	172±34,3
III	2,7±0,4	51,3±6,7	17,0±4,1	25,4±3,8	17,0±5,4	1,0±0,1	62,0±8,8
IV	2,7±0,6	51,3±13,1	9,7±2,2	28,9±7,1	6,8±1,9	0,7±0,1	43,6±9,3
<i>Среднесуточная доза элемента в течение жизни, мг/(кг × день) × 10⁻⁷</i>							
I	0,8±0,1	17,2±2,4	4,5±0,3	8,4±0,6	6,7±0,7	0,3±0,02	24,3±6,7
II	2,7±0,7	91,8±18,5	19,5±3,9	30,2±4,6	17,4±4,2	0,9±0,2	47,2±9,4
III	0,8±0,1	14,1±1,8	4,7±1,1	7,0±1,0	4,7±1,5	0,3±0,04	17,0±2,4
IV	0,8±0,2	14,1±3,6	2,7±0,6	7,9±1,9	1,9±0,5	0,2±0,03	11,9±2,5
<i>Индивидуальный канцерогенный риск</i>							
I	$6,5 \times 10^{-7} \pm 7,6 \times 10^{-8}$	$7,2 \times 10^{-5} \pm 9,9 \times 10^{-6}$	$4,4 \times 10^{-6} \pm 2,6 \times 10^{-7}$	$7,0 \times 10^{-7} \pm 5,3 \times 10^{-8}$	$1,0 \times 10^{-5} \pm 9,8 \times 10^{-7}$	$1,6 \times 10^{-7} \pm 9,6 \times 10^{-9}$	$1,0 \times 10^{-7} \pm 2,8 \times 10^{-8}$
II	$2,3 \times 10^{-6} \pm 5,6 \times 10^{-7}$	$3,9 \times 10^{-4} \pm 7,8 \times 10^{-5}$	$1,9 \times 10^{-5} \pm 3,8 \times 10^{-6}$	$2,5 \times 10^{-6} \pm 3,9 \times 10^{-7}$	$2,6 \times 10^{-5} \pm 6,3 \times 10^{-6}$	$5,7 \times 10^{-7} \pm 1,2 \times 10^{-7}$	$2,0 \times 10^{-7} \pm 3,9 \times 10^{-8}$
III	$6,3 \times 10^{-7} \pm 8,4 \times 10^{-8}$	$5,9 \times 10^{-5} \pm 7,7 \times 10^{-6}$	$4,6 \times 10^{-6} \pm 1,1 \times 10^{-6}$	$5,8 \times 10^{-7} \pm 8,7 \times 10^{-8}$	$7,0 \times 10^{-6} \pm 2,2 \times 10^{-6}$	$1,8 \times 10^{-7} \pm 2,3 \times 10^{-8}$	$7,1 \times 10^{-8} \pm 1,0 \times 10^{-8}$
IV	$8,0 \times 10^{-8} \pm 1,7 \times 10^{-8}$	$1,5 \times 10^{-6} \pm 3,8 \times 10^{-7}$	$2,8 \times 10^{-7} \pm 6,3 \times 10^{-8}$	$8,5 \times 10^{-7} \pm 2,1 \times 10^{-7}$	$2,0 \times 10^{-7} \pm 5,5 \times 10^{-8}$	$2,0 \times 10^{-8} \pm 3,4 \times 10^{-9}$	$1,3 \times 10^{-6} \pm 2,7 \times 10^{-7}$

¹ – см. примечание к табл; * – фактор канцерогенного потенциала веществ, мг/(кг × день)⁻¹; $7,2 \times 10^{-5} \pm 9,9 \times 10^{-6}$ – значения индивидуального канцерогенного риска, превышающие уровень приемлемого риска (1×10^{-6}).

По соотношению уровней рисков в окрестностях предприятий строительной отрасли, теплоэнергетики с соразмещением производств машино- и приборостроения выявлен следующий ряд элементов: Cr>As>Co>Ni>Be>Cd>Pb. На территории СПУ в окрестностях нефтехимиче-

ского завода относительный уровень индивидуального канцерогенного риска от ингаляционного воздействия Pb и Ni повышен, в то время как от Co и As понижен (Cr>Pb>Ni>Co>As>Be>Cd).

Таким образом, полученные результаты дают ориентировочную оценку величины ожидаемого числа заболеваний, обусловленную ингаляционным поступлением токсичных веществ в организм и скоррелированную с учетом их концентрации в атмосферной пыли, для людей, проживающих в зонах воздействия различных промышленных предприятий г. Томска.

Работа выполнена при финансовой поддержке Гранта Президента для поддержки молодых российских ученых (МК 951.2013.5) и гранта BP Exploration Operating Company Limited.

Литература

1. *Аришинова В.Г., Белан Б.Д., Рассказчикова Т.М., Симоненков Д.В.* Влияние города Томска на химический и дисперсный состав атмосферного аэрозоля в приземном слое // Оптика атмосферы и океана. – 2008. – Т. 21. – № 6. – С. 486-491
2. *Василенко В.Н., Назаров И.М., Фридман Ш.Д.* Мониторинг загрязнения снежного покрова. – Л.: Гидрометеиздат, 1985. – 185 с.
3. *Ивлев Л.С.* Химический состав и структура атмосферных аэрозолей. – Л.: Изд-во Лен. ун-та, 1982. – 368 с.
4. *Майорова О.А.* Геохимический подход к оценке экологического риска / Автореф. дис. ... канд. геол.-мин. наук. – М., 2002. – 24 с.
5. Методические рекомендации по геохимической оценке загрязнения территорий городов химическими элементами. – М.: ИМГРЭ, 1982. – 111 с.
6. Руководство по оценке риска для здоровья населения при воздействии химических веществ, загрязняющих окружающую среду. Р.2.1.10.1920-04. – М.: Федеральный центр Госсанэпиднадзора Минздрава РФ, 2004. – 273 с.
7. *Янкович Е.П., Осипова Н.А., Язиков Е.Г., Таловская А.В.* Оценка индивидуального канцерогенного риска для здоровья населения Томска по данным геохимического состава пылеаэрозольных выпадений // Известия высших учебных заведений. Геология и разведка. – 2011. – № 5. – С. 67-74.
8. *Guidelines for ecological assessment.* EPA/630/R-95/002F. Washington, U.S. Environmental Protection Agency, DC. 1998. 5 p.
9. *Ivanova E.V., Bykova V.V., Osipova N.A.* Assessment of human health risk caused by chemical pollutants of the atmosphere // Atmos. Oceanic Opt. – 2006. – V. 19. – №. 11. – P. 867–869.

ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ И ПРОТИВОКАРСТОВОЕ УСИЛЕНИЕ ПОРОД НА УЧАСТКЕ ДРЕВНЕГО КАРСТОВОГО ПРОВАЛА (НА ПРИМЕРЕ СТРОИТЕЛЬСТВА «ТОННЕЛЯ» В Г. УФЕ)

А.И. Травкин, В.Г. Камалов

ООО «УфаСтройизыскания», Республика Башкортостан, 450078, г. Уфа, ул. 3. Биишевой, 17/2.

E-mail: zaosiz@mail.ru

ООО «Архстройизыскания», Республика Башкортостан, 450097, г. Уфа, ул. 8-е Марта, 32.

E-mail: oooasiz@mail.ru

Проводя инженерно-геологические исследования, специалисты-геологи, как правило, обычно не знают как были применены результаты этих исследований при проектировании и строительстве (отсутствие обратной связи). Иное дело, когда установлено наличие проявлений опасных геологических процессов, прогнозируется возможность их дальнейшего развития, осуществляются защитные мероприятия и контролируется качество последних инженерно-геологическими методами. В таких случаях имеется возможность получить данные контроля не только о качестве исполнения инженерной защиты, но и о качестве инженерно-геологических исследований, равно как и при изысканиях в период строительства [2].

Проблема строительного освоения закарстованных городских территорий не нова. Особую актуальность она приобретает в условиях возведения сооружений в стесненных условиях. В городе Уфе, в основном, удачно расположившимся на возвышенности (в пределах междуречья р.р. Белой и Уфы, так называемого, Уфимского «полуострова»), практически исчерпана возможность расширенного строительства. Возведение зданий и сооружений в городе ведется, в основном, на площадках с неблагоприятными инженерно-геологическими условиями. Особую сложность инженерно-геологических условий создают многометровые (до 200-250 м) толщи пермских сульфатных (гипсы, ангидриты) пород, залегающие на небольших (от 10 до 80 м) глубинах и иногда выходящие на дневную поверхность.

Территория г. Уфы характеризуется значительной интенсивностью образования карстовых провалов. Например, при исследовании центральной части города площадью 45,8 км² по многолетним наблюдениям за проявлениями карста интенсивность провалообразования составила 0,04 провала/км²•год [4]. При сопоставлении этих данных с табл. 6 [3] и п. 2.2 [6], эту территорию следует отнести к IV категории устойчивости относительно карстовых провалов. Однако средняя оценка интенсивности провалообразования не учитывает неравномерности развития и проявлений карста. Например, наибольшая интенсивность провалообразования 0,27 провала/км²•год (II категория устойчивости относительно карстовых провалов по классификации

[3] табл. 6) наблюдается на коренных склонах долин и в пределах тыловых швов террас рек, а менее 0,01 провала/км²•год (V категория устойчивости относительно карстовых провалов по классификации [3] табл. 6) – на пологих склонах водораздельного плато [4].

Для многих участков территории г. Уфы, характерно активное развитие современного карста. Большинство карстовых провалов проявляются на дневной поверхности земли в виде круглого отверстия с расширяющимся в глубину сводом. Со временем, в результате обрушения пород, слагающих своды карстовых полостей, образуются провалы. Обычно в пределах города провалы не успевают превратиться в воронку, так как быстро ликвидируются путем засыпки грунтом. Имеются примеры провалов, вышедших на поверхность земли путем вертикального гравитационного срыва пород в виде цилиндра.

В процессе инженерно-геологических изысканий на участке, так называемого, «тоннеля» на проспекте Салавата Юлаева в г. Уфе, по данным бурения и геофизики был установлен древний (дочетвертичный) карстовый провал круглоцилиндрической формы [5] диаметром в плане около 70 м. Амплитуда перемещения пород, относительно вмещающих отложений, составляет 10-14 м. Граница срыва пород прослеживается на глубину 70-80 м. Контур этого провала на поверхности земли достаточно четко обозначается на аэрофотоснимках.

Иногда, в результате длительного уплотнения пород и изменения гидрогеологических условий в зонах древних провалов, последние не представляют опасности для проектируемых сооружений. Однако это не относится к упомянутому древнему провалу и было принято решение укрепить места ослабленных пород основания «тоннеля» путем нагнетания в них тампонажных растворов через инъекторы до глубины 26,0 м.

Инженерно-геологические условия участка «тоннеля» до цементации характеризуются следующими данными:

- до глубины 70 м принимают участие породы пермской системы (песчаник, глина, мергель, известняк, аргиллит, алевролит, гипс, ангидрит) перекрытые сверху глинами общесыртовой свиты и четвертичным насыпным грунтом. Общая мощность общесыртовых глин и насыпных грунтов изменяется от первых до 14-15 м. Залегание пород субгоризонтальное. В слоях карбонатных и сульфатных пород скважинами в интервале глубин: 15-61 м встречены дезинтегрированные ослабленные зоны и карстовые полости, заполненные продуктом выветривания и выщелачивания карбонатных пород, а одной скважиной в интервале глубин 17,0-18,2 и 19,0-20,0 м вскрыты открытые карстовые полости. В надгипсовой толще, а также в гипсах скважинами вскрыты карстовые полости высотой 0,3-2,5 м, заполненные глиной известковой, загипсованной;

- геоморфологическое положение участка: Бельско-Уфимское междуречье, осложненное верховьем долины р. Сутолоки и карстовыми и карсто-во-суффозионными воронками. Абсолютные отметки дневной поверхности 175 – 185 м (БС), но при планировке были сняты грунты до отметок 166-181 м;

- в тектоническом плане участок расположен в пределах левого борта Сутолокской синклинали, разделяющей надвое крупное гипсовое поднятие – Уфимскую антиклиналь. В пределах антиклинали развиты локальные куполовидные поднятия гипсов и перекрывающих отложений, связанные с гидратацией ангидритов. Развитие куполовидных поднятий, сопровождалось возникновением складок и разрывных нарушений, как со смещением пластов по плоскости разрыва, так и без смещения их. Кроме того, при наложении плана расположения «тоннеля» на тектоническую карту Петрова Ю.М. [1] выяснилось, что карстовый провал располагается на границе Уфимского и Зауфимского тектонических блоков;

- по геофизическим данным отмечается наличие в кровле гипсового «купола» загипсованных кавернозных, дезинтегрированных и разуплотненных пород. Литологические разрезы в пределах древнего карстового провала и на его бортах отличаются значительно меньшей загипсованностью, так как «тело» провала в течение длительного времени являлась очагом поглощения поверхностных вод, в результате чего растворимые минералы выщелачивались, растворялись и выносились. Карстовый и суффозионный процессы «работали» не постоянно, но в периоды выпадения дождей и таяния снега. Карстовый провал на сейсмотомографическом разрезе достаточно уверенно выделяется более низкими упругими свойствами. Его борта – практически вертикальные с некоторым смещением с глубиной на восток;

- гидрогеологические условия. На участке до глубины 70 м подземные воды скважинами не вскрыты (март-май 2006 г.). Отсутствие водоносных комплексов в уфимском ярусе свидетельствует о проницаемости литологического разреза и отсутствии надежных водонепроницаемых слоев на значительную глубину, по крайней мере, до уровня карстовых вод в гипсах иреньской свиты до глубины примерно 90–95 м. Ослабленные зоны и древний карстовый провал контролируют временно появляющиеся в грунтах потоки инфильтрационных и инфлюационных вод, питание которых исключительно атмосферное, техногенное (утечки из водопроводящих коммуникаций) и конденсационное. По результатам опытно-фильтрационных работ на участке коэффициенты фильтрации и удельное водопоглощение, соответственно составляют: для глины пермского отдела – 0,55-0,58 м/сут и 0,10-1,28 л/мин; для мергеля – от 0,64 до 20,85 м/сут и от 0,05 до 1,7 л/мин; для разуплотненных карбонатных пород – 25,16 м/сут и 1,23 л/мин; для аргиллита полускального – 0,14 м/сут и 0,003 л/мин; для песчаника – 14,8 м/сут; загипсованных для известняков и гипсов трещиноватых – 45,27 – 99,5 м/сут и 7,1-24,5 л/мин; для пород зоны тектонического разлома – 17,0 м/сут, и 10,0 л/мин [5]. По степени водопроницаемости породы массива характеризуются как сильноводопроницаемые с чередованием очень сильноводопроницаемых;

- закрытый тип карста;

- зона контакта древнего карстового провала с вмещающими породами, отличающаяся интенсивной трещиноватостью и возможностью вертикально-нисходящей инфильтрации атмосферных и техногенных вод, отнесена

ко II и III категориям относительно карстовых провалов (по классификации [3,6]) и к зоне «А» по степени карстовой опасности (по классификации ТСН 302-50-95 РБ [6]). Зона «А» характеризуется наличием в толще пород незаполненных карстовых полостей. К зоне III «А» отнесено ещё несколько небольших карстовых воронок. Остальная площадь участка отнесена к III и IV категориям, зонам «В» и «С», намного менее опасным, нежели зона «А».

Усиление пород основания «тоннеля» методом напорной цементации (далее по тексту: «тампонажа») в зоне установленного древнего карстового провала планировалось до глубины 26,0 м. Позже было решено усилить породы до глубины 26,0 м в пределах практически всего контура объекта, не зависимо от категории и зоны по карстовой опасности.

Анализ результатов тампонажных работ подтвердил правильность вывода, что древний карстовый провал является наиболее благоприятным местом для развития опасных инженерно-геологических процессов, таких как карст и суффозия.

Трещинная пустотность определялись на ключевых участках обнажений пород в строительном котловане по методике ПНИИИСа [3].

Таблица

Обозначение зон по карстовой опасности [6]	Площадь карстового массива (S), м ²	Объем массива (V), м ³	Средний коэффициент трещинной пустотности (Ктп), %	Объем трещин в массиве (Vтр), м ³
«А»	11293	282325	16,0	45172
«В»	4195	104875	12,5	13109
«С»	7612	190300	9,0	17127

В приведенной таблице отражены данные по пустотности пород в массиве. В расчетах глубина тампонируемого массива принята равной 25 м. В зависимости от вида и состояния пород (Ктп) составил:

1) в зоне «А» коэффициент пустотности для известняка составил 22-23%, аргиллита 3,9%, мергеля – 14,5%, средний Ктп = 16%;

2) в зоне «В» – Ктп для известняка – 16-17,5%, мергеля – 9-16%, аргиллита – 3,9%, средний Ктп = 12,5%.

Подчеркивалось, что при производстве тампонажных работ могут быть встречены не обнаруженные при изысканиях полости как открытые, так и заполненные.

Проект усиления грунтов включал бурение инъекционных скважин по сетке 4,3x4,3 м и с меньшими размерами. Нагнетание тампонажного раствора (преимущественно водо-цементного с различными добавками) осуществлялось через неизвлекаемые инъекторы. Проектируемый расход цемента – 2,38 т на одну скважину глубиной 26,3 м. Всего в границах древнего карстового провала было пробурено 135 инъекционных скважин. Большинство скважин приняло проектный объем цементного раствора и даже в несколько

раз больше. Наибольшую приемистость показали инъекторы, расположенные по контакту «тела» провала с вмещающими породами. Объемы расхода цемента в порошковом виде составили: 102 т – в одной скважине, от 50 до 100 т – в 2-х скважинах, от 10 до 50 т – в 30-ти скважинах и от 1 до 10 т – в остальных.

Как уже упоминалось выше, коэффициенты фильтрации пород до укрепления изменялись в пределах от 0,14 до 99,5 м/сут. После цементации интервал изменения коэффициента фильтрации составил 0,014-0,35 м/сут. Удельное водопоглощение тех же пород до цементации изменялось в пределах от 0,05 до 24,5 л/мин, а после цементации – в пределах от 0,0065 до 0,097 л/мин. Даже из относительно грубого сравнения этих данных видно, что показатели фильтрационных свойств пермских пород, в результате их цементации, уменьшились на один, а местами даже на два порядка. В результате, массив пород из сильно водопроницаемого превратился в слабопроницаемый, а местами в водонепроницаемый.

Результаты исследования укрепленного массива пород показали:

- а) высокое качество выполненных тампонажных работ;
- б) существование зон сильно разуплотненных и дезинтегрированных пород, слагающих «тело» провала и зону его контакта с вмещающими породами;
- в) правильность вывода об отнесении зоны древнего карстового провала и его контакта с вмещающими породами к пониженным II (неустойчивой) и III (недостаточно устойчивой) категориям устойчивости относительно карстовых провалов, и к зоне «А» по карстовой опасности.

Литература

1. *Петров Ю.М., Петренко А.Г.* «Геологическое доизучение в масштабе 1:50000 Уфимской площади в пределах планшетов: № 40-40-Г (в.п.); № 40-41-Б (з.п.), В; № 40-52-Б (з.п.), В, Г; № 40-53-А, Б (ю.п.), В, Г. (Отчет Аургазинского геолого-съёмочного отряда по работам 1974-78 г.г.) в 8-ми томах. – Уфа: ООО «Башкиргеология», 1978.
2. *Камалов В.Г.* Об инженерно-геологических изысканиях в период строительства (на примере участка в г. Уфе). – Труды Российской научно-практической конференции, посвященной 60-летию НТО строителей РБ (5 июня 2013 г.), «Строительство. От науки к инновациям». – Уфа: Госстрой РБ, РОО «НТО строителей» РБ, 2013. – С. 51-59.
3. *Саваренский И.А., Миронов Н.А.* Руководство по инженерно-геологическим изысканиям в районах развития карста. – М.: ПНИИИС Минстроя России, 1995.
4. *Травкин А.И.* Прогноз карстоопасности и районирование закарстованных территорий (на примере центральной части г. Уфы). – Диссертация на соискание учёной степени кандидата геолого-минералогических наук. – М.: ПНИИИС Госстроя России, 1989.
5. *Травкин А.И.* Некоторые инженерно-геологические и геотехнические аспекты строительства на древнем карстовом провале в пределах «Уфимского полуострова». – Труды Российской научно-практической конференции, посвященной 60-летию НТО строителей РБ (5 июня 2013 г.), «Строительство. От науки к инновациям». – Уфа: Госстрой РБ, РОО «НТО строителей» РБ, 2013. – С. 40-50
6. ТСН 302 – 50 – 95 РБ. Инструкция по изысканиям, проектированию и эксплуатации зданий и сооружений на закарстованных территориях. – Уфа: Госстрой РБ, 1996.

ИДЕОЛОГИЯ ИЗУЧЕНИЯ ПРОЦЕССОВ АБИОТИЧЕСКИХ СФЕР ЗЕМЛИ ПРИ ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЯХ

В.Т. Трофимов, М.А. Харькина

Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, геологический факультет,
Москва, 119992, Москва, Ленинские горы, д. 1. E-mail: kharkina@mail.ru

Рассматривая геоэкологию как междисциплинарную науку [3,5] и поле пересечения наук о жизни, атмосфере, поверхностной гидросфере, педосфере и литосфере, геоэкологические исследования природных и техногенных процессов предполагаются проводить в рамках экосистем. Речь идет об изучении влияния абиотических сфер Земли на состояние биоты через проявление процессов любого генезиса. В.Т. Трофимовым наряду с ресурсной, геохимической, геофизической, выделена геодинамическая экологическая функция абиотических сфер Земли, отражающая способность литосферы, педосферы, атмосферы и поверхностной гидросферы влиять на условия жизни биоты, ее состояние, безопасность и комфортность проживания через природные и антропогенные процессы и явления [6].

Идеология геоэкологического изучения процессов абиотических сфер Земли требует дифференцированного подхода к определению их влияния на различных представителей биоты, поскольку существуют различия в пространственном распространении и списочном составе природных и техногенных процессов, угрожающих жизни. Необходимо не только *антропоцентрический подход*, где в центре исследований стоит человек, но и *биоцентрический подход*, где главенствующее место занимают представители животного мира и растительность. Антропоцентрический подход к оценке процессов абиотических сфер Земли позволил установить, что массовая гибель людей (единовременная гибель свыше 10 человек) происходит при экстремальной скорости развития процесса, высокой плотности населения и отсутствии систем своевременного оповещения населения, а также защитных сооружений. На территории России массовая гибель людей возможна при полномасштабном проявлении наводнений, землетрясений, цунами и селей [7]. Биоцентрический подход к оценке процессов подразумевает их рассмотрение с позиции комфортности существования животных (зооцентрический подход) и произрастания растений (фитоцентрический подход). Зооцентрический подход в настоящее время практически не разработан. Имеются лишь первые попытки рассмотрения последствий воздействия диких и домашних животных на изменения геологической среды [4]. Фитоцентрический подход к оценке динамических процессов определяет их с позиции сохранности почвы. Для территории России в перечень процессов абиотических сфер Земли, протекающих с уничтожением почвы и угрожающих массовой гибели растений, входят за-

сухи, смерчи, интенсивные дожди, пыльные бури, градобития, сели, смерчи, а также пожары на торфяниках (почвенные покровы заменяются на вторичные пирогенные образования). Различия в тяжести экологических последствий обусловлены реакцией растений и человека на длительность воздействия динамических процессов. Для растений опасность убывает с уменьшением времени воздействия процессов, например, длительное затопление или засоление земель опаснее, чем кратковременное проявление землетрясений даже большой интенсивности. Для человека же эта зависимость часто обратная – длительно действующие процессы могут не представлять непосредственной опасности, так как используя достижения научно-технического прогресса, можно избежать их пагубных последствий с помощью природоохранных мероприятий, либо путем предупреждения и эвакуации населения.

Идеология изучения динамических процессов при геоэкологических исследованиях предопределяет *новые систематики* процессов, составленные не по генетическому принципу, а по принципу воздействия на биоту. По экологическим последствиям выделяют группы катастрофических, опасных, неблагоприятных и благоприятных процессы. *Катастрофические процессы* угрожают жизни, характеризуются высокой скоростью протекания и неопределенностью момента возникновения. *Опасные процессы* тоже угрожают жизни, но их действие растянуто во времени, а иногда сопоставимо с человеческой жизнью. Они оказывают непосредственное воздействие (механическое, химическое и др.) на абиотическую составляющую экосистемы и только опосредованно, через ее изменение или разрушение, на флору, живые организмы и человека. *Неблагоприятные процессы* – снижают комфортность существования биоты и проживания человека, воздействуют на биоту опосредованно через нарушение ландшафтов и разрушение сооружений. Эти процессы длительного действия, с продолжительным периодом подготовки, с отдаленными и опосредованными экологическими последствиями как для человека, так и всего живого. *Благоприятные процессы* – способствуют образованию почвы, определяют качество ресурса геологического пространства. Принципы выделения групп процессов и их списочный состав в пределах каждой группы различен в антропоцентрической и биоцентрической систематиках (рис. 1 и 2).

Геоэкологического изучения процессов абиотических сфер Земли предполагает использование не только традиционных абиотических критериев, но и биотических (медико-статистических, ботанических, микробиологических, зоологических), а также социально-экономических критериев [1,2]. При антропоцентрическом подходе к оценке геологических процессов используются, как правило, медико-статистические (число погибших при катастрофе) и социально-экономические критерии. К последним относятся размер материального ущерба при проявлении землетрясений, наводнений, селей, доля домов с полной неработоспособностью систем жизнеобеспечения при проявлении тех же процессов, перенос жилых домов (% от домов в населенном пункте) при проявлении оползней и селей, а также при оседании поверхности над подземными выработками и др.

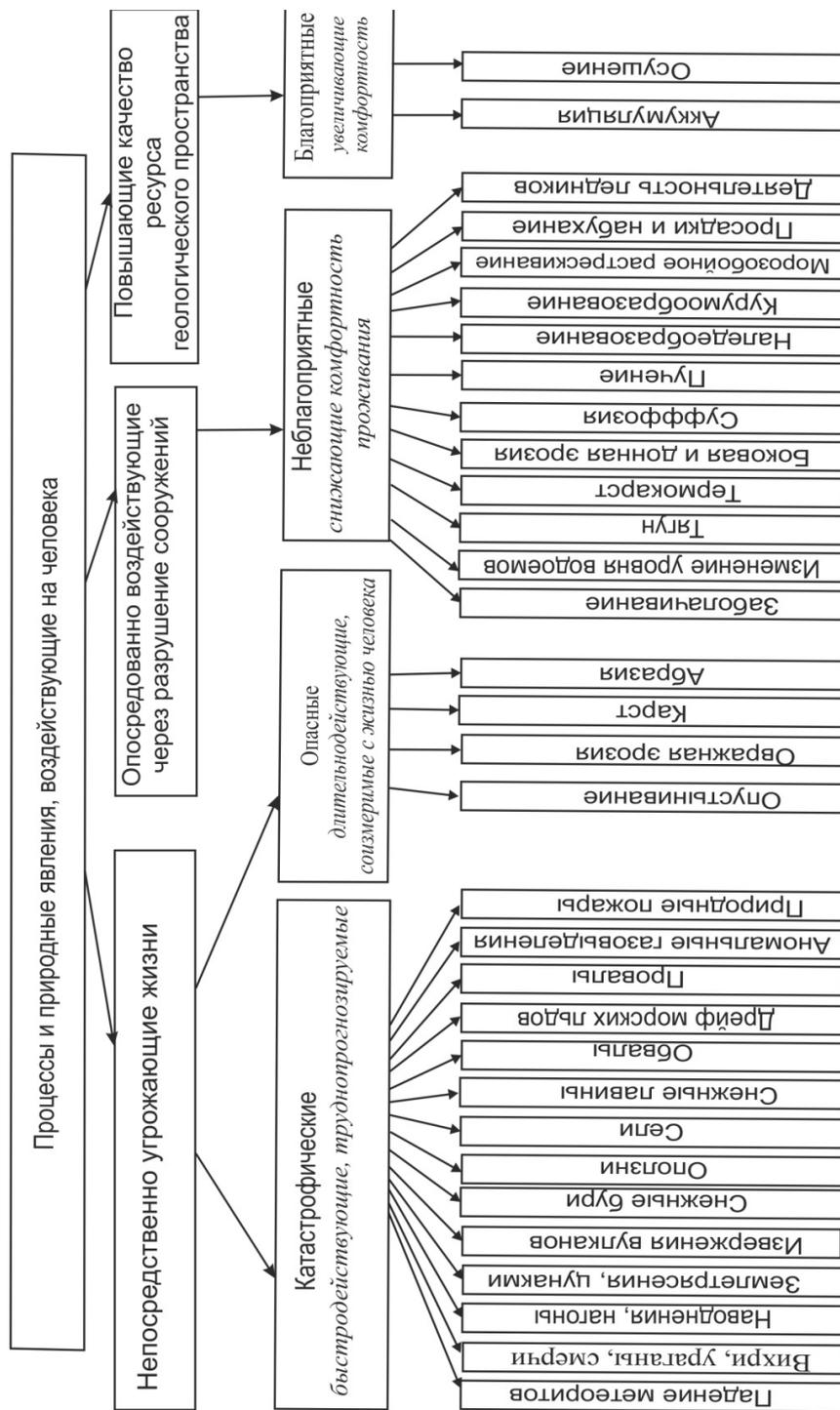


Рис. 1. Систематика процессов абิโอических сфер Земли по характеру воздействия на человека

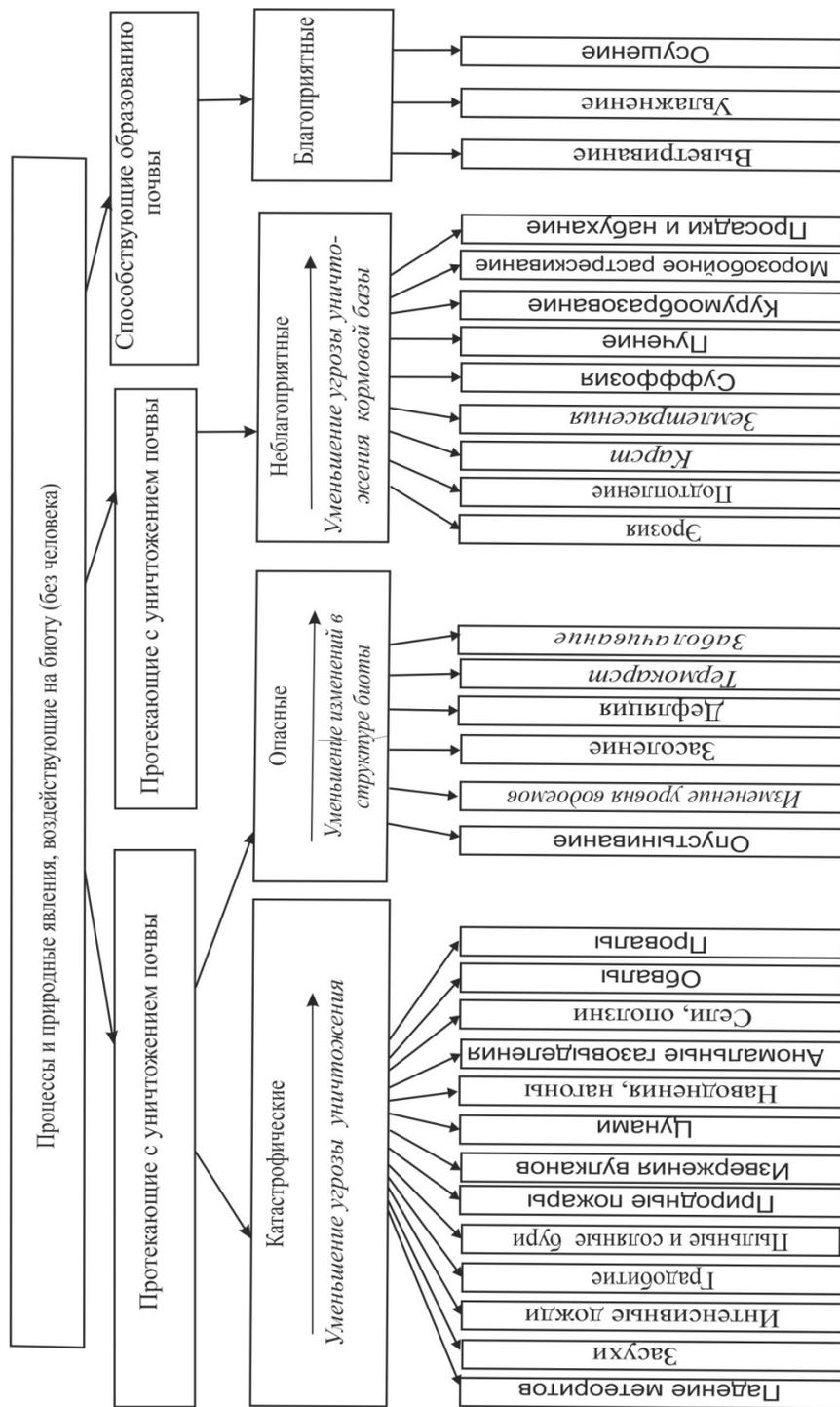


Рис. 2. Систематика г процессов абиотических сфер Земли по характеру воздействия на биоту (без человека). Курсивом показаны процессы, имеющие иное положение, чем на рис. 1

При биоцентрическом подходе к оценке экологических последствий процессов абиотических сфер Земли используют ботанические, зоологические, микробиологические критерии и критерии экологического риска: проективное покрытие пастбищной растительности и плодородие почв (% от потенциального) при оценке эрозии, пыльных бурь и интенсивных дождей; потерю урожая ведущей культуры при проявлении засух, экстремально низких значений температуры, градобитий и др.

Подводя итоги, можно констатировать, что идеология геоэкологического изучения природных и техногенных процессов абиотических сфер Земли коренным образом отличается от идеологии их изучения при инженерно-геологических исследованиях. Отличия касаются не только набора процессов, но, в первую очередь, экологической направленности исследований: оценки экологических последствий проявления процессов дифференцировано для различных представителей биоты, использования экологически ориентированных систематик процессов и биотических критериев оценки процессов абиотических сфер Земли.

Литература

1. *Виноградов Б.В., Орлов В.А., Снакин В.Б.* Биотические критерии выделения зон экологического бедствия России // Изв. РАН. Сер.геогр. – 1993. – № 5. – С. 77-79.
2. *Зилинг Д.Г., Харькина М.А.* Оценка экологических последствий проявления геологических процессов при эколого-геологических исследованиях и картографировании // Разведка и охрана недр. – 2003. – № 7. – С. 57-61.
3. *Осинов В.И.* Геоэкология – междисциплинарная наука об экологических проблемах геосфер // Геоэкология. – 1993. – № 1. – С.4-18.
4. *Островский В.Н.*Изменение геологической среды под влиянием животного мира // Геоэкология. 2011. № 1. С. 26-30.
5. *Трофимов В.Т., Зилинг Д.Г., Аверкина Т.И.*Геоэкология как термин и междисциплинарная наука // Вестн. Моск. Ун-та. Сер. 4. Геология. – 1994. – № 5. – С. 43-55.
6. *Трофимов В.Т.*Об экологических функциях абиотических сфер Земли // Вестн. Моск. Ун-та. Сер. 4. Геология. – 2005. – № 2. – С. 59-65.
7. *Харькина М.А.* К вопросу об оценке эколого-геологических условий России, обусловленных современными геологическими и другими природными процессами // Бюлл. МОИП. Отд. геол. Т. 86. Вып. 4. – 2011. – С. 81–90.

ПОСЛЕДСТВИЯ ИЗМЕНЕНИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ СРЕДЫ ПРИ РАЗРАБОТКАХ РУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ГРУЗИИ

**Л.А. Церцвадзе, М.В. Гагошидзе, З.Г. Какулиа,
Ш.Г. Петриашвили, Т.Г. Яшвили, Ж.Д. Петриашвили**

Институт гидрогеологии и инженерной геологии при Грузинском Техническом Университете,
Тбилиси, ул. Костава 77. E-mail: linetac@hotmail.com,
Тбилисский Государственный Медицинский Университет, Тбилиси, 0160,
проспект Важа-Пшавела 29. E-mail: marinegag@hotmail.com

Влияние геологической деятельности человека на экологическую среду хорошо проявляется при разработках рудных месторождений, в особенности, в случаях открытых выработок. Разработки такого типа приводят к накоплению огромных масс отходов и вызывают как нарушения рельефа и геодинамических условий, так и изменения таких жизненно важных экологических систем, как почвы и грунты, водная среда, воздух. Нарушение естественно сложившегося экологического равновесия приводит к различным нежелательным процессам, в конечном итоге отражающимся на человеческом здоровье.

Грузия, как страна горноскладчатой области, характеризуется разнообразием рудных месторождений. Однако, по разным причинам, не все месторождения разрабатываются. Из разрабатываемых месторождений, оказывающих огромное влияние на экологическую ситуацию регионов нужно отметить Чиатурское марганцерудное месторождение, Маднеульское месторождение медных руд и Лухунское мышьяковое месторождение.

Эксплуатация Чиатурского марганцерудного месторождения имеет более чем полтора вековую историю и нужно отметить, что практически никогда не выполнялись требования защиты окружающей среды от загрязнения, в результате чего на территории г. Чиатура и далеко за ее пределами негативное влияние человека на окружающую обстановку достигло критического уровня.

Значительная часть территории г. Чиатура покрыта отходами марганцерудного производства, создавая своеобразный бугорчато-холмистый рельеф. Опасные для здоровья тяжелые металлы вымываются атмосферными осадками как механически, так и в растворенной (ионной) форме, загрязняя почвы, грунты, грунтовые воды не только непосредственно городской территории, но и за ее пределами. Омывающие отвалы обработанного материала поверхностные воды стекают в р. Квирила, которая на протяжении многих километров сохраняет свой специфический серовато-черный цвет по причине содержания в огромном количестве марганца. Концентрация последнего в речной воде ниже г. Чиатура составляет 600 мг/л, что выше среднего содержания в речных водах более, чем в 50 тыс. раз.

По отвалам и хвостам Чиатурского марганцерудного производства были рассчитаны суммарные показатели загрязнения по шести элементам I группы опасности: As, Hg, Ni, Co, Pb, Zn [4].

Ниже приведено содержание этих элементов в отвалах и хвостах Чиатурского производства, а также их кларк в земной коре. Суммарные показатели загрязнения по отвалам и хвостам Чиатурского марганцерудного производства составили:

Хвосты обогащения марганцевых руд – Zспз – 48,77;
(складированные)

Отвалы карбонатной марганцевой руды – Zспз – 47,62;

Свежие хвосты флотации марганцевой руды – Zспз – 50,6;

Хвосты обогащения марганцевых руд – Zспз – 46,5;
(крупнозернистые)

Как видно из приведенных данных, хвосты и отвалы Чиатурского производства только по 6 элементам характеризуются высокой степенью загрязнения (более 32), а если принять во внимание, что содержание основного рудного элемента – марганца в расчетах не использовалось, можно предположить насколько выше будет реальная степень загрязнения с учетом всех тяжелых металлов [3].

Увеличение содержания токсичных элементов выше предела допустимых концентраций в почвах и грунтовых водах, используемых как для сельскохозяйственных целей, так и для водоснабжения (в виде колодцев индивидуального пользования), вызывает различные заболевания людей, а также домашних животных. Специальных исследований по изучению влияния экологических изменений на здоровье населения региона не проводилось, однако опрос жителей загрязненной территории выявил тенденцию роста заболеваемости онкологическими болезнями, что требует тщательного изучения вопроса на государственном уровне.

Маднеульское горно – обогатительное предприятие многие годы производило добычу медных, барито-полиметаллических, медно-цинковых, барито-золотосодержащих руд и золотосодержащих кварцитов карьерным способом.

Из добываемых руд первичной переработке, т.е. обогащению подвергались медноколчеданные и барито-золотосодержащие руды с получением медного и баритового концентратов. Остальные руды складывались в специальные отвалы и ввиду отсутствия соответствующей технологии ждут дальнейшей переработки в будущем. В настоящее время на Маднеульском горном предприятии происходит переработка медноколчеданных руд и золотосодержащих кварцитов с применением цианидов [6].

В течение всей деятельности Маднеульского комбината вырабатывались и вывозились медные концентраты. При этом игнорировалась экологическая безопасность региона, что привело к накоплению на огромной территории содержащих тяжелые металлы хвостов и отходов производства. Атмосферными осадками хвосты и отвалы постоянно вымываются, вынося токсичные металлы и загрязняя весь район [5].

Расчетные данные суммарного показателя загрязнения отвалов и хвостов Маднеульского горно-обогатительного производства по шести элементам 1 класса опасности As, Cd, Hg, Sc, Pb, Zn составляют:

Отвалы медно-колчеданных руд Zспз- 1068,4;
Хвосты медно-колчеданных руд Zспз- 186,5;
Отвалы золотосодержащих кварцитов -Zспз-87,54
Отвалы барит-полиметаллических руд- Zспз-1860,6;

Как видно из приведенных данных, и хвосты и отвалы Маднеульского производства, судя по суммарному показателю загрязнения по некоторым сопутствующим элементам характеризуются очень высокой и высокой степенью загрязнения. Если принять во внимание количество хвостов медно – колчеданных руд (15628,7 тыс.т) и мелкодисперсность материала флотации, то становится очевидным насколько опасным является вымывание сточными водами токсичных металлов из хвостохранилищ и отвалов. Тем более, что сточные и карьерные воды попадают в реки Казретула, Машавера и Поладаури, а дальше с помощью оросительных каналов на сельскохозяйственные угодья Болнисского района, являющегося основным поставщиком овощей и бахчевых культур для столицы Грузии – Тбилиси.

В настоящее время дополнительным источником загрязнения Маднеульского региона могут явиться утечки растворов с цианистым калием при добыче золота из золотосодержащих кварцитов. Хотя и утверждают представители австралийской золотодобывающей компании, производящей работы по добыче золота, что приняты все меры по обеспечению безопасности производства, полной гарантии, что не будет утечек, все же нет, тем более что район находится в зоне повышенной сейсмичности.

Значительной экологической проблемой Грузии является загрязнение высокогорного региона Рача соединениями мышьяка, которые вызывают нарушение генетических, иммунологических, кроветворных и других систем в человеческом организме. В Лухунском ущелье горной Рачи в течение многих лет добывался мышьяк. В настоящее время его производство приостановлено, но отходы обжигательного завода хранятся в хвостохранилищах, которые сильно повреждены и мышьяксодержащие остатки легко вымываются. В почве, в воздухе и в водах рек Лухунского ущелья содержание мышьяка намного превышает предельные нормы. Так, содержание As в речной воде р. Лухуни составляет 105 мг/л, в р. Риони, куда впадает Лухуни, – 40,2 мг/л, в Куре и других реках – до 9 мг/л.

С целью изучения воздействия загрязненной мышьяком среды на человеческий организм в Раче были проведены специальные исследования медиками. Известно, что организм детей и подростков особенно чувствителен к воздействию вредных мутагенных факторов окружающей среды. Поэтому изучение влияния загрязненной среды на здоровье и заболеваемость детей и подростков представлял большой интерес.

Исследованы были две группы детей дошкольного возраста (7-16 лет). 1 группа-дети, проживающие в Лухунском ущелье, где на протяжении многих лет добывался и хранился мышьяк и 2 группа – дети, проживающие на расстоянии более чем 50 км от месторождения, в г. Амбролаури и прилегающих селах. Педиатрический мониторинг выявил достоверное повышение заболеваемости, например, острых респираторных заболеваний у детей первой группы [1]. Проведенные цитогенетические, иммунологические и гематологические исследования, параллельно с определением уровня мышьяка в крови и моче, выявили различия, подтверждающие воздействие экологической ситуации на организм и адаптационные процессы детей первой группы.

Исследование физического развития детей Лухунского ущелья и г. Амбролаури показало следующее. По физическому развитию девочек и мальчиков наблюдались различия. В группу нормального физического развития девочек в Лухунском ущелье вошло 54,6% детей, а в Амбролаури и прилегающих селах 89,8%, в группу риска в Лухунском ущелье входит 45,4%, в Амбролаури- 10,1%.

Показатели нормального физического развития мальчиков в Лухунском ущелье также отстают от средних показателей мальчиков, проживающих в Амбролаури и прилегающих селах, а количество мальчиков, относящихся к группе риска больше в Лухунском ущелье. В группе нормального физического развития мальчиков в Лухунском ущелье 67,6%, а в Амбролаури – 88%. В группе риска в Лухунском ущелье 27,9%, в Амбролаури и прилегающих селах 5,9% [2].

Изучение здоровья родителей показало, что как и у матерей, так и у отцов, проживающих в Лухунском ущелье по сравнению с проживающими в г. Амбролаури и прилегающих селах высока частота острых респираторных заболеваний. При этом заболеваемость матерей ОРЗ в Лухунском ущелье составляет 87%, в Амбролаури – 3%. Частота заболеваемости отцов острыми респираторными заболеваниями в Лухунском ущелье – 82%, в Амбролаури – 2%, т. е. в зоне действия мышьяка высок относительный и атрибутивный риск респираторных заболеваний, как среди отцов, так и среди матерей. Частота заболеваемости отцов профессиональными заболеваниями в Лухунском ущелье составляет 6%, а в Амбролаури 1%.

В результате исследований было установлено, что окружающая среда отразилась и на течении беременности и родов у матерей. В частности, в Лухунском ущелье физиологически протекающая беременность составляла 40%, патологическая беременность, протекающая с преэклампсией составляла 48%, в то время как в Амбролаури и прилегающих селах физиологически протекающая беременность составляла 85%, а патологическая беременность с преэклампсией – 14%. В Лухунском ущелье физиологически протекающие роды составили 59%, а в Амбролаури и прилегающих селах – 83%.

В зоне действия мышьяка на экологическую среду высок относительный риск респираторных заболеваний. Отмечается учащение случаев острых инфекций верхних дыхательных путей с множественной локализацией, заболеваний острым обструкционным ларингитом, крупом (0-1 степени), атопи-

ческим дерматитом, конъюнктивитом, а также диареей инфекционного происхождения, гастроэнтеритом, эндемически зобом и рядом других болезней.

Исходя из вышеприведенных данных можно заключить, что экологическая ситуация в крупных горнорудных районах Грузии вызывает серьезные опасения и требует срочных мер как по улучшению технологии разработок и обогащения руд, что должно обеспечить минимальный вынос токсичных элементов и меньшее количество отходов, так и ужесточения требований защиты окружающей среды от загрязнения.

Литература

1. Гагошидзе М. В., Антелава М. О., Зедгинидзе А. Г., Манджавидзе Н. Г. Влияние экологической ситуации на заболеваемость детей острыми респираторными заболеваниями // Medical News. – 2005. – № 1(118). – С. 49-52.
2. Гагошидзе М. В., Манджавидзе Н. Г. Показатели здоровья и заболеваемости детей и подростков школьного возраста с учетом экологических риск факторов на примере населения Лухунского ущелья // Груз. Мед. инфор. – 2004. – №4. – С. 48-55.
3. Сает Ю. Е. и др. Методические рекомендации по геохимической оценке загрязнения территории химическими элементами. – М.: ИМГРЭ, 1982.
4. Церцвадзе Л. А., Петриашивили Ш. Г., Чуткерашвили Д. Г. Расчетные данные токсичности отходов горнорудных производств Грузии по некоторым особо опасным элементам. Тр. Института гидрогеологии и инженерной геологии. – № 15. – Тбилиси, 2005.
5. Церцвадзе Л. А., Петриашивили Ш. Г., Петриашивили Ж. Д., Яшвили Т. Г. Биохимическая очистка хвостов и отходов горно-обогатительных производств Грузии. Тр. Международной научно-технической конференции «Охрана окружающей среды и стойкое развитие». – Тбилиси, 2010. – С. 52-55.
6. Церцвадзе Л. А., Петриашивили Ж. Д., Яшвили Т. Г., Петриашивили Ш. Г. Оценка эффективности биохимического обогащения отходов горного производства // «Мацне», Национальная Академия Наук Грузии. Серия 4. Т. 38. – Тбилиси, 2012.

ГЛУБОКОЗАЛЕГАЮЩИЕ ПЛАСТОВЫЕ ВОДЫ ВЕНДА И КЕМБРИЯ ВЕРХНЕЧОНСКОГО НЕФТЕГАЗОКОНДЕНСАТНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ

Е.О.Чертовских*, А.С.Лапоухов, С.В. Алексеев***

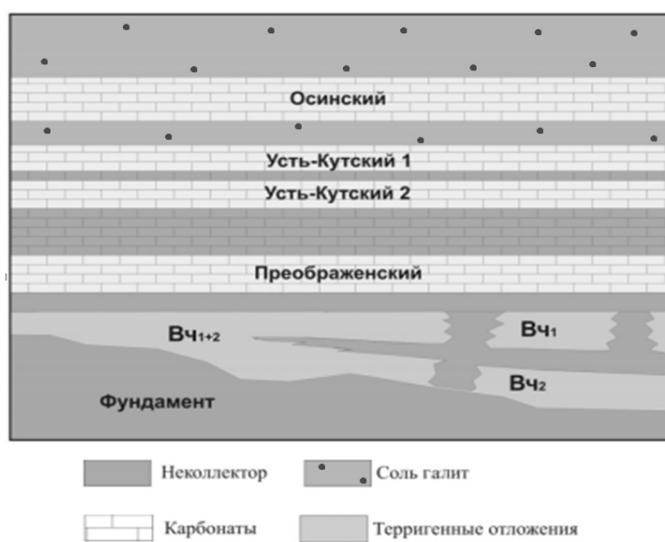
* Институт земной коры СО РАН, Иркутск

** ООО «Газпронефть – НТЦ», Санкт-Петербург

Интенсивная разведка и разработка нефтяных месторождений Восточной Сибири позволяет получать новые данные по геохимическим особенностям глубокозалегающих пластовых вод Венда и Кембрия. Одной из таких площадей, где ведется глубокое бурение на нефть и газ является Верхнечонское нефтегазоконденсатное месторождение (далее ВЧНГКМ) на севере Иркутской области (рис. 1).



Рис. 1. Верхнечонское НГКМ на обзорной карте Иркутской области



ВЧ1, ВЧ2, ВЧ1+2 терригенные пласты Верхнечонского горизонта

Рис. 2. Схематический разрез подсолевых отложений ВЧНГКМ

По системе нефтегазового геологического районирования территории России, месторождение относится к Непско-Ботуобинской нефтегазоносной области в составе Лено-Тунгусской нефтегазоносной провинции. В тектоническом плане приурочено к Непскому своду Непско-Ботуобинской антеклизы (НБА).

В разрезе месторождения водоносные горизонты и комплексы объединяются в три гидрогеологических формации: надсолевую, соленосную и подсолевую [1,3].

Надсолевая гидрогеологическая формация включает верхнюю часть разреза до глубины 200-300 м от четвертичных отложений до верхоленской свиты каменноугольной системы включительно.

Соленосная гидрогеологическая формация включает водоносные комплексы кембрия: литвинцевскую, ангарскую, булайскую и бельскую свиты, а также верхнюю часть усольской свиты. Водовмещающими породами здесь являются доломиты и известняки, а водоупорами для них служат пласты каменной соли или плотные сульфато-карбонатные и глинистые породы.

Подсолевая гидрогеологическая формация включает в себя нижнюю часть усольской свиты – осинский горизонт кембрийской системы и все нижележащие толщи венда до фундамента включительно, глубина залегания по вертикали 1400 м – 1700 м (рис. 2).

Продуктивные горизонты подсолевой формации

Данные по дебитам глубокозалегающих пластовых вод и их физико-химические свойства получены в процессе разведки и разработки Верхнечонского нефтегазоконденсатного месторождения [3].

Осинский горизонт представлен доломитами с прослоями известняка. Вода получена в скважинах 31, 37. Дебит воды достигает до 13,7 м³/сут.

Усть-кутский горизонт состоит из двух доломитовых пластов-коллекторов, разделенных глинистой сульфатно-карбонатной перемычкой. На ВЧНГКМ имеет малую продуктивность.

Преображенский горизонт приурочен к катангской свите. Представлен доломитами. Вскрыт скважинами 77, 82, 40, 105, 91, 73. В некоторых скважинах получены незначительные притоки воды. Максимальный дебит воды составляет 1,53-1,57 м³/сут.

Верхнечонский горизонт непской свиты представлен двумя терригенными пластами Вч₁ и Вч₂, разделенными между собой аргиллитовой толщей. Из скважины 46 получен максимальный дебит воды – 146 м³/сут.

Воды продуктивных пластов осинского, преображенского, верхнечонского (пласты Вч₁, Вч₂) горизонтов на Верхнечонском месторождении изучались при опробовании как в открытом стволе в процессе бурения, так и в обсаженной колонне при перфорации. Для характеристики вод пластов преображенского и верхнечонского горизонтов использовались анализы вод, отобранные из законтурной скважины 105.

Для вод осинского горизонта – из скважины 70, при опробовании которой в процессе бурения был получен приток пластовой воды. Водорастворенный газ исследовался только в водах верхнечонского горизонта. Вязкость и плотность в пластовых условиях были определены в воде верхнечонского горизонта по глубинной пробе, отобранной из скважины 70.

Таблица 1

Свойства и состав пластовых вод Осинского, Преображенского и Верхнечонского горизонтов

Горизонт	Плотность воды, кг/м ³ в ст. усл.	Химический состав вод, (мг/л) / мг-экв./л)											Общая минерализация, г/л	Жесткость общая, (мг-экв/л)	Химический тип воды по В.А. Сулину	
		Na ⁺ + K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Cl ⁻	HCO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	NH ₄ ⁺	Br ⁻	Γ	B ³⁺ (оксид)	Li ⁺				Rb ⁺
Осинский	1290	30620/	94190/	14590/	249220/	120/	50/	-	6030/	7/	41/	20.5/	77/	394.96	5901.25	хлоридно-кальциевый
		1190.77	4701.24	1200.21	7028.75	2.0	1.06	73.38	0.05	11.39	2.93	0.9				
Преображенский	1230	30620/	94190/	14590/	249220/	120/	50/	-	6030/	7/	41/	20.5/	77/	394.96	5201.14	хлоридно-кальциевый
		1190.77	4701.24	1200.21	7028.75	2.0	1.06	73.38	0.05	11.39	2.93	0.9				
Верхнечонский (Вч1, Вч2):	1290	12750/	113723/	11905/	248360/	0.0	280/	240/	6530/	-	-	-	-	392.94	6655.32	хлоридно-кальциевый
		432.84	5676.25	979.07	7004.64	5.95	13.42	81.66	-	-	-	-				

Вода карбонатных отложений осинского горизонта имеет плотность в пластовых и стандартных условиях $1,29 \text{ г/см}^3$, минерализацию – $395,18 \text{ г/дм}^3$. В воде содержатся ионы: кальция – $94,19 \text{ г/дм}^3$, магния – $14,59 \text{ г/дм}^3$, сульфатов – $0,051 \text{ г/дм}^3$, брома – 6093 мг/дм^3 , йода – $6,77 \text{ мг/дм}^3$, бора – 41 мг/дм^3 , (табл. 1).

Вода доломитного пласта преображенского горизонта характеризуется плотностью в пластовых и поверхностных условиях $1,23 \text{ г/см}^3$, минерализацией – $335,5 \text{ г/дм}^3$. В воде содержатся ионы: кальция – $86,17 \text{ г/дм}^3$, магния – $10,94 \text{ г/дм}^3$, сульфатов – $0,17 \text{ г/дм}^3$, брома – 4730 мг/дм^3 , (табл. 1).

Вода терригенных отложений верхнечонского горизонта (пласты Вч₁, Вч₂) характеризуется плотностью в пластовых и поверхностных условиях $1,29 \text{ г/см}^3$, минерализацией – $389 - 396 \text{ г/дм}^3$ (среднее значение – $392,94 \text{ г/дм}^3$). В воде содержатся ионы: кальция – $113,23-114,22 \text{ г/дм}^3$, магния – $10,44-13,37 \text{ г/дм}^3$, сульфатов – до

$0,53 \text{ г/дм}^3$, брома – 6530 мг/дм^3 . Газосодержание вод верхнечонского горизонта (по данным законтурной скважины 105) равно $0,23 \text{ м}^3/\text{т}$. Вязкость в пластовых условиях имеет значение $3,971 \text{ мПа}\cdot\text{с}$, (табл. 1).

Воды усть-кутских пластов недостаточно изучены, так как из-за малых притоков углеводородов данный горизонт считался малоперспективным в районе Верхнечонского нефтегазоконденсатного месторождения.

Краевые области питания подсолевого комплекса на район месторождения существенного гидродинамического влияния не оказывают. Водообмен в этом комплексе, в основном, происходит за счет нисходящих и восходящих внутрипластовых перетоков рассолов по дизъюнктивным нарушениям и «гидравлическим окнам» в водоупорных горизонтах [3].

Влияние пластовых вод на разработку месторождения

В настоящее время основным геологическими объектами разработки на ВЧНГКМ являются терригенные пласты ВЧ₁ и ВЧ₂ Верхнечонского горизонта сливающиеся в единый пласт ВЧ₁₊₂ в западной части месторождения.

В процессе освоения и эксплуатации добывающих скважин, пробуренных в приконтурных зонах залежи (вблизи водонефтяного контакта), были получены притоки пластовых вод из терригенных пластов Верхнечонского горизонта. Из-за того, что данные рассолы обогащены хлоридными солями, в скважинах с обводнением пластовой водой в процессе добычи нефти и газа происходит интенсивное выпадение солей галита в глубинном и устьевом оборудовании скважин ВЧНГКМ. Отложения происходят и в призабойной зоне пласта (ПЗП), из-за чего существенно снижается продуктивность скважин [5].

На месторождении применяется обратная семиточечная система поддержания пластового давления. При фильтрации закачиваемых вод (табл. 2), от нагнетательных скважин к добывающим, пробуренных в приконтурных зонах залежи, происходит смешение закачиваемых вод с пластовыми водам Верхнечонского горизонта. При взаимодействии вод происходит изменение физико-химического равновесия раствора солей, которое влечет интенсивное

вторичное минералообразование [6]. В скважинах происходят отложения сульфатных солей гипса. Данный факт подтверждается производственными наблюдениями за работой скважин, исследованиями отложений и моделированием процесса солеотложения.

Таблица

Химический состав закачиваемых вод

№	Ионы	Закачиваемая вода	
		мг*экв/ дм ³	мг/дм ³
1	Ca ⁺²	18	367,2
2	Mg ⁺²	5,5	66,9
4	Na ⁺ +K ⁺	79,1	1898
5	Cl ⁻	95	3372,5
6	HCO ₃ ⁻	4,5	274,5
7	SO ₄ ⁻	3,1	148
8	Сумма ионов	205,2	6127,1
9	Плотность г/см ³	1,007	

Заключение

При опробовании и эксплуатации нефтяных скважин, притоки глубокозалегающих вод венда и кембрия на Верхнечонском нефтегазоконденсатном месторождении получены из осинского, преображенского и верхнечонского продуктивных горизонтов. Пластовые воды данных горизонтов являются весьма крепкими рассолами по классификации Е.В. Пиннекера [4], а по генетической характеристике В.А. Сулина воды относятся к хлоридно-кальциевому типу [2].

Пластовая вода отложений осинского горизонта имеет плотность в пластовых и стандартных условиях 1,29 г/см³, минерализацию – 395,18 г/дм³. Вода доломитного пласта преображенского горизонта характеризуется плотностью в пластовых и поверхностных условиях 1,23 г/см³, минерализацией – 335,5 г/дм³. Воды терригенных отложений верхнечонского горизонта (пласты Вч₁, Вч₂) характеризуется плотностью в пластовых и поверхностных условиях 1,29 г/см³, минерализацией – 389 – 396 г/дм³.

Высокоминерализованные рассолы пластовых вод Верхнечонского горизонта, обогащенные хлоридными солями (хлоридами кальция и натрия), при изменении термобарических условий при фильтрации в системе пласт – скважина или при смешении с закачиваемыми водами склонны к солеобразованию. В скважинах и призабойной зоне пласта происходят отложения вторичных минералов галита и гипса, что существенно осложняет добычу углеводородов и процесс разработки Верхнечонского нефтегазоконденсатного месторождения.

Литература

1. *Анциферов А.С., Бакин В.Е., Воробьев В.Н. и др.* Непско-Ботуобинская антеклиза – новая перспективная область добычи нефти и газа на Востоке СССР – Новосибирск: Наука, 1986. – 245 с.
2. *Карцев А.А.* и др. Нефтегазовая гидрогеология: учебник для вузов. – М.: Недра, 1992. – 208 с.
3. *Мирошниченко А.В. и др.* Дополнение к технологической схеме разработки Верхне-чонского нефтегазоконденсатного месторождения. Книга первая. – Тюмень, 2011. – 372 с.
4. *Пиннекер Е.В.* Рассолы Ангаро-Ленского артезианского бассейна. – М.: Наука, 1966. – 332 с.
5. *Чертовских Е.О., Качин В.А., Карпиков А.В.* Отложения галита при добыче нефти и газа на Верхнечонском нефтегазоконденсатном месторождении // Вестник Иркутского Государственного Технического Университета. – 2013. – № 5. – С. 82-91.
6. *Чертовских Е.О., Лапоухов А.С.* Проблемы добычи нефти и газа на Верхнечонском нефтегазоконденсатном месторождении, связанные с отложениями галита // Электронная библиотека ONE PETRO SPE 166895, Доклад на 2-ую конференцию SPE «Разработка месторождений в осложненных условиях и Арктике» 2013г, г. Москва, Россия. 19 с.

РОЛЬ АССИМИЛЯЦИОННОГО ПОТЕНЦИАЛА ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ СРЕДЫ КАК ВЕДУЩЕГО ПОКАЗАТЕЛЯ ЭКОЛОГО-ТЕХНОГЕННОЙ СТОЙКОСТИ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

Е.А. Яковлев

Национальный институт стратегических исследований.01030, Украина, Киев, ул.Пирогова,7а.
E-mail: yakovlev@niss.gov.ua

В последнее время в системе мониторинга биосферы в качестве показателя ее комплексных изменений рассматривается ассимиляционный потенциал окружающей среды (АПОС) как ее новый ресурс стойкости в условиях регионального влияния техногенеза. В значительной степени это связано с поступлением в окружающую среду значительного количества разнообразных выбросов (отходов) в результате неполного использования природных ресурсов в процессе хозяйственной деятельности.

Исследования свидетельствуют, что искусственное повышение АПОС, например, увеличение сорбционной способности пород зоны аэрации, расширение площадей залесенности или лито-гидрогеохимическая и энерго-геомеханическая стабилизация недр при добыче минерального сырья с исключением больших объемов пород и подземных вод, требует значительных расходов ресурсов и времени[1-5,8].

Анализ изменений экопараметров окружающей среды (ОС) регионов европейской территории России и Украины с формированием валового внутреннего продукта (ВВП) преимущественно за счет минерально-сырьевых

ресурсов (МСР – до 43-45%), свидетельствует о развитии в связи с этим многочисленных сложных природно-техногенных геосистем (ПТГС) с критическим использованием АПОС. При этом наиболее активно используется ассимиляционный потенциал геологической среды (АПГС) как главного «депо» большинства техногенных влияний на окружающую среду [3,8,10,11].

Учитывая большую численность пространственно распределенных подпорных гидротехнических сооружений, привлекает внимание уровень техногенной деформации речной сети. Эмпирическое значение гранично-допустимой величины зарегулирования речного стока равняется 0.25, тогда как региональный уровень зарегулирования речной сети Украины подпорными сооружениями достигает 60-70%. Таким образом, большинство речных бассейнов Украины имеют 2-3-кратное превышение АПГС зоны активного взаимодействия поверхностных и грунтовых вод (территории заводов, 1-й и 2-й террас).

При условии частичного зарегулирования поверхностного стока АПГС речного бассейна можно определить следующей зависимостью:

$$\text{АПГС} = 1 - (L_p/L_r)/0,25, \quad (1)$$

Для определения АПГС из условия учета влияния опасных экзогенных геологических процессов (ОЭГП), как свидетельствуют результаты исследований известных специалистов (акад.РАН В.И. Осипов, проф. В.Т. Трофимов В.Т., проф. Г.И. Рудько, проф. А.В. Лущик А.В., проф. В.С. Круподеров) целесообразно, на наш взгляд, использование соотношений минимальной, нормативно допустимой и текущих (локальных или объектовых) значений пораженности ОЭГП- соответственно, f_{\min} , f_n , f_i . Для этого можно использовать типичную зависимость определения АПГС:

$$\text{АПГС}_{\text{ОЭГП}} = (f_n - f_i) / (f_n - f_{\min}), \quad (2)$$

В то же время, весь спектр техногенных изменений экосистем (биосферных, гидросферных, литосферных, атмосферных) принято оценивать с точки зрения равновесия их естественно-техногенного состояния или в зонах влияния техногенного объекта при условиях динамического равновесия ПТГС. В связи с этим, большинство исследователей (ак.НАН Украины Е.В. Собонович, акад. РАН В.И.Осипов, проф. В.Т. Трофимов, проф. Г.И. Рудько, проф. В.В. Долин и др.) допустимые пределы развития ПТГС или изменений окружающей среды во многих случаях определяют как допустимый уровень уменьшения АПОС [3-5,10].

В связи с этим экологический предел АПГС в структуре ПТГС целесообразно определять исходя из минимального уровня одного из его элементов.

Принимая к сведению, что почвы, зона ненасыщенной фильтрации (зона аэрации) и верхняя зона техногенных изменений литосферы (ГС) являются "депо" большинства техногенных влияний на окружающую среду, представляется целесообразным по схеме ПДТИ определить общую схему оценки ас-

симилиационного потенциала геологической среды (АПГС) как составляющей эколого-геологических параметров окружающей среды [3,8,9].

Принимая вышеизложенное к сведению, представляется возможным обосновать следующую схему использования АПГС (рис.1).

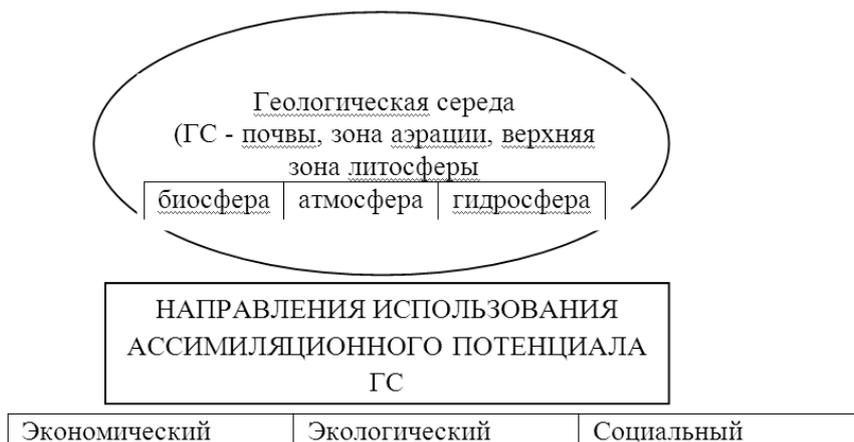


Рис. 1. Структурная схема формирования ассимиляционного потенциала геологической среды (АСГС)

Из вышеприведенной схемы можно прийти к заключению, что при оценке АПГС по геохимическим, инженерно-геологическим, гидрогеологическим, геофизическим и медико-геологическим показателям (акад. РАН В.И.Осипов, проф. В.Т. Трофимов, проф. Г.И. Рудько, проф. В.В. Долин и др.) целесообразно нормирование частных критериев, но при условии рассмотрения их трансформационных связей в структуре ПТГС или в схеме определения АПОС в целом [3-5,8-10].

Для экономики России, Украины, Республики Беларусь сегодня характерным является формирование значительной части ВВП за счет добычи и переработки минерально-сырьевых ресурсов, что обуславливает высокие показатели энерго-ресурсоемкости, накопления отходов и критическое использование ассимиляционных потенциалов как ГС, так и окружающей среды.

Поэтому представляется, что для сбалансированного развития большинства техногенно нагруженных регионов нужно возобновление АПОС путем создания новых производств со сниженной энерго-ресурсоемкостью в первую очередь, в развитых ("старых") горно-добывающих районах Донбасса, Кривбасса, КМА и др. регионов. С другой стороны, истощения АПОС и необратимые изменения земельных, водных и др. ресурсов при значительном ухудшении экономического положения и здоровья населения, делают эту проблему очень сложной и долгосрочной.

В условиях техногенных влияний на естественный комплекс территории уровень изменений АПНС будет равняться:

$$AP_t = AP_0 \cdot (1 - r)^t \quad (3)$$

где AP_t – ассимиляционный потенциал окружающей среды на расчетное время t (срок эксплуатации производства или функционирования ПТГС);

AP_0 – начальное значение АПОС;

r – допустимая величина снижения АПНС во времени (в долях единицы/год).

Из вышеприведенной зависимости можно определить расчетное время t_{min} , когда диапазон изменений АПГС или АПОС от AP_0 к AP_{min} будет той его частью, которая может быть использована у хозяйственной деятельности того или другого производства (объекту).

После логарифмирования зависимость (3) имеет следующий вид:

$$\lg AP_t = \lg AP_0 + t \lg(1 - r). \quad (4)$$

Если принять с учетом постоянных значений $\lg AP_0 = a_0$, а $t \lg(1 - r) = k$, то уравнение (4) может быть обобщено как уравнение прямой вида (рис. 2):

$$y = a_0 - kt. \quad (5)$$

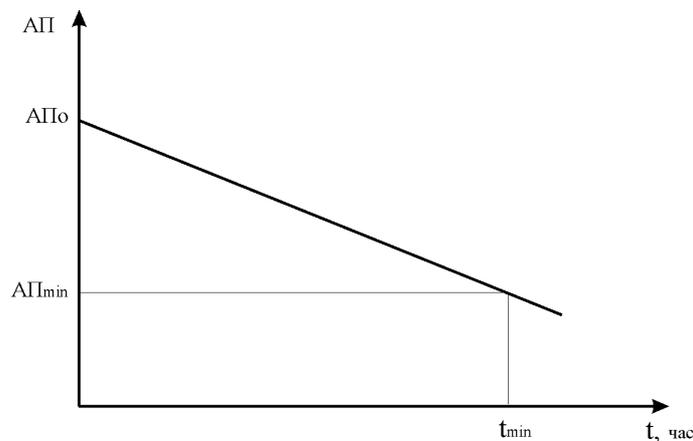


Рис. 2. Принципиальная схема динамики изменений АПГС (АПНС) во времени

Главными источниками загрязнения окружающей среды в зонах влияния ТГС являются твердые и жидкие (шахтные, сточные воды) и твердые отходы. Атмохимическое влияние воздушных выбросов на загрязнение приземного слоя воздуха и почв преимущественно локализуется в пределах ГДР; жидкие отходы чаще всего поступают в поверхностные водные объекты, что обуславливает их влияние в пределах местных, межрегиональных и трансграничных речных бассейнов. Твердые отходы добычи и переработки мине-

рального сырья отличаются наиболее долгосрочным влиянием и стойкостью его во времени.

При условии формирования в пределах отдельной ТГС определенного количества отходов G , которые имеют относительно стабильную долю перехода (коэффициент перехода K_{Π}) в составляющие окружающей среды (водную, воздушную и др.) объемом (массой, площадью) V , то его ассимиляционную способность в общем (пространственно-территориальному) измерении можно определить на основе следующей ориентировочной зависимости:

$$G \cdot K_{\Pi} / V < C_{\text{ПДК}}. \quad (6)$$

На данное время в России, Украине и других государствах СНГ существует много нормативов, в которых приводятся значения $C_{\text{ПДК}}$ для разных классов загрязнителей эколого-формирующих элементов окружающей среды. Отмеченные нормативы являются достаточно несовершенными относительно определения ассимиляционных потенциалов окружающей или геологической среды, так как чаще всего недостаточно учитывают взаимодействие биотической, абиотической и техногенной составляющих ТГС.

В практических эколого-геологических оценках чаще всего используются 2 показателя геохимического загрязнения составляющих окружающей среды:

– коэффициент концентрации K_K и суммарный показатель загрязнения $K_{\text{СПЗ}}$. Коэффициент концентрации K_K равняется отношению текущей концентрации загрязнителя C_i к его $C_{\text{ПДК}}$ или фоновому значению:

$$K_K = C_i / C_{\text{ПДК}} \quad (7)$$

Суммарная величина K_K для многоэлементного загрязнения определяется как:

$$K_{\text{СПЗ}} = \sum_{i=1}^n K_i - (n-1) \quad (8)$$

где n – количество загрязнителей.

Существуют градации $K_{\text{СПЗ}}$ по уровню экологического влияния (Ю.Е. Саэт, 1983), которые имеют следующие значения: <16, 16-32, 32-128, >128 (соответственно, незначительный, умеренный, высокий, критический).

Следует отметить, что АПГС тесно связан с распределяющей способностью элементов ГС относительно техногенных влияний, в первую очередь поступление загрязнений.

Например, при поступлении в составляющие ГС (почвы, подземные воды) химического загрязнения его окончательное количество в пределах ТГС:

$$G_{\text{ост}} = G_0 - (G_d + G_p) \quad (9)$$

где G_0 – общее количество поступления загрязнения; G_d, G_p – соответственно, количество рассеивания (дисперсии) и распада.

Из вышеприведенной зависимости можно видеть, что при условии $(G_d+G_p) < G_0$ будет иметь место стойкий рост $G_{ост}$ и, как следствие, истощение АПГС и превышение $S_{пдк}$ в отдельных составляющих ГС и окружающей среды.

Учитывая, что в ряде районов Украины, России и других государств СНГ техногенез достиг уровня, когда отдельные элементы биосферы теряют возможность самовосстановления в результате критического уменьшения АПГС (АПОС), представляется необходимой разработка научных основ их экономических показателей с целью избегания критического снижения БЖД человека

Литература

1. *Лялько В.И., Попов М. А.* (редактор) Спутниковые методы поиска полезных ископаемых. – Киев: Карбон-Лтд, 2012. – 435 с.
2. *Осипов В.И.* Природные катастрофы на рубеже XXI века. Геоэкология. Инженерная геология. Геокриология. – 2001. – № 6. – С. 483-488.
3. *Рудько Г.И., Адаменко О. М.* (редактор). Вступление к медицинской геологии. – Т. 1, т. 2. – Киев: Академпрес, 2010. – 736 с., 448 с.
4. *Сает Ю.Е., Ревич Б.А., Янин Е.П.* Геохимия окружающей среды. – М.: Недра, 1990. – 335 с.
5. *Сергеев Е.М.* (редактор) Теоретические основы инженерной геологии. Геологические основы. – М.: Недра, 1985. – 332 с.
6. *Ставицкий Э.А., Рудько Г.И., Яковлев Е.А.* Стратегия использования питьевых подземных вод для водоснабжения. Т. 1, т. 2. – Киев: изд. дом Букрек.
7. *Соботович Э.В., Долин В.В.* (редакторы). Тритий в биосфере. – Киев: Наукова думка, 2012. – 223 с.; 2011. – 347с., 499 с.
8. *Трофимов В.Т., Зилинг Д.Г.* и др. Экологические функции литосферы. – М.: МГУ, 2000. – 432 с.
9. *Шестопалов В.М.* (редактор). Классификация минеральных вод Украины. – Киев: Макком, 2003. – 121 с.
10. *Яковлев Е.А.* Оценка влияния поровых растворов региональных слабо-проницаемых слоев на формирование качества ресурсов питьевых подземных вод // Минеральные ресурсы Украины. – 2011. – № 1. – С. 37-40.

5. МЕТОДОЛОГИЯ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ В ИНЖЕНЕРНОЙ ГЕОЛОГИИ И ГЕОЭКОЛОГИИ

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА АКТИВНОГО ГЕОЭЛЕКТРИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА ДЛЯ ОТСЛЕЖИВАНИЯ ПРОЦЕССОВ ПОДГОТОВКИ ПРОВАЛОВ ГРУНТА: ОЦЕНКА ВОЗМОЖНОСТЕЙ МЕТОДА И ТРЕБОВАНИЙ К АППАРАТУРЕ

Е.Н. Волкова¹, А.Н. Камшилин¹, П.А. Казначеев¹, В.В. Попов²

¹ Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН, 123995; г. Москва, ул. Большая Грузинская, д. 10, стр. 1; E-mail: kamshilin@ifz.ru, p_a_k@mail.ru

² НИУ МЭИ, 111250, Москва, Красноказарменная улица, дом 14

Природные и природно-техногенные катастрофы ежегодно наносят существенный ущерб хозяйственной деятельности человека и уносят жизни людей. Провалы грунта являются катастрофой, которая может приводить к серьезным повреждениям хозяйственной инфраструктуры и провоцировать возникновение аварий, приводящих к гибели людей. Образование провалов грунта обусловлено, в основном, экзогенными геологическими процессами, связанными с действием подземных вод (суффозия, карст, псевдокарст и др.) [8]. Эти процессы широко распространены на территории России. Они активно развиваются в регионах с большой плотностью населения, с активной хозяйственной деятельностью и, соответственно, с сильным техногенным влиянием на природную среду. К числу таких регионов можно отнести Нижегородскую область, Пермский край, Республику Башкортостан, Московскую область, где эти геологические процессы создают реальную угрозу провалообразования [6]. Особую опасность представляют провалы грунта в зоне ответственной хозяйственной деятельности (производство электроэнергии, химическая промышленность и т.п.). Для предотвращения или минимизации наносимого ущерба важно обнаруживать и отслеживать процессы подготовки провалов.

Для стационарных наблюдений за карстопроявлениями, для изучения динамики развития выявленных ранее карстово-суффозионных форм в основном используются две группы методов [4,10]. Первая группа – гидрогео-

логические наблюдения в сети скважин – позволяет выявить изменение динамики процессов растворения (геохимические методы, резистивиметрия), и изменение гидрогеологических условий (наблюдение за уровнем подземных вод), способствующих развитию или являющиеся следствием карстово-суффозионных процессов. Поэтому заметить процесс развития полостей при гидрогеологических наблюдениях можно только по косвенным данным. Вторая группа методов основана на регистрации подвижек грунта. Эти методы позволяют выявить процесс развития полостей на относительно поздних этапах, когда есть проявления в виде подвижек грунта или деформаций земной поверхности. Поэтому для оперативного мониторинга (наблюдения в режиме реального времени или близком к нему) процессов развития полостей на ранних этапах данные методы не являются оптимальными. Также серьезными недостатками всех методов является нежелательная дискретность получаемой информации, дороговизна и технологическая громоздкость.

Таким образом, актуальной является задача разработки средств и способов оперативного мониторинга процессов подготовки провалов грунта на стадии возникновения и развития закрытых полостей обрушения, основанного на других геофизических методах; в нашем случае – на методах электро-разведки.

Для определения возможностей мониторинга необходимо представлять себе модель зоны подготовки провала. В процессе подготовки и образования провала грунта можно условно выделить несколько этапов, по [9,11] (на примере развития карстово-суффозионного процесса). Первый этап характеризуется растворением, выносом, фильтрацией, разуплотнением материала, а также другими подобными процессами в карстующихся породах и около них. В конце этапа образуется закрытая полость в карстующихся породах. Второй этап – в результате обрушения кровли полости в грунтах, лежащих над ней, образуется другая полость обрушения, и процесс продолжается в виде последовательного образования промежуточных закрытых полостей обрушения. Этот этап можно представить упрощенно как «всплытие» закрытой полости. Полость «всплывает» к поверхности земли, причем это «всплытие» происходит скачкообразно (дискретно). Так продолжается до тех пор, пока полость не приближается к поверхности земли. Начинается третий этап – непосредственно образование провала грунта.

Зона подготовки может рассматриваться как локальная пространственная неоднородность, параметры которой изменяются во времени. Для модели в первом приближении полость обрушения можно представить шаровой полостью [7] (рис. 1), находящейся в однородном полупространстве (вмещающая среда). Далее модель может уточняться – во втором приближении полость может быть представлена полушарием, ориентированным выпуклостью вверх и т.п. Динамика зоны подготовки провала может быть представлена как скачкообразное всплытие полости.

На основе анализа нормативных документов ([9] и др.), была дана оценка ожидаемых значений основных параметров модели:

- диаметр шаровой полости – от 1 до 17 м (соответственно, радиус от 0,5 до 8,5 м);
- глубины, на которых может развиваться и залегать полость – до 100 м;
- электропроводность σ – от 0 См/м до электропроводности вмещающей среды и более, до 1 См/м.

Геофизический мониторинг, основанный на методах электроразведки с искусственно создаваемым электрическим полем (постоянного тока или низкой частоты), можно назвать активным геоэлектрическим мониторингом (АГЭМ) [2]. Метод АГЭМ, предложенный в [1], предполагает, что электрометрическая установка должна быть как можно более чувствительна к изменению параметров поля, связанным с изменением структуры разреза, а не к их абсолютным значениям. Кроме этого установка должна быть минимально чувствительна к скалярным изменениям параметров поля из-за изменения температуры, влажности и пр. На основе этой методики может быть построено два типа электрометрических установок (рис. 1) [1, 3].

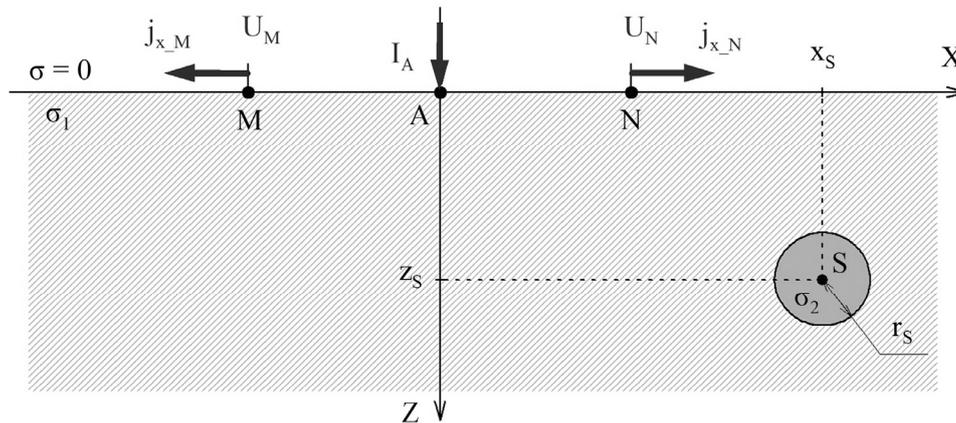


Рис. 1. Модель зоны подготовки провала и установка АГЭМ. Вид в разрезе в плоскости XZ на однородное проводящее полупространство проводимостью σ_1 с шаровой полостью проводимостью σ_2 с центром в точке S. Граница дневной поверхности совпадает с осью X. Пояснения обозначений см. в тексте

Первый – эквипотенциальная установка [1], в которой при помощи электродных пар измеряется разность потенциалов, сами электроды в исходном состоянии (перед началом мониторинга) располагаются на одной эквипотенциальной линии поля источника. На рис. 1 они располагаются в точках M и N; в центре координат находится излучающий электрод A, с которого стекает ток I_A ; измеряется разность потенциалов $U_{MN} = (U_M - U_N)$, в исходном состоянии (полости нет) $U_{MN} = 0$. Такая установка показала свою её эффективность для мониторинга геодинамических процессов [2, 3].

Второй – установка, в которой определяется разность плотностей тока в двух точках; точки выбираются из аналогичного условия – в исходном состоянии измеряемые плотности тока в этих точках равны по абсолютному значению. В установке на рис. 1 определяется разность плотностей тока $J_{MN} = (|j_{x_M}| - |j_{x_N}|)$, нормированная к I_A . На рис. 1 плотности тока измеряются также в точках М и N, поскольку изображен случай однородного проводящего полупространства, излучающий электрод В унесен на «бесконечность», в исходном состоянии полости нет и $|j_{x_M}| = |j_{x_N}|$, $J_{MN} = 0$. Плотность тока измеряется бесконтактным способом с помощью специальных приборов – локальных измерителей тока (ЛИТ) [3, 5]. Главное преимущество такой установки с использованием ЛИТ – потенциально большая помехозащищенность измерений по сравнению с электродными измерениями.

Для этой модели была решена задача расчёта поля и для установки с использованием ЛИТ были построены семейства зависимостей J_{MN}/I_A от z_S при различных параметрах задачи (рис. 2).

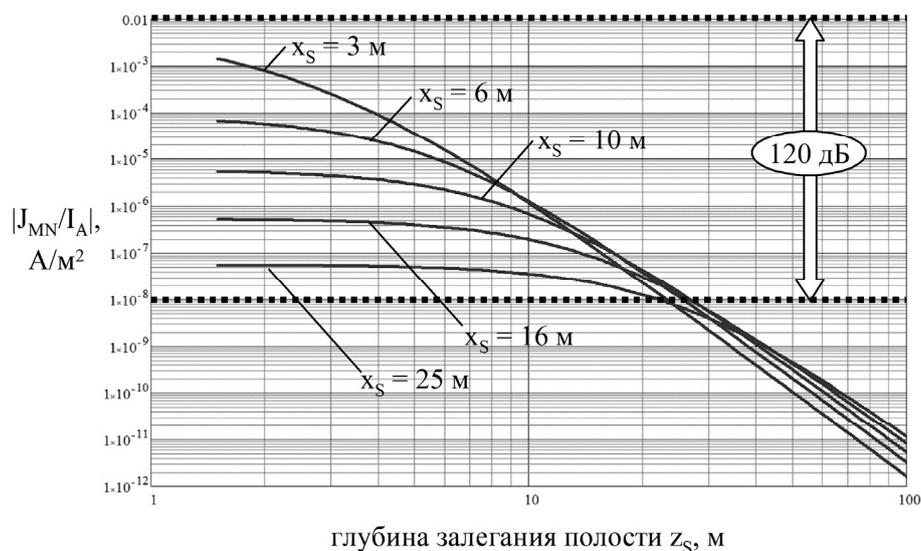


Рис. 2. Пример семейства расчетных зависимостей $|J_{MN}/I_A|$ от глубины залегания шаровой полости z_S , при разном расстоянии x_S от электрода А до центра полости по горизонтали (при $\sigma_2 = 0.1$ См/м, $r_S = 1$ м). Указан динамический диапазон идеализированной измерительной аппаратуры 120 дБ

Расчёт проведён со следующими допущениями: шаровая полость находится достаточно далеко и глубоко, можно пренебречь неоднородностью первичного поля около полости и учитывать только первый порядок взаимодействия аномального поля от полости с дневной поверхностью.

Для мониторинга важен информативный диапазон изменения J_{MN} , внутри которого можно получить интересующую информацию (рис. 2). Верхняя граница диапазона определяется информативной максимальной величиной сигнала J_{MN} , и эта величина достигается, когда полость находится близко к установке. Необходимо отметить, что расчётные значения, показанные на рис. 2, в этом случае были проверены и уточнены при помощи численного моделирования. Тогда нижняя граница определяется динамическим диапазоном входного сигнала измерительной аппаратуры, включая устройство регистрации сигнала. Для идеализированной измерительной аппаратуры можно принять динамический диапазон в 120 дБ, что соответствует возможностям регистрирующего устройства в виде современного аналого-цифрового преобразователя (АЦП). Тогда можно определить требуемую чувствительность измерительной аппаратуры – при максимальной величине входного сигнала АЦП 5 В, $I_A = 1$ А:

$$K = \frac{(U_{\text{вх_АЦП}})_{\text{max}}}{(J_{MN})_{\text{max}}} = \frac{5 \text{ [В]}}{10^{-2} \text{ [А/м}^2\text{]}} = 500 \left[\frac{\text{В}}{\text{А/м}^2} \right]$$

Из анализа семейств зависимостей был сделан вывод, что с помощью метода активного геоэлектрического мониторинга с использованием локальных измерителей тока возможно обнаруживать и отслеживать развитие закрытых полостей обрушения, приводящих к образованию провалов грунта.

Литература

1. А.с. 1048439 СССР, МКИ³ G 01 V 3/02. Способ измерения временных вариаций удельного сопротивления земли / Камшилин А.Н., Волкова Е.Н., Кравченко В.Б. (СССР). – № 3302854/18-25; заявл. 19.06.1981; опубл. 15.10.1983, Бюл. № 38.
2. Хоменко В.П., Камшилин А.Н., Кузичкин О.Р., Волкова Е.Н. Возможности регистрации подземных обрушений грунтов с помощью активного геоэлектрического мониторинга // Промышленное и гражданское строительство. – 2007. – № 11. – С. 12-14.
3. Волкова Е.Н., Казначеев П.А., Камшилин А.Н., Попов В.В. Геоэлектрические исследования процессов подготовки провалов грунта // Геофизические исследования. – 2013. – Т. 14. – № 3. – С. 64-79.
4. Инженерно-геологические изыскания для строительства: СП 11-105-97: в 6 частях. Ч. VI. Правила производства геофизических исследований: дата введения 01.07.2004 / Госстрой России. – М.: ПНИИИС Госстроя России, 2004.
5. Казначеев П.А., Камшилин А.Н., Попов В.В. Измерение локальной плотности тока в земной коре // Вестник МЭИ. – 2011. – № 5. – С. 57-63.
6. Ломтадзе В.Д. Инженерная геология. Инженерная геодинамика. – Л.: Недра, 1977.
7. Огильви А.А. Основы инженерной геофизики: учеб. для вузов. – М.: Недра, 1990.
8. Опасные экзогенные процессы / под ред. В.И. Осипова. – М.: ГЕОС, 1999.
9. Рекомендации по проведению инженерных изысканий, проектированию, строительству и эксплуатации зданий и сооружений на закарстованных территориях Нижегородской области: утв. 09.04.2012. – Нижний Новгород, 2012.
10. Толмачев В.В., Троицкий Г.М., Хоменко В.П. Инженерно-строительное освоение закарстованных территорий. – М.: Стройиздат, 1986.
11. Хоменко В.П. Закономерности и прогноз суффозионных процессов. – М.: ГЕОС, 2003.

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МОНИТОРИНГА ТЕХНОГЕННЫХ МАССИВОВ ГОРНЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ С ПРИМЕНЕНИЕМ ДИСТАНЦИОННЫХ МЕТОДОВ

**А.М. Гальперин, С.А. Пуневский, В.В. Ческидов,
А.М. Петряков**

Московский государственный горный университет, 119991, г. Москва, Ленинский пр-т, 6.
E-mail: galperin_a@mail.ru

В Российской Федерации значительные территории горнопромышленных районов, в том числе с плодородными почвами, заняты отвалами и гидроотвалами, хранилищами отходов обогащения полезных ископаемых. Эти горнотехнические сооружения занимают значительные площади, сложены отложениями с низкой прочностью и несущей способностью, что влечет за собой развитие опасных геологических процессов и сопутствующее им загрязнение окружающей среды.

В результате разработки месторождений и последующей технологической обработки полезных ископаемых образуются техногенные массивы – искусственно сформированные в природном ландшафте геологические тела из обломков горных пород, отходов обогащения, зол, шлаков, шламов и пр. Площади земельных отводов крупнейших горнодобывающих предприятий измеряются тысячами гектаров отчуждаемых и нарушаемых земель.

В отвалах российских горных предприятий размещены значительные объемы вскрышных пород, измеряющиеся десятками миллиардов кубометров. Только в гидроотвалах и хвостохранилищах уложено около 5 млрд. м³ отходов обогащения полезных ископаемых и более 1,5 млрд. м³ вскрышных пород. Эти сооружения – объекты повышенной экологической опасности, вызывающие загрязнение воздуха, подземных и поверхностных вод, почв, изменение биоценозов на обширных территориях. Выполнение комплекса инженерно-геологических, гидрогеомеханических и геолого-геохимических исследований техногенных массивов необходимо для обоснования мероприятий по обеспечению их устойчивости, экономии водных и земельных ресурсов, пополнения минерально-сырьевой базы горных предприятий.

Объектами гидрогеомеханических исследований кафедры геологии МГИ-МГГУ являлись отвальные насыпи смешанных пород на слабых водонасыщенных основаниях (КМА, Кузбасс и др.), подвергавшиеся депрессионному уплотнению вследствие глубокого водопонижения, надрудные толщи месторождений КМА и Запорожского железорудного узла, намывные техногенные массивы гидроотвалов и хвостохранилищ различных горнопромышленных регионов [1,2,3,7].

Для оценки устойчивости обводненных откосов В.А.Мироненко предложен принцип сведения объемных гидродинамических сил к эквивалентным контурным, благодаря которому силовое воздействие подземных вод учитывается наиболее просто – через значения пьезометрической высоты по контуру оползающего блока. Этот эффективный расчетный прием широко используется также при оценке устойчивости откосных сооружений гидроотвалов и хвостохранилищ [5].

По своему назначению мониторинг академиком В.И.Осиповым разделен на два типа. Прогнозный позволяет проводить долгосрочный, среднесрочный и краткосрочный прогнозы опасного события, что дает определенный запас времени для подготовки к ожидаемому событию, а охранный фиксирует развитие процесса и оповещает о наступлении экстремальной фазы, когда приближающаяся катастрофа становится неизбежной, а оставшийся минимальный запас времени не позволяет осуществить плановые мероприятия [6].

Разработаны и внедрены новые способы мониторинга техногенных массивов и устройства их реализации [2]:

- способ комплексного зондирования устройствами МГГУ-ДИГЭС, пенетрационно-каротажной станцией ВСЕГИНГЕО и типоряд оригинальных зондов;

- способ дистанционного контроля состояния труднодоступных намывных территорий с применением аэрофотограмметрической съемки для определения осадок намывного массива и его несущей способности;

- способ интерактивного удаленного контроля устойчивости откосов дамб намывных сооружений и отвальных насыпей на слабых основаниях по обоснованным гидрогеомеханическим критериям безопасности посредством сотовой связи стандарта GSM;

- технические средства измерения деформаций откосов отвалов сухих пород на слабых основаниях, обеспечивающих установление критических значений деформаций для управления процессом отвалообразования.

Инженерно-геологическое районирование позволяет сравнивать участки намывных массивов и определять вид и сроки их дальнейшего использования. Районирование предусматривает выделение в пределах исследуемых территорий однородных в инженерно-геологическом отношении таксономических единиц определенного уровня.

Материалы инженерно-геологического районирования намывных территорий должны обеспечивать решение следующих основных задач:

- увеличение вместимости действующих сооружений на основе форсирования консолидации тонкодисперсных грунтов;

- подготовка намывных территорий для их дальнейшего народнохозяйственного использования (рекультивации, размещения сухих отвалов, строительства).

Для эффективного использования территорий гидроотвалов необходимо обладать надежной информацией о состоянии техногенного массива и прогнозировать поведение намывных оснований во времени. В частно-

сти, при использовании территорий гидроотвалов под сухие отвалы или при рекультивации большое значение имеют несущая способность намывных масс и изменение ее о времени.

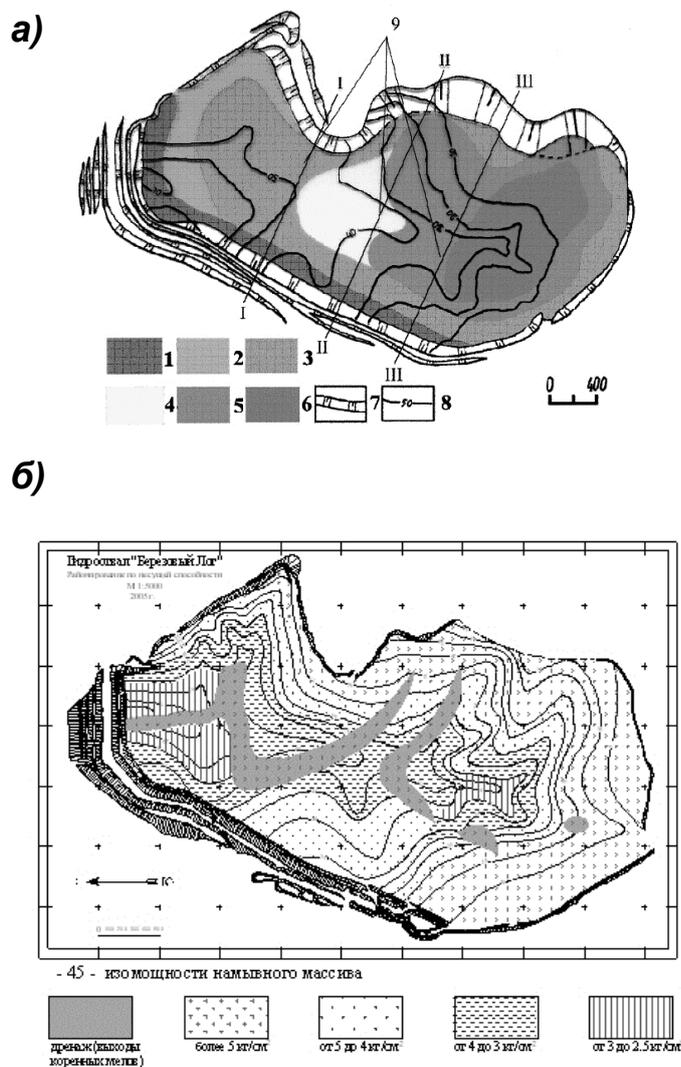


Рис. 1. а) Карта инженерно-геологического районирования гидроотвала «Березовый Лог» (КМА):

1, 2, 3, 4, 5, 6 – инженерно-геологические участки; 7 – откосные сооружения гидроотвала;
8 – изолинии мощности намывной толщи; 9 – линии инженерно-геологических разрезов соответственно по осям I, III и II дренажных разделительных призм;

б) Карта районирования территории гидроотвала «Березовый Лог» по несущей способности ($P_{доп}$)

В крупнейших российских горнопромышленных регионах КМА и Кузбассе выполнялись комплексные исследования техногенных массивов, включавшие натурные и лабораторные эксперименты с использованием вышеперечисленных методов мониторинга и определение механических свойств техногенных отложений в приборах трехосного сжатия. Результаты инженерно-геологического районирования намывных территорий гидроотвалов КМА для 2-х крупнейших карьеров на базе железорудных месторождений КМА даны на рис. 1 и 2. На основании этих материалов разработаны рекомендации по отсыпке 2-х ярусной отвальной насыпи на гидроотвале Березовый Лог в связи с дефицитом отвальных площадей.

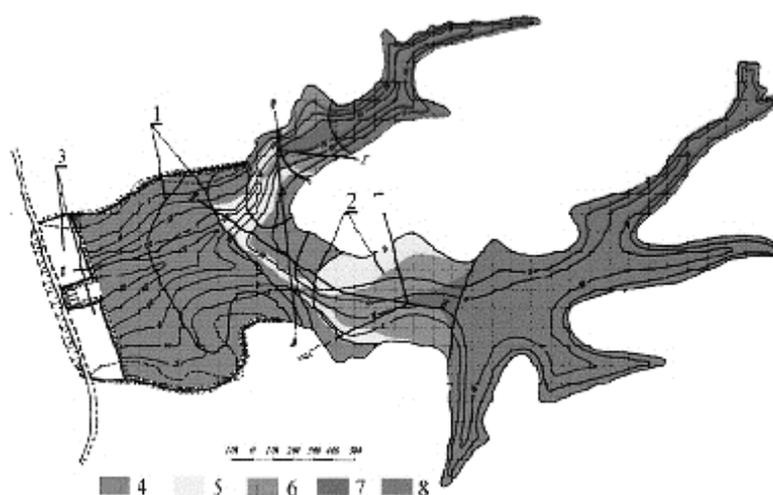


Рис. 2. Карта зональности территории гидроотвала «Лог Шамаровский» по несущей способности намывного массива:

- 1 – границы инженерно-геологических зон;
- 2 – границы участков с различной несущей способностью намывных грунтов;
- 3 – рекультивированный участок гидроотвала

Интерактивный мониторинг дамб гидроотвалов и хвостохранилищ позволяет оперативно корректировать конструкцию и режим возведения этих сооружений и оценивать возможности их дальнейшего наращивания. На рис.3 дана принципиальная схема мониторинга сооружений промышленной гидротехники с использованием датчиков порового давления, приборов для сбора и накопления контролируемых показателей и их передачи через мобильную связь [4].

В настоящее время получили большое распространение устройства контроля и управления удаленных объектов через сотовую связь стандарта GSM в нескольких режимах(GPRS, SMS и т.д.).

Устройство для удаленного контроля состояния намывных плотин, в которых установлены струнные датчики давления воды системы ДИГЭС (ранее «Гидропроект», Москва) разработано во ВНИМИ и НПФ «Карбон» (г. Санкт-Петербург). Контроль порового давления в гидротехнических сооружениях предусматривается рекомендациями ICOLD [8].

С июля 2013 г. на головной дамбе хвостохранилища СГОК проводится апробация системы передачи информации по беспроводной связи. Данный метод сбора данных позволяет расширить возможности применения систем дистанционного контроля в сложных условиях объектов горнодобывающей промышленности.

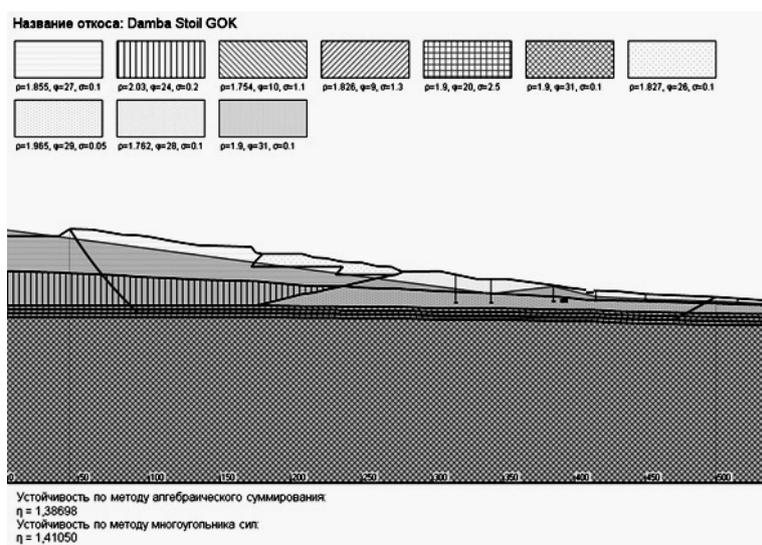


Рис. 3. Оперативный расчет устойчивости головной дамбы хвостохранилища Стойленского ГОКа с использованием замеров порового давления

Внедрение результатов работы в регионах Кузбасса и КМА обеспечило оперативный контроль устойчивости дамб и несущей способности слабых оснований, размещение на намывных основаниях свыше 0,5 млрд. м³ «сухой» вскрыши, исключение нарушения свыше 5000 га плодородных земель, сокращение на десятилетия сроков рекультивации отвалов.

Литература

1. Гальперин А.М. Геомеханика открытых горных работ. – МГУ, 2003.
2. Гальперин А.М., Кутепов Ю.И., Кириченко Ю.В. и др. Освоение техногенных массивов на горных предприятиях. – М.: Изд-во «Горная книга», 2012.
3. Гальперин А.М., Панфилов А.Ю., Пуневский С.А., Пелагеин И.В. Гидрогеомеханический мониторинг намывных сооружений горных предприятий // Гидротехническое строительство. – 2011. – №1. – С. 19-24.

4. *Кутепов Ю.И., Кутепова Н.А., Мильман Г.Л.* Методы и технические средства гидрогеомеханического мониторинга безопасности промышленных гидротехнических сооружений // Инженерные изыскания. – 2009. – №5.
5. *Мироненко В. А., Стрельский Ф.П.* Практическое применение принципов гидрогеомеханики в целях повышения промышленной и экологической безопасности горных работ // Инженерная геология. – 1989. – № 5.
6. *Осипов В. И.* Природные опасности: мониторинг и оповещение // Геоэкология. – 2011. – № 1.
7. *Ческидов В.В.* Комплексное зондирование намывных отложений гидроотвала №3 разреза «Кедровский» // Горная промышленность. – 2011. – №100 (6).
8. *Monitoring of tailings Dams, ICOLD, Bulletin 104, 1996.*

КОСМИЧЕСКИЙ ЛИТОМОНИТОРИНГ ПРИ ОСВОЕНИИ МИНЕРАЛЬНЫХ РЕСУРСОВ В РЕСПУБЛИКЕ БЕЛАРУСЬ

В.Н. Губин

Белорусский государственный университет, Минск, 220030, ул. Ленинградская, 16.
E-mail: vngubin@mail.ru

Горнодобывающий комплекс Республики Беларусь, образованный в результате промышленной добычи калийных и каменной солей, нефти, подземных вод и других видов минерально-сырьевых ресурсов, оказывает существенное влияние на состояние геологической среды. По определению академика Е.М. Сергеева [3] геологическая среда представляет собой многокомпонентную динамическую систему верхней части литосферы, находящуюся под воздействием инженерно-хозяйственной деятельности человека. При извлечении минеральных ресурсов нередко возникают сложные трансформации геологической среды, которые необходимо системно и оперативно изучать в связи с проведением природоохранных мероприятий и решением проблем рационального недропользования. Важнейшим направлением в оценке изменений верхней части литосферы, вызванных освоением месторождений полезных ископаемых, является мониторинг геологической среды, или литомониторинг [1,2].

На основе комплексной эколого-геологической интерпретации оперативных и высокоточных материалов дистанционного зондирования Земли из космоса, полученных оптико-электронной аппаратурой, возможно проведение космического литомониторинга, позволяющего устанавливать пространственно-временные закономерности трансформаций верхней части литосферы в условиях горнотехнического воздействия. При этом осуществляются системные эколого-геологические исследования объектов горнодобывающего комплекса, образованных промышленным освоением ресурсов литосферного пространства. Структура и функционирование таких литотехнических

систем определяются запасами минерального сырья, технологиями и объемами разработки месторождений полезных ископаемых.

Дистанционное зондирование объектов горнодобывающего комплекса Республики Беларусь современными оптико-электронными системами со спутников БКА (Беларусь), ALOS (Япония), IKONOS (США) и др. обеспечивает получение космических снимков (КС) с пространственным разрешением от 10 до нескольких метров в видимом и ближнем инфракрасном спектральных диапазонах в узких интервалах электромагнитных волн. При этом передача космоизображений осуществляется по радиоканалам, что способствует оперативному ведению литомониторинга. Цифровой (электронный) вариант изображений объектов позволяет проводить эколого-геологическое дешифрирование КС с помощью компьютерных технологий. Электронные космоизображения преобразуются также специальным устройством в виде фотографических снимков.

Космический мониторинг объектов горнодобывающего комплекса представляет собой систему регламентированных периодических дистанционных и наземно-контактных, в том числе режимных наблюдений за состоянием геологической среды и ее пространственно-временными изменениями в связи с разработкой полезных ископаемых шахтным, карьерным либо скважинным способами. В зависимости от площади горнотехнического воздействия на верхнюю часть литосферы космический мониторинг выполняется на региональном, локальном и детальном уровнях его организации. Региональный литомониторинг охватывает значительные территории техногенных трансформаций геологической среды с периодичностью наблюдений 1-2 раза в год. При этом обособляются полигоны для космического мониторинга локального уровня с аналогичной частотой изучения горнотехнических объектов. Рассматриваемые виды мониторинга обеспечиваются КС, выполненными со спутников оптико-электронными съемочными системами в мультиспектральном режиме с разрешением на местности порядка 10 м. В ходе регионального и локального литомониторинга составляются космоэкогеологические карты масштаба 1:200 000 – 1:50 000.

Наиболее точные и полные данные о состоянии геологической среды в районах освоения месторождений полезных ископаемых возможно получить при ведении космического литомониторинга на детальном уровне его организации. Частота наблюдений объектов горнодобывающего комплекса здесь не реже чем ежемесячно, вплоть до непрерывной регистрации происходящих изменений среды. На детальных полигонах анализируются КС, полученные спутниковой аппаратурой в панхроматическом режиме с пространственным разрешением 1-2 м, проводятся комплексные эколого-геологические исследования и наземные геодезические измерения, в том числе с использованием спутниковых навигационных систем. Рассматриваемый уровень космического литомониторинга позволяет создать космоэкогеологические модели масштаба 1:25 000 и крупнее.

В настоящее время особое внимание уделяется эколого-геологическим проблемам и организации космического литомониторинга Солигорского горнодобывающего комплекса. Эксплуатация продуктивных горизонтов в достаточно ограниченном подземном пространстве шахтных полей четырех рудников вызывает в промрайоне локальную сейсмичность, проявления газодинамических процессов, формирование мульды сдвига горных пород. В связи со складированием на земной поверхности значительного объема галитовых отходов отмечается активизация суффозионных процессов в пределах крупных солеотвалов. В ходе регионального литомониторинга разрабатываемого месторождения калийных солей и Старобинской центриклинали Припятского прогиба в целом, установлены активные на новейшем этапе разломы земной коры (см. рис.).

Особенности тектонической делимости центриклинали контролируют развитие сейсмических процессов интенсивностью сотрясаемости земной поверхности до 3-5 баллов (по шкале MSK-64), зарегистрированных сейсмомониторинговыми станциями в 70 – 90 – х годах XX века.

Очаги землетрясений техногенной и естественной корово-мантийной природы тяготеют к узлам пересечений дизъюнктивов, или кентрогенным структурам. Причем, среди сейсмогенерирующих линейных структур рассматриваемой центриклинали и калийного горнодобывающего комплекса особо следует выделить Старобинскую геодинамическую зону, установленную по космогеологическим и геолого-геофизическим данным. В перспективе целесообразна постановка локального космического литомониторинга на эксплуатируемом месторождении калийных солей в связи с прогнозированием газодинамических явлений, пространственное распределение которых контролируется наряду со многими геологическими факторами также дизъюнктивной тектоникой.

Проведение космического литомониторинга в пределах шахтных полей Солигорского горнодобывающего комплекса на детальном уровне позволяет выявить закономерности пространственного распределения мульды сдвига горных пород над отработанным пространством продуктивных толщ. Такие процессы образуют в современном рельефе просадочно-западинные формы с размерами в поперечнике от нескольких десятков до первых сотен метров. Максимальная глубина таких форм достигает 4-4,5 м. Техногенные просадки наиболее отчетливо выражены в покровных отложениях и на КС в пределах развития моренных супесей и суглинков, перекрытых лессовидными породами.

При детальном космическом литомониторинге возможно изучение экзодинамических процессов в пределах складированных на земной поверхности твердых солевых отходов обогащения калийного сырья. Солеотвалы состоят более чем на 90% из галита и характеризуются относительными высотами до 120 м. По данным дешифрирования КС на склонах солеотвалов устанавливаются проявления суффозионных процессов в виде изометричных сводовых обрушений и просадочных западин диаметром от нескольких метров до 10 м и глубиной 1-3 м.

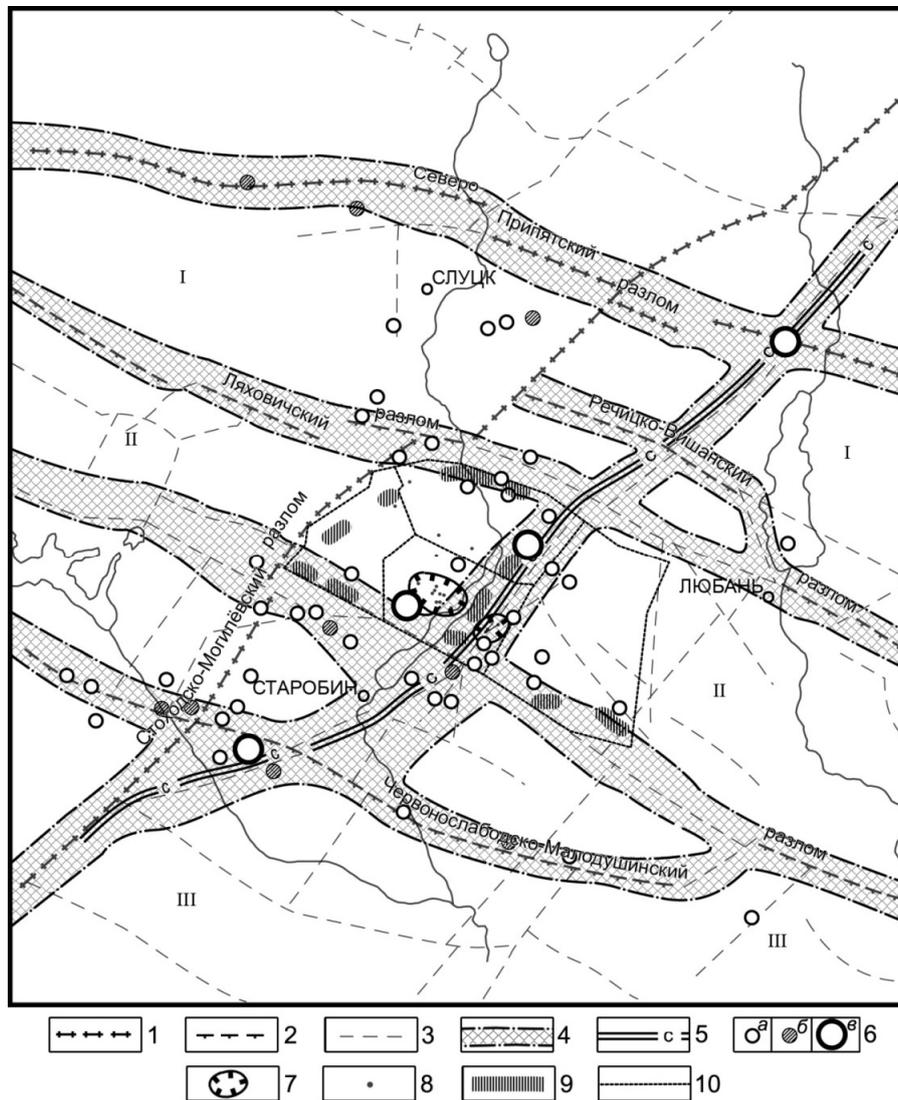


Рис. Космогеодинамическая модель Старобинской центриклинали Припятского прогиба:

1-3 – активные разломы (1 – суперрегиональные, 2 – региональные, 3 – субрегиональные и локальные); 4 – геодинамические зоны; 5 – осевая линия Старобинской геодинамической зоны; 6 – эпицентры землетрясений энергетического класса $K \leq 7$ (а), $K = 7,1-8$ (б), $K > 8,1-9$ (в);

7 – очаги развития газодинамических явлений (ГДЯ); 8 – центры ГДЯ; 9 – зоны трещиноватости, выявленные в горных выработках; 10 – границы шахтных полей калийных рудников ПО «Беларуськалий». Тектонические блоки: I – Слуцкий; II – Старобинский; III – Полесский с азимутом простирания 287 и 45°.

Космический литомониторинг на детальном уровне организации играет важную роль при эколого-геологической оценке районов освоения месторождений минерального строительного сырья (пески, песчано-гравийные смеси, глины, мергельно-меловые породы). Проведение вскрышных горных работ и карьерной выемки полезных ископаемых оказывает негативное воздействие на массивы горных пород, рельеф земной поверхности и уровенный режим грунтовых вод.

В результате космического литомониторинга выяснены пространственно-временные закономерности карьерных литотехнических систем. При открытой разработке минерального строительного сырья формируются отрицательные формы техногенного рельефа, отчетливо выражающиеся на КС. На вскрышных уступах и крутых бортах карьеров дешифрируются проявления экзодинамики в виде осыпей, оползней, эрозийных рытвин и оврагов. При неглубоком залегании грунтовых вод в днищах карьеров развиваются процессы заболачивания и формируются карьерные водоемы, уверенно диагностирующиеся на КС. Анализ разновременных КС позволяет выяснить особенности эволюции карьерных литотехнических систем в период 10-15 лет после завершения их эксплуатации. Динамика рассматриваемых горнотехнических объектов выражается в уменьшении крутизны склонов стенок карьеров от 50° до 10°, активизации процессов заболачивания и зарастания водоемов гидрофитной растительностью.

Организация космического литомониторинга актуальна в связи с интенсивной эксплуатацией подземных вод. Интенсивный отбор напорных вод приводит к формированию региональных и локальных депрессионных воронок за счет уменьшения пластового давления в балансово-гидродинамической системе, осушению грунтового водоносного горизонта, уменьшению стока рек, оседанию земной поверхности. По КС выделяются участки снижения уровня грунтовых вод и отрицательные деформации рельефа над депрессионными воронками в эксплуатируемом водоносном горизонте.

Инновации в проведении космического литомониторинга объектов горнодобывающего комплекса Республики Беларусь тесно связаны с дистанционным зондированием Земли Белорусским космическим аппаратом.

Опτικο-электронная съемочная система спутника позволяет в панхроматическом режиме получать КС в спектральном интервале 0,54-0,86 мкм с разрешением объектов на земной поверхности около 2 м, а в мультиспектральном – в четырех спектральных каналах от 0,46 до 0,84 мкм с пространственным разрешением 10 м. Космическая информация с отечественного спутника будет способствовать решению первостепенных задач в, разработке системы космического литомониторинга при освоении минеральных ресурсов в Беларуси и составлении оперативных космоэкогеологических карт.

Литература

1. Бондарик Г.К. Методика инженерно-геологических исследований. – М.: Недра, 1986.
2. Королев В.А. Мониторинг геологической среды. – М.: Изд-во МГУ, 1995.
3. Сергеев Е.М. Инженерная геология – наука о геологической среде // Инженерная геология. – 1979. – № 1. – С. 1-9.

К ВОПРОСУ ОПРЕДЕЛЕНИЯ РАСЧЕТНОГО КОЭФФИЦИЕНТА СЕЛЕАКТИВНОСТИ

Е.В. Дзагания*, И.В. Крыленко**

*ООО «Инжзащита», ул. Пластунская, 202, Сочи, 354055 krylenka@gmail.com

**МГУ, Географический факультет, Ленинские горы, д. 1, ГСП-1, Москва 119991.

E-mail: i-krylenko@yandex.ru

Применяемая при инженерных изысканиях и проектировании методика определения максимальных селевых расходов изложена в ВСН 03-76 «Инструкции по определению расчетных характеристик дождевых селей». Данные нормативы разработаны Закавказским научно-исследовательским Гидрометеорологическим институтом (ЗАКНИГМИ) с участием Государственного гидрологического института и издано Гидрометеоздатом в 1976г. под редакцией авторитетных специалистов А.И.Чеботарева, И.И.Херхеулидзе, Б.И.Серпик.



**Рис. 1. Западный Кавказ. Пойма реки Мзымта в среднем течении.
Сель на водотоке с максимальной расходом 1%обеспеченности не более 3 м³/с**

Позднее изложенная методика, в несколько упрощенном виде, была приведена в «Пособии к СНиП 2.05.03-84. Мосты и трубы» по изысканиям и проектированию железнодорожных и автодорожных мостовых переходов через водотоки (ПМП-91), опубликованном в Москве в 1992 г. [2]. Пособие было разработано в НИИ транспортного строительства (ЦНИИС) в содружестве с Мосгипротрансом, Союздорпроектom и Томгипротрансом при участии

большого коллектива специалистов из многих проектно-исследовательских и учебных институтов.

В частности, раздел расчета максимальных селевых расходов (7.10) был написан авторским коллективом в составе "...От Тбилгипроавтодортранса – А. А. Александров; Л. В. Гигуашвили, Н. А. Словинский от ЗакНИИГоскомгидромета – пп. 4.4, 7.10, 11.4 и прил. 7.6...". При этом в пособии [2] четко указано (цитата): «7.10. Максимальные расходы и объемы выносов селевых потоков

1. Максимальные расходы и объемы выносов селевых потоков дождевого происхождения определяют по ВСН 03-76 [1].

...

ξ – коэффициент относительной устойчивости расчетного участка русла, определяемый по формуле

$$\xi = \left(\frac{1,5}{L + 1} \right)^{x_3}; \quad (7.56)$$

L – число Лохтина, $L = \bar{d} / I_y$; \bar{d} – средневзвешенный диаметр твердых материалов (мм); I_y – местный продольный уклон русла в расчетном створе в %;

$$x_3 = \frac{10}{(I_y + 100)^{2/3}}.$$

Значения $k_{S1\%}$ и ξ , вычисленные по формулам (7.54) и (7.56) можно принимать непосредственно по таблицам 3 и 4 прил. 7.6.

2. При производстве расчетов на предварительной стадии проектирования до проведения полевых обследований селевых бассейнов допускается определять коэффициент селеактивности μ по формуле

$$\mu = k_\mu I^{x_4}, \quad (7.57)$$

где I – средний уклон лога в %.»

В первоисточнике [1], в разделе 2. «Исходные данные», параграф 2.1, даны четкие указания, какие исходные данные и в каких единицах измерения используются при определении расчетных характеристик селей, если не указано иное. Все характеристики уклонов (средневзвешенный уклон водотока, средний уклон водосбора) приводятся в промилле, что, наряду, с безразмерными уклонами является общепринятой практикой инженерно-гидрологических расчетов [1]. Также в Приложении 2: «Основные условные обозначения» все уклоны приводятся исключительно в промилле. Расчет коэффициента селеактивности изложен на странице 6 (пункт 2.2в) [1]. В расчетной формуле (7) величина уклона также дана в промилле, что четко указано в тексте выше. В Приложении 1 «Примеры расчета» определение коэффициента селеактивности по данной формуле дано на стр.24 в Примере 2, расчет 1, пункт 2. Значения уклонов также подставляются в эту формулу в промилле.

В [2], в двух местах указано, что уклон берется в процентах (%): при расчете коэффициента устойчивости Лохтина (формула 7.56) и при определении коэффициента селеактивности (формула 7.56). Возникает резонный вопрос о возможной трансформации расчетной формулы в СНиПе, по сравнению с первоисточником, что повлекло и изменение используемых единиц измерения.

Контраргументами против подобной трансформации формулы являются следующие соображения:

1. Подобная трансформация должна была бы повлечь изменение коэффициентов в формулах, по сравнению с первоисточником (ВСН), однако этого не наблюдается.

2. Коэффициент устойчивости Лохтина, по определению, рассчитывается с использованием в качестве характеристики уклона так называемого «километрического» падения – м/км, т.е. промилле (см. соответствующую справочную и научную литературу). Таким образом, указание процентов (%) в качестве единицы измерения уклона в [2] является явной ошибкой (иначе это уже не коэффициент устойчивости Лохтина, а новоизобретенный параметр).

3. В сложившейся практике инженерно-гидрологических расчетов величина уклонов указывается либо в долях единицы (безразмерной), либо в промилле, использование измерения уклонов в процентах не практикуется.

Поверочный расчет показал, что результат расчета максимального расхода селевого потока при использовании размерности уклонов водотоков (как местного, так и средневзвешенного) в процентах при равных уклонах и средней крупности наносов и различных водных расходах отличается в меньшую сторону от расчета с использованием уклонов в промилле на 40% для III категории селеопасности.

Такое отличие является весьма существенным для принятия правильных проектных решений и обеспечения безопасности населения и сохранности объектов народного хозяйства.

Исходя из указанных соображений, предполагается, что на этапе издания Пособия к СНиПу при редактировании раздела 7.10 в исходные формулы вкралась ошибка, достаточно часто допускаемая при использовании похожих символов процентов и промилле. От подобных технических ошибок не застраховано ни одно издание.

Удивительно лишь то, что по спустя 20 лет ошибка так и не исправлена. Это свидетельствует как о формально-механическом некритическом использовании нормативных методик пользователями, так и об отсутствии обратной связи между разработчиками и пользователями нормативов.

Кроме того, методика автоматического переноса обеспеченности максимального расхода водного паводка в расчет максимального селевого расхода соответствующей обеспеченности не отражает действительного соотношения вероятности селевого потока с вероятностью водного паводка. Она не учитывает количества горных пород, вовлеченных в селевой процесс, их состоянии. Поскольку возникновению селея предшествует период подготовки

рыхлообломочного материала в селевых очагах, сель редкой повторяемости может вызвать водный поток более частой повторяемости. В то же время, при отсутствии в бассейне значительных селевых очагов и преобладающей залесенности склонов водный паводок редкой повторяемости не вызовет схода селевого потока.

Обобщая, можно выразить уверенность, что давно назрела необходимость пересмотра существующих уже десятилетия методик расчетов селей, и создания новых, более приближенных к нынешним реалиям.

Авторы благодарят доктора геолого-минералогических наук Н.А.Казакова, директора СФ ДВГИ ДВО РАН за полученные консультации по данному вопросу.

Литература

1. «Инструкции по определению расчетных характеристик дождевых селей». ВСН 03-76. Л., ГИДРОМЕТИЗДАТ, 1976.
2. Пособие к СНиП 2.05.03-84 «Мосты и трубы» по изысканиям и проектированию железнодорожных и автодорожных мостовых переходов через водотоки (ПМП-91). – М., 1992.

ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ДЛЯ ОБОСНОВАНИЯ ЭФФЕКТИВНОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ

В.Г. Заиканов, Т.Б. Минакова

Институт геоэкологии им.Е.М.Сергеева РАН, 101000, Москва,
Уланский пер. д.13, стр. 1, а/я 145. E-mail: direct@geoenv.ru

Около 30-и лет назад академик Е.М.Сергеев [7] писал о том, что инженерная геология – это наука о свойствах и динамике геологической среды, ее рациональном использовании и охране, в связи с хозяйственной, прежде всего с инженерно-строительной деятельностью человека. Однако рациональное использование и охрана геологической среды требует разработки теоретических и методических основ не только в научном, но и в практическом (прикладном) плане.

Результаты инженерно-геологических исследований уже много десятилетий используются в практике проектирования и строительства. Формирующееся на стыке географии, экологии и инженерной геологии новое междисциплинарное научное направление – геоэкология, безусловно, опирается на теоретические и практические разработки, выполненные ранее. Фактически это направление включает развитие проработок по охране и рациональному использованию геологической среды, в том числе и для прикладных исследований на новом уровне. В проектировании и строительстве основной задачей геоэкологических исследований является обеспечение комфорта

проживания человека и устойчивости (с геологических позиций) инженерных сооружений. Это актуально как для осваиваемых, так и освоенных территорий.

Для обеспечения безопасности функционирования инженерных сооружений и проживания населения на урбанизированной (осваиваемой) территории проектирование должно выполняться на основе комплексного изучения территории с обязательным прогнозом возможных изменений при ее освоении. Эта проблема в значительной степени решается путем проведения геоэкологической оценки и учета природных и градостроительных ограничений [1].

Критерием геоэкологической оценки территории региона является уровень ее геоэкологической стабильности (нестабильности), урбанизированной территории – степень ее геоэкологической опасности при освоении. Этот же критерий сохраняется и для оценки ожидаемых изменений геоэкологического состояния в перспективе. Для прогнозной оценки необходимы данные проектных решений по вариантам и соответствующая нормативная база.

Геоэкологическая оценка отражает результаты взаимодействия природных компонентов и технических объектов. При этом изучается состояние абиотических и биотических компонентов городской среды, динамика их изменения под воздействием техногенеза и особенности функционирования объектов экономики. Привлечение к оценке сопоставимых нормативов и коэффициентов обеспечивает единообразие получаемых результатов [2]. В итоге выделяются участки, отличающиеся разной степенью благоприятности для строительства и функционирования объектов экономики, жизнедеятельности людей. Переход геосистемы при перспективном развитии территории на более высокий или низкий уровень геоэкологической стабильности относительно современного состояния и есть критерий оценки эффективности проектных решений.

Вторым необходимым фактором повышения эффективности проектирования является учет природных, экологических, градостроительных, экономических, социальных, юридических ограничений освоения территорий.

Градостроительные ограничения многогранны, их можно подразделить на планировочные (структурирование пространства), экономические, социальные, экологические, санитарно-эпидемиологические и др. Однако большинство градостроительных ограничений обусловлено именно природными факторами. Начиная с размеров участков, подлежащих освоению, их пригодность к застройке и эффективность строительства будет определяться в первую очередь природными свойствами территории.

Природные ограничения обусловлены распространением и активизацией неблагоприятных инженерно-геологических процессов и явлений, в том числе спровоцированных интенсивной хозяйственной деятельностью. К ним относятся экзогенные геологические процессы (склоновые, береговые, карстово-суффозионные, подтопление), сейсмичность территории, затопление и др., а также особенность грунтов (просадочность, пучинистость, наличие специфических грунтов и др.).

Таким образом, большая часть существующих в практике проектирования ограничений можно отнести к числу геоэкологических, объединяемых в две группы: природные и градостроительные. Практически геоэкологические ограничения используются на всех стадиях проектирования.

При освоении территории под застройку сталкиваются два противоположных фактора: потребность и возможность.

Потребность в том или ином строительстве определяется социально-экономическими и планировочными (совершенствование структурного пространства) причинами. Возможность реализации этой потребности обусловлена наличием многих ограничений, даже не считая экономических. Существуют определенные нормативные градостроительные требования к освоению территории того или иного функционального назначения и размещению на ней отдельных объектов, которые разработаны в рамках соответствующих законодательных документов. При планировке и застройке населенных мест должны соблюдаться функциональные, технические и эстетические требования.

Важным моментом в обеспечении высокой экономической эффективности капитальных вложений является наиболее рациональное использование земель. В связи с ростом масштабов строительных работ все чаще используются при соответствующей инженерной подготовке, территории считавшиеся ранее неблагоприятными. Безопасное строительство и эксплуатация объекта во многом зависит от того, насколько в проектах планировки и застройки будут учтены обязательные общие требования и конкретные природные и социальные особенности территории его размещения.

Анализ существующих законодательных и нормативных актов выявил отсутствие систематизации ограничений, их разбросанность и дублирование во многих документах, что мешает повышению эффективности проектирования и как следствие – решению задачи балансирования народнохозяйственных потребностей в освоении территории определенного назначения и природных возможностей для реализации потребностей.

Кроме того, изучение разработанных на сегодня региональных и местных нормативов градостроительного проектирования показало, что они в значительной степени дублируют СП 42.13330.2011 [4] и в меньшей – СНиПы применительно к природным факторам (СНиП 22-02-2003; СП 11-105-97; СП 11-102-97 и др.) [3,5,6]. При этом бывают примеры, когда в таком нормативном документе учитываются экзогенные геологические процессы, не свойственные данной территории и, наоборот. Анализ геологических процессов, отраженных в этих документах показал, что большая часть нормативов полностью соответствуют СНиП 22-02-2003. Это означает, что на таких территориях не были проведены специальные исследования, а информация была просто скопирована с этого СНиП. Поэтому в некоторых «Нормативах...» присутствовали процессы, которые не свойственны данной территории. А ведь, в рассмотренных регионах есть такие процессы, как: обвалы и оползни, подтопление, затопление, береговые, карст, сели, лавины, эрозия, термокарст, наледеобразование и др. Преобладающим процессом в данных норма-

тивах является подтопление, оно описывается в 80% рассмотренных документов. Геоэкологическим факторам в этих документах отведено менее 10% общего объема документа. При этом вопросам охраны окружающей среды на всех уровнях уделено большее значение, чем геологическим факторам.

Таким образом, возникает необходимость систематизации ограничений для освоения территории и вычленения из них геоэкологических.

Критерием выделения геоэкологических ограничений из всей совокупности ограничений является гарантия обеспечения благоприятной для жизнедеятельности геоэкологической обстановки, благодаря выбору оптимального варианта освоения территории, вида объекта, технологии строительства и его размещения.



Рис. Концептуальная схема формирования и использования геоэкологических ограничений для проектирования освоения территории

Для определения геоэкологических ограничений в первую очередь собираются и анализируются сведения о территории, подлежащей освоению под застройку. По каждому природному компоненту не только характеризуются его особенности, но выделяются из них те факторы, которые могут

явиться природным ограничением, как для освоения всей территории, так и размещения на ней отдельных объектов. Одновременно сравниваются особенности территории освоения и ее отдельных участков с нормативами, отраженными в СНиП, Кодексах и других нормативных и законодательных документах, выявляются градостроительные ограничения. В результате формируется блок геоэкологических ограничений. На основе совмещенного анализа карт инженерно-геологических условий и функционального зонирования с выявленными геоэкологическими ограничениями, присущими данной территории и виду ее освоения, разрабатывается карта районирования территории по геоэкологическим ограничениям. Она является основой для выбора оптимального варианта размещения объекта и подготовки проектной документации (см. рис.).

На основании комплексного исследования территории и проведения инженерных изысканий для строительства с учетом потребностей разрабатываются рекомендации, отражаемые в легенде карты районирования по геоэкологическим ограничениям осваиваемой территории. С целью создания благоприятных условий для рационального функционирования застройки, системы инженерной инфраструктуры, сохранности зеленых массивов, водных, архитектурно-ландшафтных и историко-культурных объектов должна прорабатываться вариантность для оптимального размещения застройки с минимальными затратами на инженерную подготовку и защиту территории с учетом всех выявленных геоэкологических ограничений.

Приоритетность ограничения находится в прямой зависимости от возможной опасности его несоблюдения. При этом важность того или иного ограничения на одной и той же территории будет определяться применительно к конкретному виду освоения территории, т.е. она определяется индивидуально.

Использование выявленных, согласно разработанной систематизации, геоэкологических ограничений на основе геоэкологической оценки территории при проектировании ее освоения и строительства отдельных объектов обеспечит максимальную эффективность принимаемых проектных решений.

Литература

1. Заиканов В.Г., Минакова Т.Б. Геоэкологические оценки в нормативных документах инженерно-экологических исследований // Сб. Сергеевские чтения. Вып. 12. – М.: РУДН, 2010. – С. 21-25.
2. Заиканов В.Г., Минакова Т.Б. Методические основы комплексной геоэкологической оценки территорий. – М.: Наука, 2008. – 81 с.
3. СНиП 22-02-2003 Инженерная защита территорий, зданий и сооружений от опасных геологических процессов. – М., 2012.
4. СП 42.13330.2011 Градостроительство. Планировка и застройка городских и сельских поселений. Актуализированная редакция СНиП 2.07.01-89.
5. СП 11-105-97 Инженерно-геологические изыскания для строительства.
6. СП 11-102-97 Инженерно-экологические изыскания для строительства.
7. Теоретические основы инженерной геологии. Геологические основы. – М.: Наука, 1985.

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ КАРСТОПРОЯВЛЕНИЙ И ИХ МОРФОМЕТРИИ НА ОСНОВЕ ДАННЫХ ЛИНЕАМЕНТНОЙ ТЕКТОНИКИ

Д.Р. Золотарев

Пермский государственный национальный исследовательский университет, 614990, г. Пермь,
ул. Букирева, 15. E-mail: deniszolotarev@bk.ru

На современном этапе развития карстоведения все большее внимание устремлено на прогнозирование развития карстового процесса, выражающегося возникновением форм карста. В первую очередь это является актуальной задачей для территорий, планируемых для хозяйственной деятельности человека. Однако и для таких карстовых регионов, как Пермский край, существуют территории с минимальной карстологической изученностью. Одной из таких территорий является неосвоенная часть Полазненского полуострова. На урбанизированных территориях Пермского края, характеризующихся повсеместным распространением карстующихся пород, остро стоит задача определения морфометрических характеристик форм карста. Наиболее проблематичной городской территорией, страдающей от негативных последствий развития карста является г. Кунгур.

Карстологический прогноз при современных методиках можно осуществлять на основе различных факторов развития карста, так и их совокупности. Для территорий со слабой карстологической, инженерно-геологической, гидрогеологической изученностью неоспоримые преимущества предоставляет линеаментный анализ. При использовании данных линеаментной тектоники большое значение имеет методика дешифрирования линеаментов, а также коэффициенты или показатели, вводимые с целью выявления особенностей строения поля линеаментов с их последующим сопоставлением с формами карста. В качестве решения данной цели автором были использованы показатели линейной плотности, количества пересечений, удаленности от линеамента и узловой удаленности [1, 2].

В анализе также участвовали зоны дробления карстующихся пород, сами по себе не являющиеся формами карста, но перспективные в плане полостеобразования. Для разнопланового сопоставления данные линеаментные показатели и морфометрические показатели карстовых форм (средний диаметр поверхностных форм карста, вертикальные мощности подземных карстовых форм) приводятся к общему виду посредством их нормализации. Для осуществления этой процедуры максимальные значения линеаментных показателей устанавливаются не в пределах изучаемой площади, а в местах локализации карстопроявлений. Такой подход к выделению максимумов позволяет устанавливать более точные связи и зависимости, так как линеаментные показатели, выраженные в числовой форме, непосредственно сопоставляются с кар-

стовыми формами и показателями их морфометрии. Расчетная формула для оценки индексных значений в данном случае имеет следующий вид:

$$Ix_i = \frac{x_i}{\max x},$$

где Ix_i – индексная оценка i -го значения показателя x , д.е.

В результате сопоставления картографических цифровых моделей исследуемых показателей линейментов, определяются их максимальные значения в местах локализации карстопроявлений. Такие максимумы используются при оценке индексных значений показателей [3].

В результате дифференцировано по каждому из типов карстовых форм построены двухмерные облака точек, характеризующие зависимость морфометрических параметров карстовой формы от значений показателей природной среды. Переход к индексной форме выражения показателей природных условий и морфометрических параметров карстовых форм позволяет сопоставлять различные карстовые формы друг с другом и производить их совместный анализ (рис. 1Б).

Количественное распределение карстовых форм по показателям линейментов выражается в графической форме в виде гистограмм. По оси абсцисс откладываются индексные значения показателей линейментной тектоники, а по оси ординат – частота встречаемости морфометрических показателей карстовых форм в равных интервалах значений исследуемых показателей (рис. 1А).

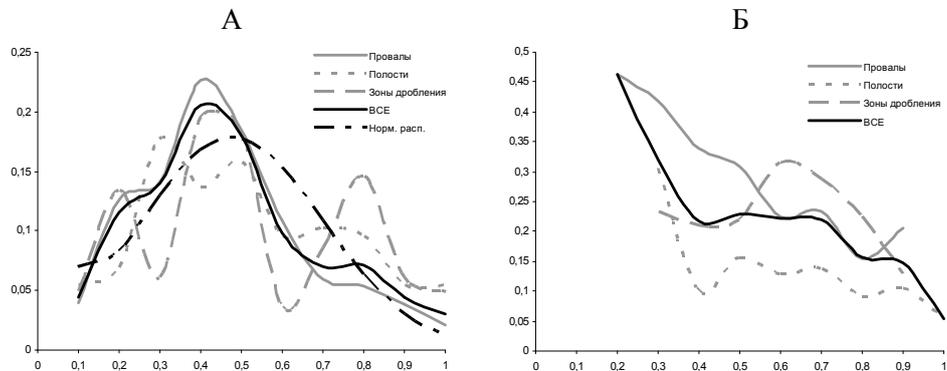


Рис. 1. А – частоты встречаемости карстовых форм (ось Y) в равных интервалах значений узловой удаленности (ось X); Б – средние диаметры и высоты карстовых форм (ось Y) в равных интервалах значений линейной плотности линейментов (ось X), выраженной в индексной форме, в пределах территории Полазненского п-ова (А), г. Кунгура (Б)

Дальнейшие закономерности обрабатываются с целью прогнозирования морфометрических параметров карстопроявлений в зависимости от значений показателей линейментов. Для этого используются установленные

тренды соответствующих зависимостей. Отличительной чертой практических всех выявленных трендов является изменчивость средних индексных оценок морфометрических параметров поверхностных и подземных карстовых форм практически в одних и тех же диапазонах. Кроме того, в большинстве случаев, выявленная направленность изменчивости морфометрии поверхностных карстовых форм в зависимости от значений показателей линейных элементов повторяет таковую и для подземных. Расхождения трендов различных карстопоявлений наблюдаются в единичных случаях и обычно приурочены к конкретным исследуемым участкам.

По установленному тренду изменчивости средних значений морфометрических параметров карстовых форм для каждого из исследуемых линейных показателей подбирается вид прогнозной кривой наблюдаемой зависимости, определяется ее уравнение. Прогнозная кривая подбирается аналитическим методом в результате вычленения из общего облака точек как можно большего количества тех из них, которые в максимальной степени «ложатся» на выявленный тренд. Для этого используется Microsoft Office Excel и встроенный в него язык программирования Visual Basic for Applications, в среде которых был разработан алгоритм [3], позволяющий в автоматизированном режиме с учетом указанного экспертом тренда и характера зависимости (линейная, экспоненциальная, степенная или логарифмическая) выстраивать наиболее оптимальную прогнозную кривую. Основными условиями, заложенными в алгоритм, являлись необходимость построения прогнозной кривой не менее чем по 20-30% данных от первоначальной исследуемой совокупности и уровень корреляции рассматриваемых величин, превышающий 0,8.

Прогнозные уравнения для расчета индексных значений морфометрических параметров карстовых форм в зависимости от принятого к рассмотрению тренда и характера зависимости имеют следующий вид:

$$I = ax + b \text{ – линейная зависимость,} \quad (1.1)$$

$$I = a \ln x + b \text{ – логарифмическая зависимость,} \quad (1.2)$$

$$I = a \cdot e^{bx} \text{ – экспоненциальная зависимость,} \quad (1.3)$$

$$I = a \cdot x^b \text{ – степенная зависимость,} \quad (1.4)$$

где I – прогнозный индекс морфометрии, д.е.; x – исследуемый показатель природного строения, выраженный в истинной форме; a и b – коэффициенты прогнозного уравнения.

Пример результата интерпретации морфометрических трендов представлен в виде прогнозной кривой (рис. 2). Коэффициенты прогнозных уравнений и характер прогнозных зависимостей представлен в табл. 1. На основе коэффициентов прогнозных уравнений возможно составление прогнозных карт морфометрических характеристик карстовых форм и вероятностей образования карстовых форм.

Таблица

Параметры распределений и зависимостей для прогнозирования вероятности образования и индекса морфометрических параметров карстовых форм по показателям природного строения

Показатели линеamentной тектоники	Максимальное значение	Прогноз вероятности образования карстовых форм *				Прогноз морфометрических характеристик карстовых форм в индексном выражении		
		Параметры теоретического закона распределения		Закон распределения	Коэффициенты прогнозного уравнения		Характер зависимости	
		среднее x_{cp}	стандартное отклонение σ		a	b		
<i>г. Кунгур</i>								
Линейная плотность линеamentов, км/км ²	L_L	11,2	-0,70	0,33	логнормальный	0,5968	-0,4265	экспоненциальная
Количество пересечений линеamentов, шт./км ²	K_L	31,8	-1,60	1,02	логнормальный	0,5171	-0,1437	экспоненциальная
Удаленность от линеamenta, м	U_L	347,0	0,23	0,20	нормальный	-	-	-
Узловая удаленность, м	U_U	748,6	0,33	0,75	нормальный	-	-	-
<i>Полазненский полуостров</i>								
Линейная плотность линеamentов, км/км ²	L_L	14,7	0,69	0,14	нормальный	-	-	-
Количество пересечений линеamentов, шт./км ²	K_L	70,7	0,44	0,18	нормальный	-	-	-
Удаленность от линеamenta, м	U_L	192,1	0,23	0,20	нормальный	-	-	-
Узловая удаленность, м	U_U	331,9	0,43	0,22	нормальный	-	-	-

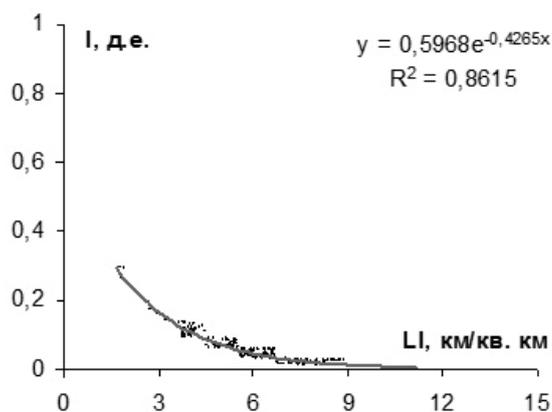


Рис. 2. Прогнозные кривые для оценки морфометрических параметров карстовых форм территории г. Кунгура по показателю линейной плотности линеamentов

Урбанизированные территории Полазненского полуострова в последние годы характеризуются расширением своих границ. Следовательно, на западную часть полуострова актуальны прогнозные мероприятия карстологического характера. Примером проведенных исследований является прогнозная картографическая модель вероятности образования форм карста в зависимости от всех рассматриваемых показателей линейной тектоники (рис. 3).

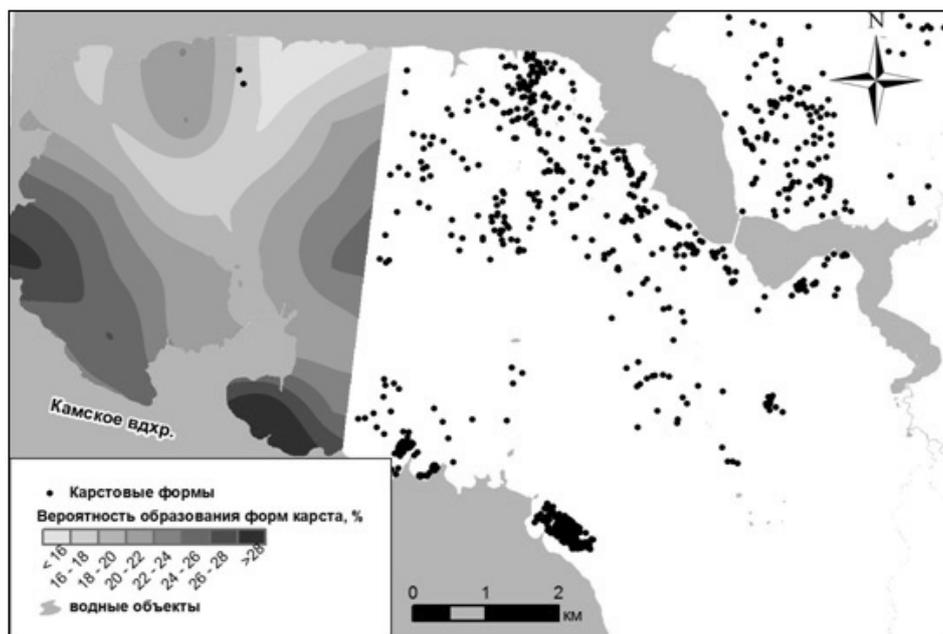


Рис. 3. Вероятность образования поверхностных форм карста на западной части Полазненского полуострова

Литература

1. Золотарев Д.Р., Катаев В.Н., Щербаков С.В. Соотношение закарстованности и линейных поднятий в пределах Полазненского локального поднятия // Геология и полезные ископаемые Западного Урала: материалы юбил. науч.-практ. конф., посвящ. 80-летию геол. ф-та и 95-летию Перм. ун-та / Перм. гос. нац. иссл. ун-т. – Пермь, 2011. – С. 153-155.
2. Золотарев Д.Р., Катаев В.Н. Анализ соотношения структурно-тектонического строения и закарстованности в пределах Полазненской локальной структуры // Учен. зап. Казан. ун-та. Сер. Естеств. науки. – 2012. – Т. 154. – Кн. 3. – С. 1-9.
3. Щербаков С.В. Методика изучения взаимосвязей между карстовыми формами и природными условиями территорий // Современные проблемы науки и образования. – 2012. – № 5. [Адрес в сети Интернет: www.science-education.ru/105-7232] (дата обращения: 23.10.2012).

КЛАССИФИКАЦИЯ ОБЪЕКТОВ ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКОГО КАРТОГРАФИРОВАНИЯ В СВЕТ РАЗРАБОТКИ ИНФРАСТРУКТУРЫ ПРОСТРАНСТВЕННЫХ ДАННЫХ

Е.А. Карфидова

Институт геоэкологии им. Е.М.Сергеева РАН Москва, 101000, Уланский пер. 13 стр. 2.
E-mail: e.karfidova@yandex.ru
Московский государственный гуманитарный университет им. М.А. Шолохова

Заказ и значимость тематических карт геоэкологического содержания формируются на трех уровнях государственного управления: местном – в проектной документации строительства объекта создаются крупномасштабные карты, региональном/субъекта федерации – в предпроектных исследованиях и обосновании инвестиций по объектам градостроительства федерального значения – среднемасштабные карты и на федеральном уровне по результатам фундаментальных исследований и НИР в рамках целевых программ двух основных министерств – ЧС и Природных ресурсов России создаются мелкомасштабные карты на всю территорию РФ. В большей степени потребность в геоэкологических картах формируется информационной системой обеспечения градостроительной деятельности (ИСОГД) и напрямую зависит от происходящих изменений в градостроительстве/градорегулировании и появления новых право-нормативных актов. Развиваются постановка задач и методы геоэкологического картографирования. Отчет о картографической деятельности ИГЭ РАН за 2010-2012гг. (для проверки картографической деятельности Управлением Федеральной службы государственной регистрации, кадастра и картографии по Москве) содержит сведения о более чем 20 картах различного масштаба и значимости, в том числе по инновационным направлениям: морфологии и морфометрии рельефа, морфоструктурного районирования по данным дистанционного зондирования, вероятностного развития существующих и новых природных и антропогенно-стимулированных геологических процессов и явлений, неотектонического районирования.

Но геоэкологические исследования важны не только с точки зрения градостроительства, но и для рационального природопользования, регламентации загрязняющей деятельности, землеустройства, земельного мониторинга, развития системы городского землепользования [2,3].

В плане подготовки профессиональных кадров методы и задачи геоэкологического картографирования прочно вошли в состав учебных программ высших учебных заведений естественнонаучного направления. В ВУЗах по геоэкологическому направлению сформирована потребность в данных, имеется большой дефицит в цифровых образовательных ресурсах, который мог бы быть удовлетворен за счет создаваемых в стране цифровых геоэкологических карт.

При всех достоинствах проводимых исследований и создаваемых геоэкологических карт необходимо объективно отметить недостатки, которые снижают эффективность информационного менеджмента геоэкологических исследований. Постановка задач геоэкологических исследований имеет единовременный характер, результаты исследований не оформляются как информационный ресурс и остаются неизвестными для использования в других целях, геоэкологические карты по большому счету, не используются, или слабо используются другими ведомствами и научно-образовательной системой. Для того, чтобы обозначить причины сложившейся ситуации и наметить пути развития, необходимо осветить задачи и состояния дел разработки инфраструктуры пространственных данных (ИПД) в РФ, и сравнить с международным опытом

В 2013 г. исполнилось 10 лет со дня принятия правительственного решения о создании и развитии российской инфраструктуры пространственных данных (РИПД). Выделим три этапа этого периода, значимых с точки зрения развития права и норм:

1) 2003-2006 гг. – национальные стандарты по географическим информационным системам; Концепция создания и развития инфраструктуры пространственных данных Российской Федерации (РИПД),

2) 2007 – 2010 гг. – национальный стандарт «Данные пространственные базовые. Общие требования»,

3) 2011- 2013 гг. – поправки Градостроительного Кодекса в части территориального планирования. Минэкономразвития и Минрегион выпускают программы создания ИПД для нужд кадастра недвижимости и федеральной государственной информационной системы территориального планирования. В пилотных проектах начаты разработка региональной модели инфраструктуры пространственных данных и опытная эксплуатация федеральной государственной информационной системы территориального планирования. Правительство Москвы, опережая другие органы исполнительной власти, создает общемосковский классификатор пространственных данных и для решения проблемы разрабатывает программу создания единого геоинформационного пространства (ЕГИП) г. Москвы.

Проведенный анализ разработки РИПД позволяет выделить вопросы, имеющие непосредственное отношение к геоэкологическому картографированию:

1. В создании ИПД по сравнению с международным опытом затянулся первоначальный этап [7], принятые в 90-ые годы стандарты по цифровым картам относятся к топографической продукции и плохо гармонизированы со стандартами по географическим информационным системам, стандарт к базовым пространственным данным вышел с большим опозданием, что тормозит создание качественной цифровой тематической продукции.

2. В градорегулировании в течение 2000-2010 гг. в логической цепочке от стратегического планирования – концепции и программы социально-экономического развития субъекта федерации – к градостроительной документации не было промежуточного этапа, что сказывалось на качестве градо-

строительной документации. Субъекты Федерации не разрабатывают схемы консолидированного развития территории с соседними субъектами; исходные данные и результаты геоэкологического картографирования ограничиваются заказчиком территориальными границами, что в принципе нарушает природно-географический принцип геоэкологических исследований.

3. Участие ИГЭ РАН в общественно-профессиональной экспертизе нормативно-методических документов по разработке градостроительной документации, позволяет сказать, что документы для обсуждения выпускаются «сырыми»; организация экспертизы не проясняет вопрос учета высказанных замечаний, дальнейшая судьба этих документов остается не известной. На настоящий момент необходимость геоэкологических исследований и, в первую очередь, требования к составу и качеству карт, должна определяться нормами территориального планирования, но до сих пор в создании ФГИС ТП побеждает технократический подход: при реализации информационно-коммуникационной системы оценка качества градостроительной документации не производится.

4. По данным сайта госзакупок за последние 5 лет в технической документации к работам, в результате которых должны создаваться тематические карты геоэкологической направленности, отсутствуют требования к соблюдению стандартов цифровой картографической продукции, созданию классификаторов, каталогов пространственных данных (ПД) и наборов к ним метаданных, сдаче карт в Федеральный картографо-геодезический фонд, не говоря о сертификации карт.

5. Геоэкологические карты становятся собственностью заказчика (либо органа исполнительной власти в лице оператора информационных ресурсов, либо госкорпорации) и остаются неизвестными для общества. В причинах этого присутствует наследуемый фактор специального характера инженерно-геологических изысканий, имеющих характер пользования в режиме «для служебного пользования».

6. В составе трех основных блоков ИПД наибольшее развитие получил блок БПД, но создание блока тематических пространственных данных (ТПД) сильно отстает. Созданы организационная структура РИПД и функции операторов, идет построение взаимоотношений ИСОГД – государственного кадастра недвижимости (ГКН), появились первые геопорталы. Для разработки блока ТПД остро не хватает отраслевого нормативно-методического, организационного и технического обеспечения.

7. Европейский союз по программе INSPIRE [6] выпустил в 2007 г. основные директивы с целью оптимизации обмена пространственной информацией, касающейся окружающей среды между государственными органами, а также обеспечение открытого доступа к этой информации всем заинтересованным пользователям в Европе. Законодательные рамки определяют, каким образом инфраструктура должна быть реализована на практике, какие должна содержать метаданные, как должно быть обеспечено согласование наборов пространственных данных и услуг, и как будет работать инфраструктура сетевых сервисов. В стадии интенсивного создания находится сетевая инфра-

структура, которая создает веб-сервисы для разработчиков геоинформационных приложений. В конце 2009 г. в более 1/3 всех стран были разработаны метаданные для 50% наборов данных и услуг, но если говорить о согласованных метаданных, то только три страны достигли уровня в 50%. Понимание и согласование тематических метаданных с базовыми пространственными данными является наиболее сложной и трудоемкой задачей.

Вышесказанное позволяет сделать вывод, что стартовой точкой для включения геоэкологических карт в общую среду информационного взаимодействия является развитие классификации, создание наборов метаданных к пространственным данным геоэкологического картографирования и создание открытых геоэкологических карт в среде Интернет. В организационном плане на повестку дня выходит разработка территориального Каталога метаданных геоэкологических исследований. Решение этой задачи позволит последовательно согласовать ТПД с БПД и другими информационными ресурсами и разрабатывать картографические веб-сервисы.

Наиболее значимым в РФ событием в геоэкологическом картографировании явился московский проект крупномасштабного геологического картографирования территории Москвы [4]. Классификация объектов московского проекта соответствует в классификаторе INSPIRE разделу – appendix II (в части геологических данных) и разделу – appendix III (оценки вида, степени и пространственного распространения геоэкологических опасностей). Следуя рекомендациям INSPIRE, классификатор московского проекта следует ввести в состав общероссийского классификатора пространственных данных.

С развитием единого геоинформационного пространства Москвы процесс адаптации карт геоэкологической опасности в составе московского проекта [1] (карты оползневых явлений и подтопления, карты опасности древних карстовых форм и современных карстово-суффозионных процессов, карты районирования по условиям взаимосвязи водоносных горизонтов с элементами защищенности подольско-мячковского горизонта) необходимо развивать для открытой публикации в Интернет. В 2012 г. проект пополнился результатами актуализации карт и это также должно находить отражение в классификации.

Классификация пространственных данных геологического/ геоэкологического картографирования развивается в трех основных направлениях:

А. Дифференциации объектов картографирования по содержанию и пополнение каталога ПД необходимым описанием массивов данных, обеспечивающих согласование и качество ПД;

В. Группы объектов, связанных с развитием трехмерной модели картографирования;

С. Представления виртуальных объектов картографирования.

А. После актуализации в классификацию в карте фактического материала необходимо ввести сведения об итерации актуализации, временной привязке, числе новых скважин, оценке изученности территории. В каталоге необходимо отслеживать изменения в массивах данных: о литолого-

стратиграфической школе, актуализируемых картах, дифференциации геологической среды по блокам и ключевым погребенным горизонтам (геологическим слоям); а также допустимыми значениями по наименованию скважин, высотным отметкам устья скважин и др. параметрам. Для задачи адаптации карт опасности в открытый вид в классификатор ПД предлагается ввести границы кадастровых кварталов.

Б. Объекты трехмерной модели картографирования (построения поверхностей) до сих пор не описаны в классификаторе. Предлагается дополнить классификацию сведениями об объектах трехмерной модели, в первую очередь следующими: триангуляционная модель поверхности по методу Делоне, экспорт триангуляционной модели в виде полигонов в план, экспорт триангуляционной модели в виде линий в план, регулярная сетка поверхности по абсолютной отметке высоты, азимутальное направление склонов регулярной сетки поверхности, уклон крутизны склонов по регулярной сетке поверхности, уклон крутизны склонов по заданному направлению по регулярной сетке поверхности, отмывка рельефа по заданному направлению, простиранье профиля в плане, построение профиля в вертикальной плоскости.

Необходимо также включить в описание модели поверхности дополнительные массивы расчетных данных, в первую очередь матрицами: связности скважин, построенную на ребрах TIN, расстояний между скважинами, азимутальных направлений ребер TIN, высот в скважинах по первичным исходным данным, высот поверхностей геологических слоев в скважинах по интерполяционным данным регулярной сетки GRID, ковариации высот геологических слоев скважин по первичным исходным данным, ковариации высот геологических слоев по интерполяционным данным регулярной сетки GRID, построения разверстки плавающего горизонта по выбранным скважинам [5] (массив данных формируется при выборе в TIN узловой скважины и соседних по его ребрам, в графике разверстки по оси X откладывается азимутальное направление ребра TIN, по оси Y – высотные отметки поверхности кровли геологических слоев).

С. Представление виртуальных объектов картографирования. Изначально карты предназначались исключительно для восприятия человеком, а теперь в разработках геоинформационных систем на равных встречаются понятия *human-readable* – человеко-читаемый и *machine-readable* – машиночитаемый документ. В рекомендациях XXXIII конференции Международной ассоциации картографов (Москва, 2007) [8] говорится, что в классификацию необходимо ввести понятия реальных и виртуальных объектов картографирования. Тип виртуальных объектов наиболее соответствует природе построений моделей поверхности, располагающихся в оперативной памяти (при изменении параметров они легко пересчитываются), т.е. имеют динамический, виртуальный характер. Дифференциация виртуальных объектов основывается на его свойствах, определяемых в ответах на четыре основных вопроса: а) карта видимая? б) существует на твердой основе? в) воспроизводится с помощью программы? г) сложная структура?

Предлагается ввести три вида виртуальных объектов картографирования:

- Виртуальный вид V1 – видимый, не на твердой основе, существует с помощью программы и несложной структуры;
- Виртуальный вид V2 – невидимый, на твердой основе, существует без помощи программы, сложной структуры,
- Виртуальный вид V3 – невидимый, не на твердой основе, существует с помощью программы, сложной структуры.

Примеры виртуальных объектов картографирования: Виртуальный объект V1- поверхность, видимая на экране монитора в результате построения TIN модулем Spatial Analyst (ESRI), содержащаяся в рабочем пространстве (workspace); виртуальный объект V2 – файл растровой равномерной сетки поверхности, используемый для обмена между различными геоинформационными системами (the ASCII raster file format) – объект невидимый, на твердой основе, сложной структуры; виртуальный объект V3 – азимутальные направления ребер TIN – матрица находится в рабочем пространстве ГИС, ее нельзя увидеть, она зависит от TIN (сложная структура).

Использование трех типов виртуальных объектов картографирования позволит обеспечить понимание модели картографирования, формулировать и уточнять запросы городских пользователей, обеспечить взаимодействие между пользователями ЕГИП города и эффективное использование вычислительных ресурсов геоинформационной среды.

Проведенный анализ состояния дел в РИПД и предлагаемые решения в развитии классификации объектов геоэкологического картографирования позволят обеспечить правильное и полное понимание модели геоэкологического картографирования, качество геоэкологических карт в виде цифровой тематической продукции и повысить востребованность государством и обществом геоэкологических исследований и геоэкологических карт – в русле решения «кардинальной проблемы науки в РФ» (согласно определению академика Ж.И. Алферова).

Литература

1. Карфидова Е.А. Адаптация крупномасштабных геологических карт в составе информационного обеспечения градостроительной деятельности // Геоэкология. – 2011. – № 5. – С. 414-422.
2. Осипов В.И. Геоэкология – междисциплинарная наука о экологических проблемах геосфер // Геоэкология. – 1993. – № 1. – С. 18.
3. Осипов В.И. Геоэкология: понятие, задачи, приоритеты // Геоэкология. – 1997. – №1. – С. 3-11.
4. Осипов В.И. Крупномасштабное геологическое картирование территории г. Москвы // Геоэкология. – 2011. – №3. – С. 197-199.
5. Скворцов А.В. Алгоритмы анализа триангуляционной модели поверхности / УДК 519.688:515.142.33/ электронное издание томского университета: [http://violin.tsu.ru/webdesign/tsu/Library.nsf/designobjects/vestnik275/\\$file/Skvortsov5.pdf](http://violin.tsu.ru/webdesign/tsu/Library.nsf/designobjects/vestnik275/$file/Skvortsov5.pdf)
6. Draft Implementing Rules for Metadata/ Infrastructure for Spatial Information in Europe/ Reference: draftINSPIREMetadataIRv2_20070202.docdraftINSPIREMetadataIRv2_20070202.doc

7. Ian Masser «GIS Worlds: Creating Spatial Data Infrastructures» (электронное издание перевода ДАТА+ : Миры ГИС: Создание инфраструктур пространственных данных).

8. *Moellering, H.*, (2007) “Expanding the ICA Conceptual Definition of a Map”, Proc. XXXIIIth International Conference of the International Cartographic Association (ICA), Russia, Moscow, August 4-10, 2007.

НЕКОТОРЫЕ МЕТОДИЧЕСКИЕ ВОПРОСЫ ГИДРОЭКОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

К.А. Кожобаев

Кыргызско-Турецкий университет им. Манаса. г. Бишкек, Кыргызская Республика.
E-mail: kojkanik@rambler.ru

При проведении гидроэкологических исследований в Кыргызской Республике (КР) мы встретились с рядом методических вопросов, рассмотрение и обсуждение которых, может оказаться полезным и для других исследователей и регионов.

При исследовании содержания макро- и микроэлементов в ряде водных объектов [3-4], установлено, что к их загрязнению может иметь отношение ряд предприятий, среди которых оказались и предприятия, относящиеся к разным государствам. При этом выясняется, что в некоторых договорах четко и в деталях не прописана экологическая ответственность и обязанность сторон. Даже если прописаны, то иногда не указаны «кажущиеся мелочи». Как правило, эти «кажущиеся мелочи» знают только опытные специалисты узкого профиля, которых не всегда привлекают при подготовке проектов работ и межгосударственных договоров. Поэтому нередко в договорах встречаются ошибки и неясности. Например, часто в проектах указывается, к какой категории воды относится водный объект в контрольном пункте измерения (иногда даже этого нет!), но не всегда оно обосновано. Для иллюстрации сказанного: чуть ниже контрольного пункта, где вода относится к категории «культурно-бытового» назначения, переходит в «хозяйственно-питьевую» воду. Предприятие же, расположенное выше по течению реки, будет проверять состав вод в контрольной точке по написанной в договоре категории, и не будет отвечать за превышение норм содержания каких-то элементов или веществ ниже контрольной точки – где вода уже относится к другой категории. Такие вопросы детально рассматриваются в «экологической экономике», но они не всегда используются в практике составления проектов и заключения договоров в странах СНГ. Проработав около трех лет в Министерстве экономики и финансов КР (одно время эти министерства в республике были объединены) на должности начальника отдела ГДП и ТЭК, автору пришлось проводить экспертизу ряда проектов из развитых стран. В первое время вызывало изум-

ление и раздражение огромный объем и степень детализации каждого пункта проекта – нам необходимо было все быстро прочитать и дать заключение. Позже, после опыта разбирательств, когда оказывалось, что практически каждая спорная ситуация была прописана в проекте договора, это уже вызывало уважение. Поэтому одной из важных эколого-методических, включая гидроэкологические, вопросов в проектах работ (объектов, межгосударственных соглашений и т.п.) является четкое, обоснованное и весьма детальное описание предполагаемых к использованию законов, нормативов, границ объектов, пунктов и периодичности измерений, методов, методик, рисков и т.д.

Еще одной проблемой методического характера является, появившиеся после распада СССР, различия в принципах, классификациях и нормативах различных стран и существующая взаимная ее труднодоступность. Для примера, разработанная В.М. Гольдбергом и С. Газда методика и шкала степеней защищенности подземных вод от поверхностных источников загрязнений рассчитана в основном на равнинные условия и не вполне отвечает условиям горных территорий [1,2,5], а также выполнена применительно к старым технологиям проведения расчетов. Ученым и специалистам же удобно работать с использованием современных технологий по каким-то единым и общепризнанным классификациям, нормативам, положениям и принципам, так как опыт показывает, что новые шкалы, методики и др. не могут легко получить признание и, тем более, распространение. Нормативы и законы как, правило, обязательны для исполнения и соблюдения, они издаются на государственном уровне, и их согласование также является межгосударственной проблемой. Но классификации, положения и принципы отдельных наук и научных направлений – это уже прерогатива научных сообществ и специалистов. Поэтому, для лучшего взаимопонимания, хочется еще раз подчеркнуть необходимость проведения специализированных тематических конференций по спорным вопросам или проблемам, и, при получении согласованных результатов, принимать резолюции с соответствующими рекомендациями (классификациями, шкалами и т.п.), которые следует широко распространить и сделать легко доступными для ученых и специалистов разных стран.

В результате выполнения научных работ, в частности, довольно большого объема исследований по микрокомпонентному составу р. Нарын и ее притоков, выяснилось, что, несмотря на «проверки, аттестации, аккредитации и т.д.», методы, приборы и точность определения показателей у разных лабораторий и организаций могут оказаться совершенно несопоставимыми друг с другом. Так, первая часть проб воды нами отбиралась из одних и тех же водных объектов и из одних и тех же 12 точек в каждом квартале 2002–2004 гг. Пробы отбирались в высокогорных условиях, из удаленных друг от друга на десятки километров точек, соединяемых очень плохими дорогами. Анализы микрокомпонентного состава вод этой – первой группы проб были проведены с использованием атомно-эмиссионного приближенно-количественного метода спектроскопии при испарении пробы из канала угольного электрода в Центральной лаборатории Государственного агентства по геологии и минеральным ресурсам при Правительстве КР [3,4].

Для второй части исследований методом атомно-эмиссионной спектроскопии с индуктивно связанной плазмой, отбор проб вод из тех же двенадцати точек, согласно той же схеме, проводились в 2004-2005 гг. – также в каждом квартале. Исследования были проведены в независимой лаборатории (расположенной в КР) компании «Алекс Стюарт Кыргызстан ЛТД», являющейся частью сети лабораторий «Stewart Assay and Environmental Laboratories LLC» (SAEL LLC), аккредитованной согласно Международного стандарта качества ISO 9002.

Результаты этих анализов оказались практически несопоставимыми друг с другом – отличия доходили до нескольких, а по отдельным элементам и до десяти и более раз! Поэтому, несмотря на огромный затраченный труд, время и средства, мы практически смогли использовать результаты первой группы экспериментов только как вспомогательный материал. После сопоставления результатов исследований по двум методам, правомерно приходит мысль: раз время отбора проб не совпадают, то и сравнивать результаты исследований не корректно. Для прояснения этого вопроса мы провели сопоставления наших исследований в 2004-2005 гг., с такими же исследованиями в лаборатории SAEL LLC крупного золоторудного предприятия «Кумтор» за 1997-2002 гг. Выяснилось, что отклонения по многим элементам средних значений за исследованные годы, которые были определены «Кумтором» и нами, составляли первые единицы процентов (кроме меди, среднее содержание которого в наших исследованиях было выше примерно на 40%) [4].

Из этих результатов можно сделать вывод, о том, что, несмотря на заявляемую чувствительность приборов атомно-эмиссионного приближенно-количественного метода спектроскопии, при испарении пробы из канала угольного электрода – их уже не стоит использовать для исследований содержания микрокомпонентов. Таким образом, для экономии средств и труда, после появления современных высокоточных приборов и оборудования, имеет смысл провести «контрольную ревизию» старых приборов и методов.

Литература

1. Гольдберг В.М., Газда С. Гидрогеологические основы охраны подземных вод от загрязнения. – М.: Недра, 1984. – 262 с.
2. Кожобаев К.А., Молдогазиева Г.Т., Бекболотова С.Д., Детушев А.В. К методике оценки степени защищенности подземных вод в условиях Кыргызской Республики // Геоэкология. – М.: РАН, 2008. – № 4. – С. 373-376.
3. Кожобаев К.А., Оторова С.Т. О возможной роли антропогенных факторов в геохимии вод бассейна верхнего Нарына // Вестник КНУ им. Ж. Баласагына (спецвыпуск трудов международной конференции). – Бишкек, 2012. – С. 114-120.
4. Оторова С.Т., Кожобаев К.А. Экогеохимические проблемы вод верховьев реки Нарын // Известия КГТУ им. И. Раззакова. – 2009. – № 16. – С. 378-382.
5. Шварц А.А. Экологическая гидрогеология: учеб. пособие. – Изд-во С.-Петербургского университета, 1996. – 60 с.

КРАТКАЯ ИСТОРИЯ, СОСТОЯНИЕ, ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ГИДРОГЕОЛОГИИ, ИНЖЕНЕРНОЙ И ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ГЕОЛОГИИ В КЫРГЫЗСТАНЕ

К.А. Кожобаев К.А.*, Б.Д. Молдобеков **, Ш.Э. Усупаев **

*Кыргызско-Турецкий университет им. Манаса. г. Бишкек, Кыргызская Республика.
E-mail: kojkanik@rambler.ru

** Центральное Азиатский институт прикладных исследований земли (ЦАИИЗ), 720027,
г. Бишкек Кыргызская Республика. E-mail: b.moldobekov@caiag.kg, sh.usupaev@caiag.kg

Создание и развитие учения о геологической среде Е.М. Сергеевым подвело основу под многие естественные науки экологического цикла: экологической геологии, экологической гидрогеологии и т.п. В докладе, в очень кратком виде, дается история, состояние, проблемы и перспективы развития трех близкородственных наук: гидрогеологии (ГГ), экологической и инженерной геологии (ЭГ и ИГ) в Кыргызской Республике (КР), в развитие которых, через своих учеников, весомый вклад внес и Е.М. Сергеев [3,10].

Научно-исследовательские и производственные работы по гидрогеологии и инженерной геологии в КР долгое время проводились в рамках трех групп госбюджетных организаций: а) геологической службы и Министерства чрезвычайных ситуаций республики; б) проектно-изыскательских и строительных организаций; в) в ВУЗах и институтах системы Академии наук. Становление и развитие же всех ветвей экологической геологии (ЭГ) в КР практически произошло после 1991 г.

В деятельности ГГ и ИГ службы КР, по нашему мнению, можно выделить три основных этапа.

К первому этапу можно отнести период 1940-1964 гг. – этап становления ГГ и ИГ службы. В 1940 г., будущий член-корреспондент Национальной Академии наук (НАН) КР П.Г. Григоренко был назначен руководителем группы ГГ и ИГ при Управлении геологии Киргизской ССР. В годы войны в основном проводились прикладные работы и только с 1943 г. начались научные исследования. **В 1943 г. был создан Институт геологии НАН КР, в составе которой начала функционировать лаборатория ГГ и ИГ.** На этом этапе определялись основные направления исследований; были проведены среднемасштабные ГГ съемки с целью выявления закономерностей формирования и распространения подземных вод. В итоге вся территория КР была заснята в масштабе 1: 500 000, а позднее практически полностью в масштабе 1:200 000. Такая колоссальная работа, в основном, была проделана руками молодых специалистов, приехавших из разных частей Советского Союза.

В 1956–1959 гг. Институтом САОГИДЭП, совместно с Институтом геологии НАН КР, на огромной площади бассейна р. Нарын был выполнен сложный комплекс ИГ и ГГ съемочных работ, которые позднее легли в осно-

ву выбора участков каскада гидроузлов на р. Нарын и Ат-Башинской ГЭС [2]. К началу 60-х г. становится очевидным, что научные направления: ГГ, геоморфология, ИГ и четвертичная геология становятся приоритетными в республике.

Второй этап – 1965-1991 гг. характеризуется проведением крупномасштабных ГГ и ИГ съемок, интенсивным проведением поисковых и разведочных работ на пресные и термоминеральные воды с целью оценки их ресурсов и эксплуатационных запасов. Для выполнения этих задач, наряду со съемкой, проводятся в большом объеме буровые работы.

С 1961 г. Институт геологии НАН КР, совместно с сотрудниками ГГ экспедиции, принял участие в разработке «Генеральной схемы комплексного использования и охраны водных ресурсов Средней Азии», материалы которых вошли в основу 40-го тома «Гидрогеология СССР (Киргизская ССР)» опубликованном в издательстве «Недра» в г. Москва в 1971 г. [2].

В 1965 г. – на базе кафедры «Геология и петрография» Фрунзенского политехнического института была открыта специальность «Гидрогеология и инженерная геология» («ГГ и ИГ»), которую возглавил геолог, к.г.-м.н., доцент Л.Н. Вертунов. После него кафедру уже возглавляли специалисты по ГГ и ИГ: д.г.-м.н., профессор, чл.-корр НАН КР П.Г. Григоренко, к.г.-м.н., доцент Е.И.Лагутин, д.г.-м.н., профессор В.Е.Матыченков. Начиная с д.т.н., профессора К.А. Кожобаева, в последующем, кафедру в основном возглавляли и возглавляют уже сами выпускники этой кафедры. В настоящее время часть выпускников этой кафедры работают по специальности во многих развитых странах (В.Н.Михайлев, Е. Угрюмова и др.) и составляют основной костяк ГГ, ИГ и эколого-геологической служб республики, среди которых можно назвать (докторов и кандидатов наук, руководителей и главных инженеров специализированных организаций): Б.Д. Молдобекова, Ш.Э. Усупаева, Дж.Ж. Кендирбаеву, А.П. Плахутина, Г.М. Толстихина, О. Момбекова, А.К. Чауса, М. Мирзалиева, Д.А. Плаксинаи др.. К.А.Кожобаев в течение семи последних лет возглавлял Экспертный совет ВАК КР по направлению «Науки о земле» и 12 лет возглавляет лабораторию ИГ и ЭГ в Институте геологии НАН КР.

В итоге вышеописанных работ к 1990 г. были составлены крупномасштабные (преимущественно масштаба 1:50000) ГГ и ИГ карты по всем крупным впадинам Кыргызстана (кроме Алайской), содержащие подробную ГГ и ИГ характеристику; были открыты и разведаны семь месторождений термоминеральных вод; были составлены кадастры оползней и проводился мониторинг их развития.

На этом этапе также следует отметить 1975 г. – год создания специализированного изыскательского института Кыргызского государственного института инженерных изысканий («КыргызГИИЗ»), созданного на базе изыскательских отделов ряда проектных и строительных организаций республики. С 1975 г. основной объем производственных ИГ изысканий проводится КыргызГИИЗ-ом.

Третий этап – (1991 г.-по настоящее время) – характеризуется резким уменьшением объема госбюджетных работ по геологии и гидрогеологии, изменением его характера и созданием 1 июля 1991 г. (еще в составе СССР) Государственной комиссии по чрезвычайным ситуациям – нынешнего Министерства чрезвычайных ситуаций (МЧС) КР, а также возрастанием объемов работ по международным проектам и частным инициативам. В настоящее время гидроэкспедицией проводятся: мониторинг подземных вод и некоторых экзогенных геологических процессов, эколого-гидрогеологические исследования, поиск подземных вод для улучшения водообеспечения населенных пунктов, ведется Государственный водный кадастр.

ИГ исследования ныне проводятся ежегодно для нескольких десятков мелких промышленно-гражданских объектов. Большая часть данных исследований посвящена изучению и прогнозу развития современных геологических и инженерно-геологических процессов и явлений, с выдачей рекомендаций по защите объектов. Указанные работы в области ИГ в основном проводятся подразделениями МЧС КР. Необходимо отметить, что в основном усилиями специалистов инженеров-геологов из МЧС были спасены сотни человеческих жизней и значительно сокращен возможный ущерб от природных и техногенных процессов и явлений: оползней, селей и т.п. В этих работах самое активное участие принимали ученики Е.М. Сергеева – Б.Д. Молдобеков (работал зам. министра МЧС) и Ш.Э. Усупаев.

Научными исследованиями по ГГ, ИГ и ЭГ в КР, в систематическом виде занимались сотрудники лабораторий ГГ, ЭГ и ИГ Института геологии НАН КР, лаборатории Института Водных проблем и гидроэнергетики, Института геомеханики и освоения недр и кафедры ГГ и ИГ Кыргызского государственного технического университета. К сожалению, в целом направления ГГ, ГЭ и ИГ в настоящее время в республике находятся не на должном уровне – из-за недостаточного финансирования со стороны государства и слабой работы по международным проектам. Тем не менее, этими организациями выполнен ряд проектов, включая международные, которые позволили приобрести оргтехнику, некоторые приборы, осуществлять подготовку инженеров и магистров, исследовать экологическое состояние многих объектов и участков, составить рекомендации по уменьшению опасностей, опубликовано ряд монографий [5,11,12].

В настоящее время наибольший объем различных исследований высокого качества и приобретение современных приборов и оборудования в основном проводятся по международным проектам. По вышеуказанным направлениям особенно большое число весьма полезных для республики проектов выполнено Кыргызско-Германским Центральноазиатским институтом прикладных исследований земли (ЦАИИЗ), с кыргызской стороны бессменно возглавляемого учеником Е.М. Сергеева – Б.Д. Молдобековым. В 2010 г. по линии Международной стратегии сокращения рисков стихийных бедствий (ISDR) был разработан и издан «Атлас землетрясений Кыргызстана». ЦАИИЗ, совместно с коллегами из Германии, на территории стран Центральной Азии и КР создали сеть сейсмостанций «Каремон», действующую в ре-

альном режиме. В Кыргызстане, Узбекистане, Таджикистане ЦАИИЗ-ом установлены автоматические метеостанции для наблюдения за изменением погоды и климата. На Памиро-Алае установлены новые сети пунктов измерений современных движений. Впервые создана высокогорная обсерватория им. Мерцбахера, на крупнейшем в Центральной Азии леднике Энилчек, у прорывоопасного ледникового озера Мерцбахера, где проводятся международные исследования изменения климата, деградации ледника, изучение механизма ежегодного прорыва ледовой плотины озера Мерцбахера.

Проблемы и перспективы развития гидрогеологии, эко- и инженерной геологии в Кыргызстане. В силу того, что эти научные направления связаны с безопасностью и с минимально необходимыми жизненными потребностями множества людей, здесь требуется участие государства. Отметим некоторые из актуальных проблем, с решением которых и связаны перспективы развития этих направлений в республике.

Так, одной из многих основных проблем ГГ и гидрогеоэкологии является проведение мониторинга вод и обеспечение людей качественными источниками питьевой воды. Исследования показывают [1,4-9,11,12], что такой мониторинг особенно необходим в районах интенсивного влияния человека на геологическую среду (в и вблизи крупных населенных пунктов и водозаборов; крупных горнорудных, промышленных и др. объектов).

Из множества проблем ИГ, пожалуй, следует отметить необходимость научного и нормативно-правового обеспечения строительства различных объектов. В недавнем прошлом и сейчас многие сооружения и дома, особенно в сельских местностях, строятся без соответствующей документации и предварительных ИГ исследований. Следствием является огромный ущерб экономике республики, а, нередко, и жертвы.

Наряду с вышеуказанными проблемами ИГ и ЭГ, имеются и другие важные проблемы, такие как: возможность прорыва существующих в горах многочисленных озер; эксплуатация горных предприятий и водохранилищ; исследование грунтов, включая почвы, на содержание в них опасных элементов, например, радиоактивных и тяжелых металлов и условия их транспирации через растительность к человеку; условия появления загрязнений окружающей среды (ОС) от отходов производства, проявления катастрофических явлений и т.п. Исследования последних лет показали, что источниками значительного загрязнения ОС, и, в первую очередь, вод, могут служить не только промышленные предприятия, населенные пункты, транспорт, различные фермы и хвостохранилища, но даже подъем УГВ и отвалы пустых пород [6]. Эти воды, концентрация многих вредных веществ в которых иногда в несколько раз выше ПДК, используются для полива и для питьевых целей в населенных пунктах.

Одной из важных проблем многих наук естественного направления в КР является доступ к уже полученной кем-то информации. Эта, простая в компьютерный век задача, превратилась в сложную проблему – из-за узкокорпоративных интересов. Многие государственные организации стараются продать информацию, полученную за счет государственных средств, в том

числе и другим государственным организациям. Эта проблема может быть решена только на общегосударственном уровне Правительством и депутатами, но пока она не решается и это мешает развитию науки и производства и приводит к лишним затратам труда и средств.

Одной из главных проблем развития для всех наук является финансирование научных исследований на должном уровне. В настоящее время на науку в республике выделяется около 0,10-0,12 % от ВВП. Доплата за кандидатскую и докторскую степень в республике составляет, соответственно, порядка 6 и 12 долларов США. С другой стороны, согласно тарифам Министерства образования и науки КР по НИР, практически молодой специалист, работая советником в каком-либо научном проекте, может получать намного больше, чем руководитель и организатор НИР, доктор наук или даже Академик НАН КР, который имея право работать только на половину ставки, максимум может получать на руки порядка 65 долларов США в месяц. Все это не способствует повышению интереса у молодежи, к теряющим свое былое социальное значение и престиж, инженерно-научным направлениям в республике и сильно препятствует развитию науки.

Литература

1. *Kojobaev K., Otorova S.* The influence of the time of year and anthropogenic factors on ecogeochemistry of the water of the Upper Naryn River basin // The International Conference on Environmental Science and Technology. (ICOEST'2013 – Cappadocia) Urgup, Turkey.
2. *Григоренко П.Г., Иманкулов Б., Турдукулов А.Т., Садыбакасов И.* Гидрогеологические и инженерно-геологические условия бассейна верхнего течения р. Нарын. – Фрунзе: Илим, 1975. – 215 с.
3. *Грунтоведение / Под ред. акад. Е.М. Сергеева.* – М.: МГУ, 1983. – 392 с.
4. *Ерохин С.А., Шатравин В.И.* Гляциальные озера как гидроэкологические объекты и факторы их прорывоопасности // Вода и устойчивое развитие Центральной Азии. – Бишкек: Фонд «Сорос-Кыргызстан», 2001. – С. 93-98.
5. *Кожобаев К.А., Матыченков В.Е., Усупаев Ш.Э., Сарногоев А.К.* Правила прогнозирования активизации оползней и зон поражения при землетрясениях в Кыргызской Республике (РДС-21-22-1-97). Система нормативных документов. – Бишкек, 1997. – 14 с.
6. *Кожобаев К.А., Оторова С.Т., Жунушов Б.Б.* Основные геоэкологические проблемы разработки месторождений полезных ископаемых Кыргызской Республики // Материалы Межд. Конференции, посвященной 70-летию Института геологии НАН КР. – Бишкек: Изд-во: Илим, 2013. – С. 128-137.
7. *Кожобаев К.А.* Основные геоэкологические проблемы Кыргызской Республики // Геоэкология – 2004. – № 1. – С. 33-40.
8. *Молдобеков Б.Д., Сарногоев А.К., Усупаев Ш.Э. и др.* Прогноз стихийных бедствий на территории Кыргызской Республики. Изд-во, Алл-Пресс. Бишкек, 1997 г. 172 с.
9. *Оторова С.Т., Кожобаев К.А.* Экогеохимические проблемы вод верховьев реки Нарын // Журн. «Известия КГТУ им. И. Раззакова. – 2009. – № 16. – С. 378-382.
10. *Сергеев Е.М.* Инженерная геология. – М.: МГУ, 1978. – 384 с.
11. *Торгоев И.А., Алешин Ю.Г.* Геоэкологические отходы. – Бишкек: Илим, 2009. – 240 с.
12. *Усупаев Ш.Э., Четижний К.И.* Кварц в лессах Киргизского Тянь-Шаня. – Фрунзе: Изд-во «Илим, 1991. – 287 с.

КАРТИРОВАНИЕ АКТИВНЫХ ГЕОДИНАМИЧЕСКИХ СТРУКТУР МЕТОДОМ ЕИЭМПЗ

**В.А. Крутиков, С.Ю. Малышков,
В.Ф. Гордеев, Ю.П. Малышков**

Институт мониторинга климатических и экологических систем Сибирского отделения РАН,
г. Томск, пр. Академический 10/3. E-mail: post@imces.ru

Важной задачей инженерно-геологических и геоэкологических исследований является выявление зон с неоднородным напряженно-деформированным состоянием (НДС) горных пород, активных оползневых участков, тектонических нарушений и мониторинг их состояния. Особенно это актуально при проектировании, строительстве и эксплуатации объектов повышенной опасности. Большая часть применяемых методов геофизической разведки хорошо находит геологические разломы, но не отвечает на вопрос: активны ли они и представляют ли они угрозу эксплуатации инженерным сооружениям. Современные активные геологические разломы часто не выявляются геоморфологическим анализом, т.к. в них не существует выраженная линейная кора выветривания, сложенная дисперсными грунтами, в них нет выраженного тектонического шва, представленного раздробленным материалом, глиной трения, наличием зеркал скольжения, в теле разлома отсутствуют инородные геологические тела, т.е. интрузивные дайки кислых или основных пород. Сейсморазведка, которую многие считают наиболее достоверным способом картирования тектонических нарушений, часто пропускает разломы с субвертикальной или вертикальной плоскостью сместителя. Определить активность известного геологического разлома можно длительными сейсмическими наблюдениями или высокоточным GPS мониторингом, но на решение этой задачи может уйти несколько лет. Для поиска активных геологических разломов часто применяют геохимические методы исследований, но эманация газов имеет ярко выраженную зависимость от метеорологических параметров, приливных сил, сезонности и времени суток, что накладывает ограничения на применимость этих методов.

В Институте мониторинга климатических и экологических систем Сибирского отделения Российской академии наук (ИМКЭС СО РАН) разработан метод оценки опасности геологических процессов на инженерные сооружения по параметрам естественного импульсного электромагнитного поля Земли (ЕИЭМПЗ). Применяемые радиоволновые методы основаны на явлении электромагнитной эмиссии – способности диэлектрических материалов излучать электромагнитные сигналы при воздействии на них. Электромагнитная эмиссия возникает в процессе образования и релаксации зарядов на плоскостях трещин при изменении напряженного состояния массива горных пород. Они возникают как при изменении сплошности материалов-

диэлектриков, так и при разрыве, заполненных электролитом капилляров. В горных породах источниками естественных электромагнитных полей являются неоднородности структуры грунтов, разнонапряженные структуры, трещины и микротрещины. В результате механоэлектрических преобразований под действием деформационных волн из нижней мантии, приливных сил, микросейсмических колебаний, ветровой и техногенной нагрузки на этих источниках возникают импульсные электромагнитные поля, которые и создают естественный электромагнитный фон литосферного происхождения. Наблюдения за процессом электромагнитного излучения позволяет контролировать напряженно-деформированное состояние горного массива. Многолетние измерения в различных регионах показали, что ЕИЭМПЗ литосферного происхождения имеет ярко выраженный устойчивый суточный и сезонный ход. Это объясняется тем, что деформационные волны в земной коре связаны с неравномерным вращением Земли вокруг своей оси и вокруг Солнца (ротационные поля). Суточные хода, зависят от календарной даты, географических координат местности, ее геофизических особенностей. Импульсные электромагнитные поля могут меняться как при изменении состояния грунтов, так при изменении воздействия на источники полей. Например, типичные суточные хода могут нарушаться в случаях изменения ритмического движения земной коры в результате объединения ее отдельных блоков в консолидированную область при подготовке землетрясений [3] или при изменении напряженно-деформированного состояния грунтов. Таким образом, метод регистрации ЕИЭМПЗ является универсальным инструментом для геофизической разведки, мониторинга геодинамической активности земной коры и научных исследований в области наук о Земле. Регистрация параметров ЕИЭМПЗ производится многоканальным геофизическим регистратором (МГР-01) по оригинальной запатентованной методике. Регистраторы «МГР-01» сертифицированы, зарегистрированы в государственном реестре средств измерений под № 31892-06 и допущены к применению в Российской Федерации [5].

Естественное ритмичное движение земной коры [4] хорошо выявляется только при определенной оптимальной чувствительности станций. Для настройки используются специальные тарировочные зависимости [2], полученные на основе многолетних исследований естественного импульсного электромагнитного поля Земли в различных регионах Евразии.

При производстве геофизических работ часть регистраторов используется как реперные станции для записи временных вариаций ЕИЭМПЗ, часть перемещается по сетке пикетов для регистрации пространственно-временных вариаций поля.

Критерий картирования активных разрывных нарушений земной коры для интерпретации аномалий ЕИЭМПЗ сформулирован в работах [1,5]. В качестве информативного признака при расчете аномалий ЕИЭМПЗ обычно используется пространственное распределение интенсивности ЕИЭМПЗ. Все нарушения сплошности, в том числе разломы, разрывные нарушения и зоны трещиноватости сопровождаются повышенными значениями ЕИЭМПЗ. Неактивные геологические палеоразломы, выделяются повышением интенсив-

ности ЕИЭМПЗ в полтора-два раза по отношению к фону, при том, что современные активные разломы сопровождаются аномалиями с превышением в 10-1000 раз, относительно фоновых значений. Отрицательные аномалии в структуре ЕИЭМПЗ, как правило, приурочены к зонам сжатия, либо к осевым линиям тектонических нарушений из-за того, что они забиты малоизлучающей глиной трения. Участки со сложным напряженно-деформированным состоянием залегания горных пород, как правило, выделяются положительной аномалией по одному из направлений приема ЕИЭМПЗ, с отрицательной по каналу с другим направлением приема. На таких участках возможны активизация оползней, осыпи и другие локальные геодинамические процессы.

Ранее метод ЕИЭМПЗ применялся при микросейсмическом районировании Красноярского края, при поиске места для захоронения жидких радиоактивных отходов, оценке напряженного состояния блоков горного массива, вмещающих сооружения Железногорского горно-химического комбината, оценке геодинамических оползневых процессов по трассе магистрального газопровода Уренгой-Помары-Ужгород, оценке напряженно-деформированного состояния грунтов на подрабатываемых территориях газопровода Чусовой-Березники-Соликамск, выделении участков трассы газопроводов Дзаурикау-Цхинвал, Моздок-Казимагомед и Соболево-Петропавловск-Камчатский с наиболее опасными геологическими процессами, обосновании площадки под строительство атомной электростанции во Вьетнаме, отработки методов картирования месторождений углеводородов на объектах ОАО «Газпром» и ОАО «Татнефть», рудных месторождений в Финляндии.

В докладе приводится пример комплексного исследования склона правого берега реки Кама (центральная Россия), на котором развивается каскад оползней. В этом месте реку пересекает магистральный газопровод Уренгой – Помары – Ужгород. Активный оползень на данном участке магистрали представляет серьезную угрозу эксплуатации сооружения. Во время профильных измерений одна из станций использовалась как реперная (вариационная) неподвижная станция для регистрации временных вариаций ЕИЭМПЗ. Она устанавливалась на удалении порядка 150 м от склона, на ровном участке местности. Относительно этой вне оползневой точки в дальнейшем оценивалась активность склоновых процессов и напряженно-деформированное состояние оползня. Привязка станций по времени осуществлялась с использованием внутренних часов регистраторов МГР. Синхронизация регистраторов производилась перед началом профильных измерений. Разница во времени в показаниях различных регистраторов не превышала нескольких долей секунды. Это позволяло удалять из показаний станций импульсы, пришедшие одновременно на все станции, а, следовательно, имеющие вне оползневое, внешнее происхождение. Все станции работали с временем дискретизации 1 секунда. На каждой точке (пикете) производилось не менее 300 измерений интенсивности сигнала. Статистическая обработка результатов измерений предусматривала исключение суточного хода и импульсов внешнего происхождения. Измерения проведены по одиннадцати профилям, как вдоль, так и поперек склона.

В результате площадных измерений выявлено несколько зон растяжения и сжатия, опасных для эксплуатации газопровода. Выявленные аномальные зоны согласуются со статистикой аварий на газопроводе в предыдущие годы. Сравнение полученных результатов с результатами, полученными методами геоморфологического анализа, сейсморазведки и бурения показало хорошую информативность метода регистрации ЕИЭМПЗ при низкой себестоимости работ. Многократной проверкой с применением повторных измерений, синхронными измерениями несколькими станциями, сравнением полученных результатов с традиционными методами контроля оползневых процессов показано, что правильное применение методов ЕИЭМПЗ дает высокоточные, хорошо воспроизводимые результаты, отражающие активность геодинамических склоновых процессов с высокой достоверностью.

В конце 2007 г. на этом участке газопровода была запущена в эксплуатацию автоматизированная система контроля геодинамических процессов оползневого склона. К настоящему времени комплекс состоит из двенадцати многоканальных геофизических регистраторов «МГР-01». Места размещения регистраторов выбраны на основании комплексных геофизических исследований в точках с явно выраженными аномалиями напряженно-деформированного состояния горных пород. Регистратор с приемной антенной и аккумулятором помещается в радиопрозрачном, герметичном контейнере. Контейнер закапывается в землю для защиты от вандалов. Передающая GPS антенна выводится на дневную поверхность и маскируется по местности. Реперный регистратор, расположен на ровном участке в 80 м от склона. Результаты всех остальных станций обрабатываются с учетом временных вариаций параметров ЕИЭМПЗ, полученных на реперной станции. Результаты измерений электромагнитных шумов Земли записываются в собственную память регистратора и могут быть считаны с помощью компьютера или выложены в сеть Internet на FTP сервер с защитой от несанкционированного доступа. Для сбора, анализа и визуализации зарегистрированных параметров поля разработан Интернет-портал со всем необходимым оператору инструментарием. Разработанный Интернет-портал формирует базу данных и представляет результат мониторинга в графическом виде и в режиме мониторинга опасности геологических процессов. Это позволяет автоматически оценивать степень опасности оползневых процессов на отдельных участках территории. Оценка ситуации осуществляется на странице просмотра данных в виде анализа приведенных значений. По результатам анализа можно судить о степени опасности подвижек оползня. В качестве алгоритма контроля геодинамических процессов по параметрам ЕИЭМПЗ используется два критерия. Первый критерий показывает отличие по интенсивности показаний регистраторов, расположенных на оползневом склоне, от показаний реперного регистратора. Второй критерий оценивает степень подобия показаний различных регистраторов.

Применение данной системы позволяет в реальном масштабе времени выявлять в структуре склона зоны повышенной и пониженной активности оползневых процессов, зоны растяжения и относительного сжатия, простран-

ственную ориентацию напряжений. В результате нескольких лет эксплуатации системы удалось показать, что различные участки берега реки являются динамически развивающимися структурами. При этом ситуация на различных участках оползня может изменяться даже в течение одних суток. За время эксплуатации системы более 10 раз наблюдались аномалии в интенсивности импульсного потока ЕИЭМПЗ на различных участках оползня. Аномалии проявлялись в виде искажения суточного хода интенсивности ЕИЭМПЗ в течение нескольких дней. В случае появления подобных аномалий транспортировка газа с нитки газопровода, вблизи которой наблюдалась аномалия, переводилась на резервную линию. Как правило, развитие опасной ситуации обнаруживалось по электромагнитным шумам Земли раньше срабатывания других датчиков контроля.

За время эксплуатации данной экспертной системы защиты магистрального газопровода (более 6 лет), не произошло ни одной аварии на обслуживаемом участке. Несомненно, что в этом факте есть и значимая доля упреждающих инженерных мероприятий, осуществляемых на газопроводе на основе работы данной системы. В настоящее время аналогичные системы устанавливаются на других объектах ОАО «Газпром».

Другим примером практического применения естественного радишума Земли в геофизической разведке является картирование тектонических нарушений земной коры и оценка их активности. Измерения проводились с целью обоснования выбора площадки для строительства атомной электростанции Нинь Тхуан 1 во Вьетнаме. До начала работ методом ЕИЭМПЗ на площадке были проведены геофизические работы методами сейсмической разведки, магниторазведки, вертикального электрического зондирования. Было определено, что массив имеет блочную структуру, картированы разрывные нарушения и зоны дробления, но вопрос о активности разломов и их опасности для проектируемого объекта оставался открытым. Полевыми исследованиями геодинамических процессов в земной коре методом ЕИЭМПЗ были подтверждены разрывные нарушения, выявленные другими методами. Установлено, что горные породы вдоль береговой линии находятся в состоянии сжатия. Это проявилось незначительной отрицательной аномалией интенсивности ЕИЭМПЗ. Геодинамических структур с высокой степенью активности и представляющих реальную угрозу эксплуатации инженерных сооружений в пределах площади исследований не выявлено.

Литература

1. Electromagnetic Fields: Principles, Engineering Applications and Biophysical Effects. Editors: Jon M. Phillips, 2012 Nova Science Publishers. (Chapter 1, Earth's Natural Electromagnetic Noises in a Very-Low Frequency Band).
2. The Earth's Core: Structure, Properties and Dynamics. Editors: Jon M. Phillips, 2012 Nova Science Publishers, Inc. ISBN: 978-1-61324-584-2 (Chapter 6 Eccentric Motion of the Earth's Core and Lithosphere: Origin of Deformation Waves and their Practical Application).
3. Добровольский И.П. Теория подготовки тектонического землетрясения. – М.: ИФЗ АН СССР, 1991.

4. *Малышков Ю.П., Малышков С.Ю.* Периодические вариации геофизических полей и сейсмичности, их возможная связь с движением ядра земли // Геология и геофизика. – 2009. – № 2. – С. 152-172.

5. *Шталин С.Г.* и др. Регистратор импульсных электромагнитных полей для мониторинга геодинамических процессов и геофизической разведки // Датчики и системы. – 2012. – №4. – С. 32-37.

ОЦЕНКА СЕЙСМИЧЕСКОГО РИСКА Г. Б. СОЧИ

В.И. Ларионов, Н.И. Фролова, А.Н. Угаров, С.В. Кожаринов

Институт геоэкологии им. Е.М. Сергеева РАН, Москва, 101000,
Уланский пер., 13, стр. 2, а/я 145. E-mail: frolova@esrc.ru

Землетрясения среди других природных катастроф часто приводят к гибели людей и значительным экономическим ущербам. Согласно статистике Международного Центра эпидемиологии катастроф (www.cred.be) за первые шесть месяцев 2013 г. произошло 127 природных катастроф, погибло 8 250 человек, пострадало 16 млн. чел., экономический ущерб оценивается 45,129 млрд. американских долларов. Землетрясения остаются среди лидеров по всем показателям: количеству погибших, пострадавших и причиненному экономическому ущербу. Во время землетрясений в апреле и марте с.г. в Китае пострадало почти 3 млн. чел.

Признанной в мире стратегией снижения ущерба и социальных потерь являются превентивные мероприятия в зонах повышенного риска, предполагающие его картирование с различной детальностью.

В России около 5% территории являются зонами повышенной сейсмической опасности, где интенсивность сотрясений может достигать 8-9 и 9-10 баллов по шкале ММСК-86. Одним из наиболее опасных и густонаселенных районов страны является Северный Кавказ. В связи с проведением в 2014 г. в г. Сочи Олимпийских игр были выполнены работы по оценке сейсмического индивидуального риска г. Б. Сочи включая территории размещения объектов Олимпийского комплекса. Получена оценка величины снижения риска за счет сноса ветхого жилья и нового сейсмостойкого строительства.

Индивидуальный сейсмический риск определялся как вероятность гибели человека в год на рассматриваемой территории от опасного сейсмического воздействия (размерность 1/год). Риск рассчитывался как суперпозиция количественных пространственно распределенных характеристик сейсмической опасности и уязвимости элементов риска.

Информация о сейсмической опасности была взята с карты сейсмического микрорайонирования территории города, включая участки расположения олимпийских объектов в районе Имеритинской низменности (Адлер)

в масштабе 1:25 000, разработанной Институтом геоэкологии им. Е.М.Сергеева РАН.

В качестве элементов риска рассматривалась жилая и промышленная застройка города. Для актуализации данных о застройке использовалась информация о планируемых к застройке гостиницах и жилых многоквартирных зданиях на территории города в соответствии с ФЦП «Развитие г. Сочи как горноклиматического курорта (2006-2014 гг.)», космические снимки и технология «фотопанорам», позволяющие определить долю застройки различного типа или класса уязвимости по шкале MMSK-86 [1] и их средние высоты.

Основными прямыми дешифровочными признаками, которые использовались при оценке класса уязвимости зданий по космоснимкам являлись: форма; размеры; величина отбрасываемой тени; структура изображения и ширина проездов. В качестве косвенных признаков использовались: размеры и тип населенного пункта; экономический уровень развития региона; удаление квартала от центра населенного пункта; расстояние между зданиями; ширина проездов; строительные традиции региона.

Опыт использования космических снимков средней детальности для г. Б. Сочи и других населенных пунктов в сейсмоопасных регионах мира позволил выявить дешифровочные признаки для определения классов уязвимости или типов застройки для групп зданий, объединенных в кварталы с однородной застройкой.

Технология «фотопанорам» предполагает использование наземных снимков фасадов зданий, получаемых в настоящее время фирмами, разрабатывающими картографические сервисы и обеспечивающие публикацию детальных карт населенных пунктов в сети INTERNET. Российская IT-компания «Яндекс» (<http://maps.yandex.ru>), основным направлением деятельности которой является разработка поискового механизма, создала популярный в России картографический портал, поддерживающий публичную функцию «фотопанорам» улиц населенных пунктов и федеральных автомобильных трасс России. Используя сервис «фотопанорамы», были изучены фотографии фасадов зданий в г. Б. Сочи и уточнены такие параметры как: этажность; материал застройки; конструктивные особенности, в отдельных случаях – «типовой проект».

Совместное использование космических снимков и фотопанорам, а также перечисленных признаков позволило в два раза повысить надежность отнесения зданий на территории г. Б. Сочи к классу уязвимости застройки по шкале MMSK-86 по сравнению с анализом космоснимков высокой и средней разрешающей способности.

По своей надежности метод оценки типа зданий (сейсмической уязвимости зданий), основанный на совместном применении космических снимков, обладающих высокой разрешающей способностью и фотопанорам (фотографий фасадов зданий) занимает промежуточную позицию между методом дистанционного зондирования и наземным обследованием зданий. Основной привлекательной стороной этого метода является оперативность получения информации, которая достигается за счет использования готовых

фотопанорам и высокой скорости фотографирования при их получении с движущегося автомобиля, оснащенного приемником навигационного сигнала ГНСС (глобальных навигационных спутниковых систем) и панорамной камерой. Привлекательной стороной совместного использования космических снимков и фотопанорам для оценки типа зданий и состояния застройки является сравнительно низкая стоимость данных при достаточно высокой надежности метода, соответствующей требованиям оценки сейсмического риска для урбанизированных территорий.

Выполненные в 2013 г. исследования по уточнению классов уязвимости застройки г. Б. Сочи позволили провести расчеты индивидуального сейсмического риска для г. Б. Сочи включая территорию размещения объектов Олимпийского комплекса.

Расчеты риска производились с использованием программных средств ГИС «Экстремум», разработанных в 2011 г. в рамках проекта 7.7 Программы фундаментальных исследований Президиума РАН № 4 «Окружающая среда в условиях изменяющегося климата; экстремальные природные явления и катастрофы». Для определения показателей риска были реализованы следующие этапы:

- оценка количественных характеристик сейсмической опасности для каждого района с однотипной застройкой;
- оценка уязвимости, т.е. распределение степеней повреждений зданий различного типа по шкале MMSK-1986 по вероятностям для конкретного значения интенсивности;
- оценка возможных социальных потерь – распределение числа погибших для каждого района с однотипной застройкой;
- оценка вероятности гибели одного человека за год исходя из прогнозируемых периодов повторения сотрясений $T=500$ лет и $T=1000$ лет.

Учитывалось, что объем повреждений и разрушений, в основном, определяется двумя факторами: сейсмическим воздействием и сопротивлением этому воздействию элементами риска – зданиями разного типа.

Устойчивость зданий к сейсмическому воздействию оценивалась функциями уязвимости, построенными для зданий разного типа. При этом учитывалось, что даже при воздействии одинаковых сейсмических нагрузок на однотипные здания существует некоторая вероятность получения зданиями разных степеней повреждений, т.к. на характер их повреждения влияет разброс прочности материалов, отклонение строительных конструкций от проектных размеров, различие условий изготовления элементов и другие факторы.

При оценке риска учитывалось, что поражение людей зависит как от перечисленных факторов, так и от ряда других случайных событий, в том числе от вероятности размещения людей в зоне риска. Поражение людей при повреждении и разрушении зданий оценивалось с использованием параметрических функций. Принималась гипотеза, что человек может пострадать при получении зданиями одной из степеней повреждения: легкой, умеренной, тя-

желой, частичного разрушения, или обвала, образующих полную группу событий.

Расчеты риска проводились для отдельных типов зданий с учетом высоты зданий и усреднялись по кварталу в целом. В соответствии с уровнем риска квартал окрашивался в определенный цвет или обозначался различной штриховкой.

На рис.1 приведен фрагмент карты индивидуального сейсмического риска, построенный с использованием карты СМР для г. Б. Сочи, период повторяемости $T=1000$ лет (ОСР-1997В).

Полученные оценки риска для кварталов города варьируют от значений менее $1,0 \cdot 10^{-5}$ до весьма высоких, равных $30,0 \cdot 10^{-5}$ и более. Величина риска непосредственно связана со значениями прогнозируемой интенсивности землетрясений, ожидаемого интервала времени осуществления прогноза, а также уязвимостью застройки зданий и сооружений.

Анализ полученных в 2013 г. значений риска показывает заметное уменьшение площадей застроенной части города с повышенным уровнем риска (более $30 \cdot 10^{-5}$) по сравнению с оценками 2007 г. (табл.).

Таблица

Площади застроенной части города с различными уровнями риска

Диапазон риска, 10^{-5} /год	Процент площади		
	$R_{2013}, T=500$ лет	$R_{2013}, T=1000$ лет	$R_{2007}, T=500$ лет
Менее 1	18,6	8,9	20,6
1-5	56,3	52,7	25,8
5-10	16,2	17,2	14,7
10-20	5,6	11,8	9,9
20-30	2,9	7,1	14,3
Более 30	0,3	2,4	14,7

Таблица показывает, что территория города с неприемлемым уровнем риска по сравнению с 2007 г. уменьшилась на 30%. Доля застроенной территории с неприемлемым уровнем риска (более $1 \cdot 10^{-4}$) составляет 8,6% в 2013 г. по сравнению с 38,9% – в 2007 г.. Этот факт объясняется повышением общего уровня сейсмостойкости застройки города в связи со строительством Олимпийских объектов и соответствующей инфраструктуры.

Работа выполнена в рамках проекта проект 7.7 «Теоретические и методические основы оценки сейсмического риска с учетом вторичных процессов на локальном уровне. Построение карт сейсмического риска для г. Б. Сочи включая территорию размещения объектов Олимпийского комплекса» Программы фундаментальных исследований Президиума РАН № 4 «Окружающая среда в условиях изменяющегося климата; экстремальные природные явления и катастрофы».

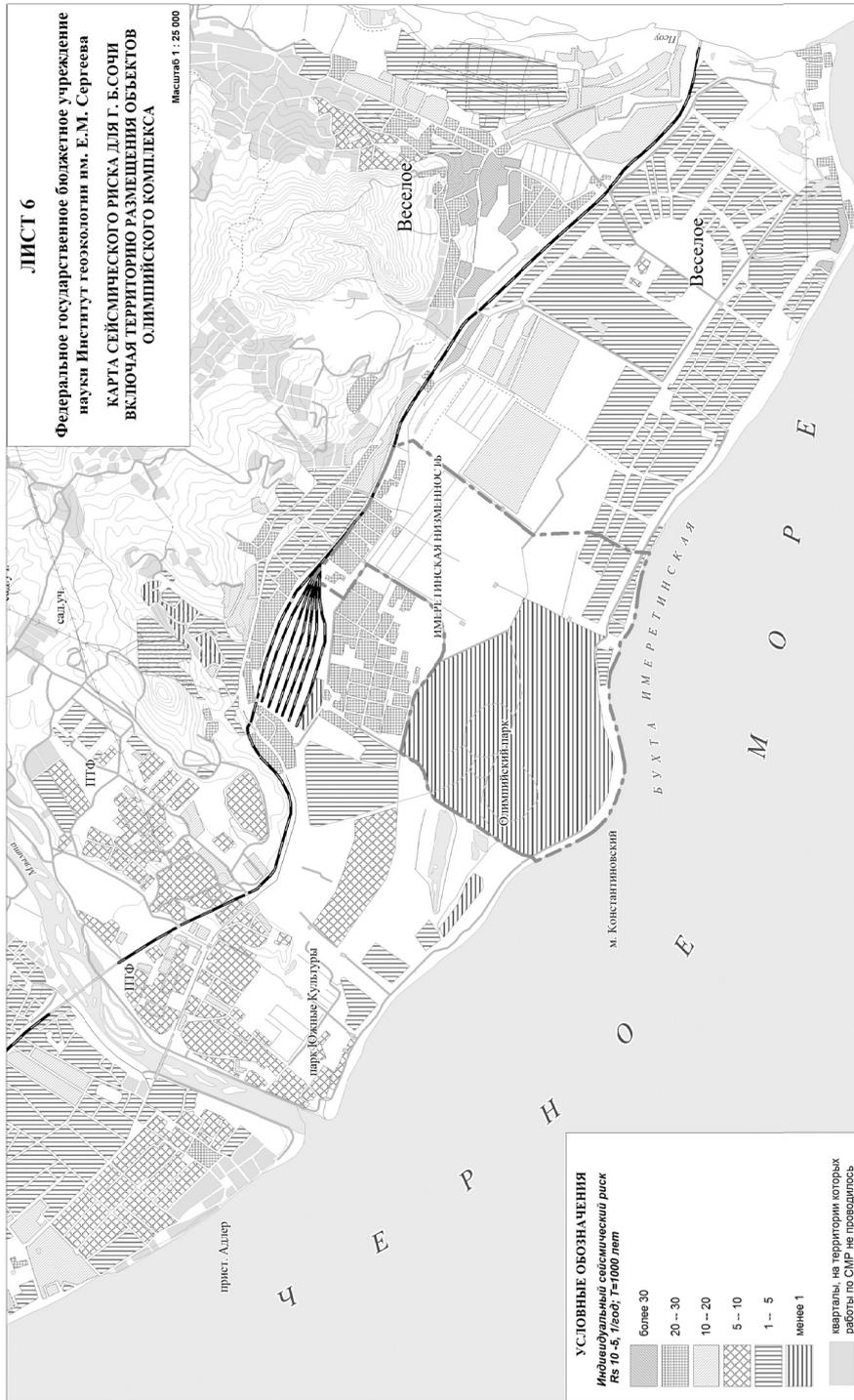


Рис. 1. Фрагмент карты сейсмического риска при использовании карты СМР для г. Б. Сочи, период повторяемости $T=1000$ лет (ОСР-1997В)

Полученные в рамках проекта результаты являются положительным методическим опытом для разработки моделей сейсмической уязвимости городов и создания карт сейсмического риска урбанизированных территорий. Внедрение результатов исследований в практику освоения территорий, градостроительства, проектирования обеспечит снижение потерь населения и возможного ущерба при сильных сейсмических воздействиях.

Литература

1. Шебалин Н.В., Ершов И.А., Шестоперов Г.С. и др. Улучшенный вариант шкалы сейсмической интенсивности (ММСК-86) на базе шкал MSK-64 и МСССС-73 (заключительный отчет). – М.: МСССС, ИФЗ, 1986. – 61 с.

О СОСТОЯНИИ ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ В ИЗЫСКАНИЯХ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ

М.В. Лехов

Геологический факультет МГУ им. М. В. Ломоносова, Ленинские горы, Москва, 119234.
E-mail: mvlekhov@geol.msu.ru

Строительная гидрогеология посвящена оценке взаимодействия объекта с окружающей средой и выработке проектного решения. Она занимается решением практических задач и нуждается в разработке теории, средств моделирования. Это – развивающаяся теоретически, методически, технически отрасль. Она предполагает творческое начало на любой стадии исследования – от постановки задачи до совместной с проектировщиком выработки инженерного решения по конструкции сооружения и мероприятиям защиты от негативных последствий, включая экологические.

Но как бы успешно не развивались теоретические модели, основой прогноза являются данные. Обеспечить данные для гидрогеологического прогноза в достаточном объеме должны грамотные изыскания. Они должны охарактеризовать условия требуемой глубины и площади изучения, дать уровни подземных вод и параметры, которые необходимы для данной задачи.

Специфика задачи и природных условий объекта требует всегда индивидуального подхода к планированию и методике гидрогеологических исследований. И всегда значение имеет организация, техническое обеспечение, квалификация и добросовестность технических исполнителей.

50 – 80 гг. XX века вошли в историю как период плодотворного развития гидрогеомеханики и как науки, и как методической основы решения инженерных задач, связанных с подземными водами. Были разработаны полевые методы изучения фильтрационных параметров, основы численного мо-

делирования фильтрации. Гидрогеологические исследования на объектах гидротехнического, мелиоративного, гражданского строительства имели обоснованность, несравнимую с конвейерной штамповкой современных отчетов по изысканиям и моделированию.

В период развития решение задач гидрогеологического прогнозирования и опытно-фильтрационного опробования горных пород никак не связывалось с государственными стандартами и строительными нормами и правилами. Правда, их уже начали разрабатывать в виде временных норм, а в 1976 г. был утвержден ГОСТ на полевые испытания проницаемости грунтов. Внедрение нормативных документов в гидрогеологическую практику изысканий сыграло фатальную роль в ее дальнейшем развитии. В гидрогеологию пришли СНИП, ВСН, рекомендации по проведению изысканий, прогнозных исследований и полевых испытаний. До этого производство откаток, гидрогеологическое моделирование, организация режимных наблюдений благополучно обходились без нормативного формализма. Залогом качества в любом случае является не выполнение требований общего стандарта, а профессиональное образование, квалификация исполнителя и опыт успешного выполнения не только вида работ, а всего цикла – от нуля до защиты проекта.

В задачи доклада не входит рассмотрение развала отрасли с ретроспективным анализом деградации исследований, связанной с разрухой 90-х годов, уходом кадров, полным сокращением производственных мощностей и изыскательских отделов проектно-изыскательских институтов, подменой исследований красивыми компьютерными инсталляциями на несуществующих параметрах, падением уровня профессионализма у руководителей и технического персонала. Примечательно, что на фоне этого возникло множество фирм, купивших лицензии и перенасытивших рынок изысканий и гидрогеологического моделирования. Уровень квалификации сотрудников этих фирм все в большей степени заставляет задуматься о состоянии гидрогеологических знаний в отрасли в целом.

Следует признать, что современные гидрогеологические исследования в инженерных изысканиях находятся на крайне низком уровне, не соответствуют целевому назначению, не способны обеспечить фактическим материалом решение практической задачи проектирования. В изысканиях гидрогеологические работы названы «исследованиями», что, само по себе, подразумевает творческий подход, эксперимент. Требования следовать нормативной базе, устаревшей и довольно косной, никак не способствуют творческому подходу.

Имея возможность сравнивать рассматриваемый вид деятельности в 1970–1990х и в 1990–2010 гг., автор пришел к выводу о том, что два фактора обрели решающее негативное влияние на состояние изысканий – нормативный формализм и формализм экспертизы. Формализм, вообще, является болезнью изысканий, не говоря о том, что обеспечивает дорогу фальсификации работ, выполнение которых невозможно проверить.

Гидрогеологические исследования в проектировании строительства прочно обрели положение вспомогательного вида работ. Гидрогеологическая

часть отчета об изысканиях заключается в констатации отметок уровней водоносного горизонта в основании сооружения и колонки таблицы свойств, в которой содержатся коэффициенты фильтрации грунтов.

В основу доклада, положен, видимо, забытый факт, что гидрогеологические исследования в составе инженерных изысканий проводятся для решения ряда самостоятельных задач в строительстве. Возникло множество вопросов к содержанию изысканий.

Что можно сказать в отношении пригодности результатов изысканий? Гидрогеологические исследования в них занимают ограниченный объем, а методика доведена до нормативного абсурда. Ситуация неблагоприятна не только для ординарного прогноза подпора и дренажа, но даже простой характеристики условий залегания подземных вод.

В свою очередь, и прогнозирование пришло к противоречию. Модельный расчет выдвигается на первый план, требования к его обоснованию исходят из соответствия нормативу. Выдача прогноза обретает конвейерный характер. В новое время практически повсеместно используется геофильтрационное моделирование численными методами. Выбор мощного метода определяется не столько сложностью объекта и обилием материала (его качество стало несравнимо хуже), сколько наличием программ. Этот факт обретает решающее значение, в то время как исследовательская, творческая сторона «за ненадобностью» исчезает.

Дают ли изыскания материал для гидрогеологического прогноза в том виде, к которому они пришли? Крайне мало, некачественно и оторвано от конкретной задачи. Почему том изысканий не содержит карту гидроизогипс? Она уже дает возможность оценить масштаб влияния. Почему инженерно-геологические и геофизические изыскания по объему многократно превышают гидрогеологические? Всегда ли нужен сам гидрогеологический прогноз, осуществляемый методами математического моделирования? Численная сетка требует насыщения: характеристиками граничных условий, изменчивости параметров. Но исходная информация – это всего несколько точек, расположенных кучкой на стройплощадке. Специалисту известно, что моделируемая область должна в 4 – 5 раз превышать размер сооружения.

Неудовлетворительным в этой ситуации является то, что экспертиза, занимается частными вопросами методики моделирования, и не занимается вопросами соответствия комплекса гидрогеологических изысканий целевому назначению прогноза. Кто может и вправе быть экспертом? Статус государственного чиновника привлекает к этой деятельности по понятным мотивам в первую очередь специалиста, не востребованного как профессионал. Фискальная служба редко интересуется геолога-естествоиспытателя. Аккредитация государственного эксперта, едва появившись, превратилась в экзамен на знание нормативов.

Экспертизу следует проводить, но – для ограниченного ряда объектов. И эксперты должны быть внештатные – те, которые каждодневно занимаются живым делом. Следует вспомнить экспертов министерств СССР. За плечами эксперта стояли разнообразные по природным условиям объекты. Уровень

работ должен быть высоким не из-за страха перед экспертизой. Следует приложить максимум усилий к профессиональной подготовке, к умению видеть конечную цель проекта.

Моделирование становится затратным, но малоубедительным видом работ. Ведь гидродинамический прогноз проверить после строительства практически невозможно. Преобладающий объем моделирования в строительстве может быть назван некорректным из-за отсутствия ОФИ.

Точного прогноза ожидать может только неспециалист, зная, что на «пяточке» пробурено 5–10 скважин с неуверенными уровнями воды и двумя экспресс наливками. Ответить на вопрос, произойдет ли ухудшение гидрогеологических условий нередко можно и без моделирования. Часто и необходимости в нем нет из-за очевидного ничтожного влияния на подземные воды.

Чтобы задуматься о точности прогноза, надо напомнить, что ошибка измерений уровней грунтовых вод достигает 10–30 см, а сезонная амплитуда их колебаний – более 1,5 м. На практике модель использует параметры питания, водоотдачи, сопротивления ложа водоема, перетекания, изучение которых не проводилось.

Кустовые опыты по скважинам начали проводить, но чтобы их проводить требуются специалисты и оборудование. Изученность ограничена границами стройплощадки. Чтобы придать убедительность обратной задаче, для пополнения информации по уровням воды обращаются к архивам. Но фондовые скважины не могут быть использованы без коррекции уровней воды по времени. А такая работа требует открытой базы режимных долгосрочных наблюдений.

Для исходной основы прогноза необходима или разовая гидродинамическая съемка по скважинам, пробуренным в радиусе полукилометра, или анализ гидрогеологических условий по целостным архивным отчетам. Корректным является использование карт гидроизогипис, например, в Москве (Мосгоргеотрест 2009) 10 000-го масштаба. Но они, к сожалению, отсутствуют в свободном доступе.

Использование же в обратных задачах архивных скважин, без доказательства, недопустимо, равно как и результатов ОФР без возможности повторной интерпретации. Идентификация параметров может проводиться только на базе обоснованных карт гидроизогипис. Здесь, как раз, необходимо нормативное требование составлять их как отчетный материал изысканий.

Для корректной модели неперенным условием являются балансовые показатели и результаты кустовых откачек. Кустовые опыты – единственный метод получения достоверных параметров. Их следует проводить в обязательном порядке. Конечно, – такое опробование необходимо там, где необходимость прогнозного моделирования неизбежна. Оценить это можно лишь вернувшись к стадийным изысканиям.

Гидрогеологические исследования требуют разумной продолжительности наблюдений по скважинам. Они показывают справедливость выделения водоносных горизонтов. Наблюдения требуются для устранения ошибок, для подтверждения установившегося характера измеренных при бурении уровней

воды в скважинах. Опытное опробование скважин также недопустимо без предварительных наблюдений.

Как правило, изыскания дают грубые ошибки в определении установившихся уровней воды, связанные со спешкой в наблюдениях. Этот факт повсеместен. При этом и изыскатели, и проектировщики смотрят на него с фатальной обреченностью. Переделывать, – на это нужны дополнительные средства, оправдать которые невозможно. Неправильные уровни влекут за собой цепь ошибочных результатов испытаний, прогнозов и проектных решений.

За формализмом гидродинамического прогноза следует и низкая достоверность прогноза подтопления, деформаций, влияния на водоемы, устойчивости сооружений. Попытка рассчитать миллиметровые осадки при полуметровом водопонижении при сезонной амплитуде колебаний уровня 1,5 – 2 м, параметрической ущербности модели, только усиливает недоверие и к результатам, и к квалификации исполнителей. При этом расчет осадок при водопонижении, требуемый экспертизой почти повсеместно, весьма формален. На стройплощадке, где понижения напоров значимы, он не нужен, а за ее границами невозможен, так как там не производится изучение грунтов. И причины осадок часто не связаны с изменением гидростатики.

Изучение параметров может быть связано только с продолжительными кустовыми опытами, с организацией наблюдений, раскинутых по площади, превышающей размеры изучаемого объекта.

Материалы изысканий содержат «инкубаторские» таблицы коэффициентов фильтрации и уровни воды, в достоверности которых нет возможности убедиться. Изыскания оказались выхолощенными в гидрогеологической части. Практически нет руководителей подразделений – практикующих гидрогеологов. Производство изысканий заслоняется недействующими даже в период разработки нормами.

Несколько слов о навязывании дорогостоящей сертификации гидрогеологических программ и стремления использовать программы иностранного производителя. Она неуважительна и губительна по отношению к отечественной школе и творческой инициативе. Формулировка «сертификат соответствия» никак не применима к системе гидрогеологического моделирования. Соответствия – чему? Решению дифференциального уравнения? Неплохо задуматься: специалист в какой области выдает сертификат?

Моделирование не заканчивается фактом получения цифры. Для инженерного решения требуется решение преемственной задачи – оптимизации водопонижения, осадки земли при рекультивации или под влиянием откачки, оценки устойчивости оползневого склона под влиянием подземных вод, расчета дренажа и т.д. Это обстоятельство заставляет нести более серьезную ответственность изыскателя и отвечать за огрехи, свои и чужие.

**МЕТОДОЛОГИЯ СОЗДАНИЯ
ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ
ОСНОВАНИЯ СТРОИТЕЛЬНЫХ ОБЪЕКТОВ
С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ДАННЫХ ГЛУБОКОГО
СТАТИЧЕСКОГО ЗОНДИРОВАНИЯ
(НА ПРИМЕРЕ ДИМИТРОВГРАДСКИХ ФЭС)**

С.П. Лярский, И.В. Дудлер, П.А. Патрикеев

ООО «Энергопроекттехнология» /ГК «Росатом»/, Большой Строченовский пер., 25 а,
Москва 115054. E-mail: lsp@yandex.ru

1. Традиционно по результатам инженерно-геологических изысканий на стадии проектирования в технических отчетах приводятся инженерно-геологические разрезы с выделенными инженерно-геологическими элементами в массиве изученных грунтов. Совокупность таких инженерно-геологических разрезов, насчитывающих часто до 10-30 профилей и более, позволяет представить пространственную изменчивость геологической среды в пределах активной сжимаемой зоны зданий и сооружений.

Инженерно-геологические элементы (ИГЭ) выделяются, как правило, по результатам лабораторных исследований образцов нарушенного и ненарушенного сложения с учетом результатов испытаний грунтов в массиве полевыми методами. При этом нормативные и расчетные значения показателей физико-механических свойств грунтов по ИГЭ приводятся в таблицах без обоснования приоритета методов, положенных в основу их определения. На инженерно-геологические разрезы не наносятся графики зондирования, которые обычно помещаются в приложениях к техническим отчетам. Все это существенно затрудняет осмысление и понимание проектировщиками и экспертами проектно-изыскательских материалов, особенностей структуры массива грунтов основания по их прочностным и деформационным свойствам, а также оценку объективности выделения и характеристики ИГЭ. Соответственно, усложняется выбор расчетных грунтовых элементов для создания геомеханических и геотехнических моделей основания сооружений. К сожалению, модели оснований составляются проектировщиками (геотехниками) без участия инженеров-геологов, что не позволяет своевременно компенсировать отмеченные недостатки.

2. Еще в 60-70-х годах прошлого века было убедительно показано, что по данным динамического и статического зондирования возможно надежное установление границ залегания грунтов, обладающих различными плотностно-прочностными характеристиками [1,2,5].

С появлением пенетрационно-каротажных методов и, позднее, современных установок статического зондирования появилась возможность исследовать грунты в пределах значительных глубин, а также контролировать их литологические границы [4,10].

Установление корреляций между данными зондирования грунтов (косвенными показателями плотности, прочности и сжимаемости) и данными испытаний их методами прямого определения механических свойств (штампы, вращательный срез и другие) позволяет использовать большие объемы зондирования для более объективного выделения ИГЭ и построения инженерно-геологических разрезов [2,6,7]. Наличие корреляции между значениями показателя трения зонда (R_f) и литологическим составом грунтов обеспечивает интерпретацию данных массовых испытаний их зондированием для детализации геологического разреза на участках между буровыми скважинами.

Эти положения стали ещё более актуальными при появлении установок для зондирования на полную глубину инженерно-геологических исследований (до 50-70 м) и проходки грунтов со значениями удельного сопротивления под наконечником зонда q_c до 70 МПа.

Требование обязательности применения зондирования для выделения ИГЭ было закреплено в бывшей БССР в действующем по настоящее время нормативном документе, инженерно-геологический раздел которого был разработан В.Г. Лободенко [8,12]. К сожалению, в российских нормативных документах, в том числе актуализированном СНиП 11-02-96 [9], такой подход не нашел отражения.

3. Анализ и обобщение опыта инженерно-геологических изысканий в России и Белоруссии, в том числе для проектирования атомных электростанций, свидетельствует о возможности и целесообразности оптимизации методологии изыскательских работ с целью обоснования по данным глубокого статического зондирования инженерно-геологических моделей основания проектируемых строительных объектов.

В докладе обсуждаются положения предлагаемой методологии, результаты реализации которой иллюстрируются на примере площадок Димитровградских АЭС.

Данная методология исходит из *концепции* последовательного составления геологических, инженерно-геологических и геомеханических моделей основания зданий/сооружений в составе ПТС «геологическая среда – строительный объект». При этом в качестве базовых принципов принимаются:

- приоритетность геологической основы всех моделей;
- приоритетность выделения инженерно-геологических элементов по данным испытаний грунтов *in situ* полевыми методами;
- обязательность использования данных глубокого статического зондирования для выделения ИГЭ и построения инженерно-геологических и геомеханических моделей основания;
- целесообразность совместного составления изыскателями и проектировщиками геомеханических моделей основания зданий и сооружений.

Высокая степень детальности в выделении инженерно-геологических элементов с использованием данных глубокого статического зондирования позволяет устанавливать оптимальную степень схематизации инженерно-геологических моделей основания с учётом проектных нагрузок и воздейст-

вий, заглубления зданий и сооружений, а также чувствительности их к неравномерным осадкам и процессам консолидации грунтов основания.

Программа изыскательских работ предусматривает комплексное использование полевых, лабораторных и аналитических методов, в том числе установление корреляций между показателями физико-механических свойств изучаемых грунтов, определяемыми прямыми и косвенными методами исследования. *Методика изысканий* ориентируется на применение ГИС-технологий, в том числе для построения трехмерных моделей (3D), предусматривающих разную степень детализации инженерно-геологической модели основания объекта, генерализацию инженерно-геологических элементов, а также составление геомеханических моделей применительно к разным типам альтернативных фундаментов зданий/сооружений и схем их заглубления в конкретных инженерно-геологических условиях. Последние типы моделей, в том числе трехмерные, приводятся в презентации доклада.

Необходимо подчеркнуть, что геомеханические модели (модели основания зданий и сооружений с выделением расчетных грунтовых элементов по ГОСТ 20522-2012) следует относить к группе инженерно-геологических моделей. Это в максимальной мере отвечает инженерной составляющей инженерно-геологических изысканий, позволяет в большей мере учесть и отразить специфику массива грунтов оснований, чем при формальных геотехнических подходах к решению данной задачи. Оптимальным является составление геомеханических моделей изыскателями совместно с проектировщиками. Разработка же расчетных моделей оснований полностью относится к компетенции геотехников.

Актуальность использования глубокого статического зондирования для выделения ИГЭ и создания инженерно-геологических моделей оснований строительных объектов в известной мере обусловлена и отсутствием надежных грунтоносков для отбора образцов ненарушенного сложения насыщенных водой песчаных грунтов для их последующих исследований современными лабораторными методами.

На рисунке приведены результаты исследования на площадках Димитровградских АЭС с диапазоном значений характеристик песков $E - 14-71$ МПа, $\varphi - 28-38^\circ$, $c -$ от 0 до 6 КПа.

Указанная методология наиболее значима для особо опасных и технически сложных строительных объектов [3].

Таким образом, рекомендуется следующий технологический алгоритм применения глубокого статического зондирования:

- выполнение массовых испытаний грунтов зондированием, в том числе между буровыми скважинами и, частично, взамен их при соответствующем обосновании;
- использование показателя трения R_f для детализации геологического разреза;
- установление корреляционной зависимости вида $E=f(q_c)$ непосредственно на территории/площадке проектируемого строительного объекта;

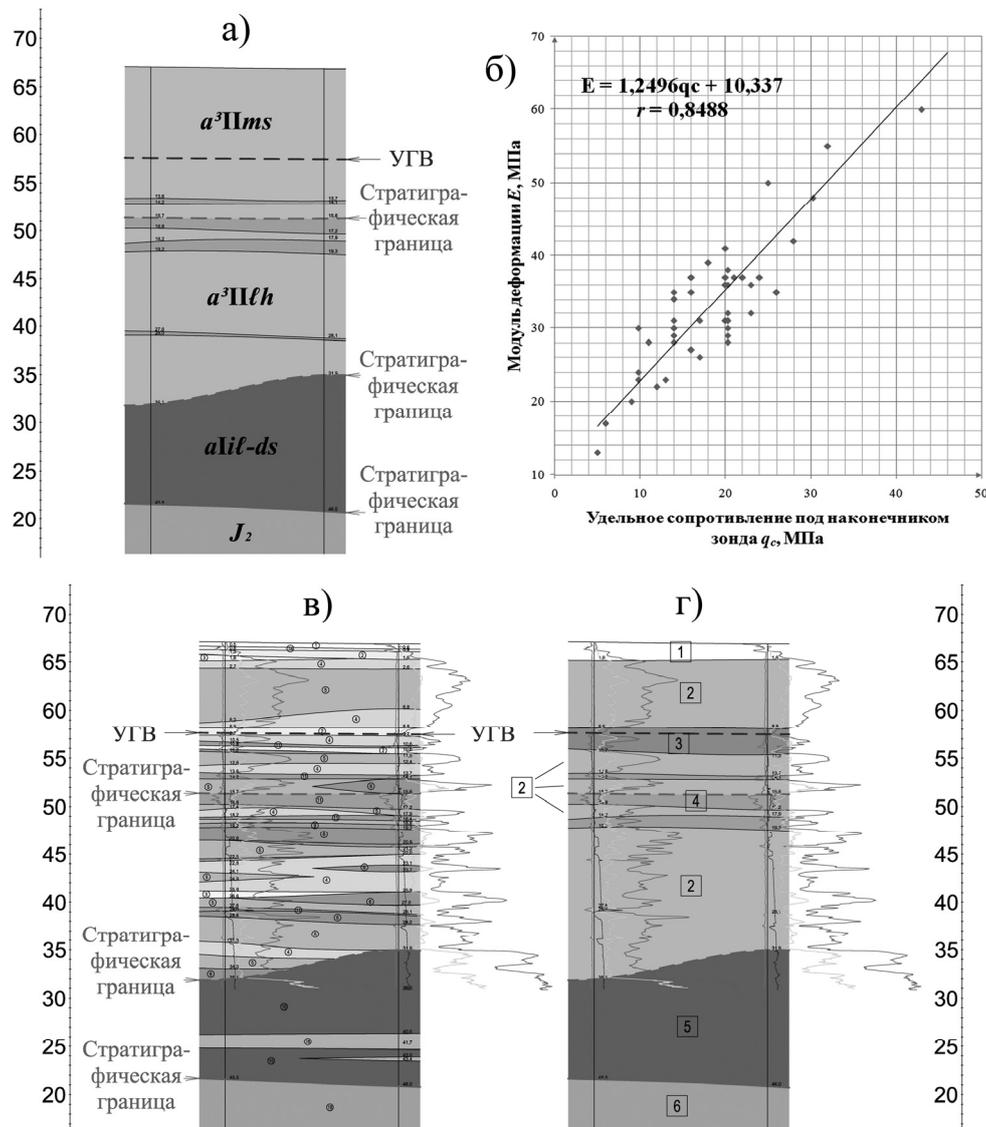


Рис. Фрагменты моделей основания зданий и сооружений проектируемых Димитровградских АЭС:

а – геологической; в – инженерно-геологической с детальным выделением ИГЭ по данным глубокого статического зондирования; г – то же, с генерализованными ИГЭ – предварительная геомеханическая модель; б – график $E=f(q_c)$ по данным зондирования и испытаний штампами (площадью 5000, 2500 и 600 см²). **a³Πms** – пески мелкие с редкими прослойками пылеватых и средней крупности, преимущественно плотные; **a³Πℓh** – пески мелкие с прослоями пылеватых и средней крупности, с прослоями и линзами супесей и суглинков, преимущественно плотные; **aℓil-ds** – пески мелкие плотные, с прослоями суглинков; **J₂** – глины тонкослоистые твердые

- детальное выделение в массиве изученных грунтов ИГЭ с использованием данных зондирования;
- создание инженерно-геологических моделей основания, в том числе предварительной геомеханической модели (с генерализованными ИГЭ);
- составление совместно с проектировщиками-геотехниками геомеханических моделей для разных вариантов заглубления зданий/сооружений и альтернативных типов фундаментов.

4. В докладе подчеркивается, что предлагаемая оптимизация методологии изысканий и построения инженерно-геологических моделей оснований строительных объектов полностью отвечает приоритетно-значимым в XXI веке задачам инженерной геологии – усиления инженерных аспектов и развития инженерно-геологических технологий [11].

В нормативные документы по инженерно-геологическим изысканиям и проектированию оснований и фундаментов зданий и сооружений целесообразно внести требование об обязательности использования зондирования с учетом рекомендованной в докладе методологии.

Литература

1. Дудлер И.В., Дуранте В.А., Смирнов С.Д. Опыт применения ударного зондирования для исследования грунтов в энергетическом строительстве СССР. – М.: Информэнерго, 1968.
2. Дудлер И.В. Комплексные исследования грунтов полевыми методами. – М.: Стройиздат, 1979.
3. Дудлер И.В., Хайме Н.М., Лярский С.П. Методология инженерных изысканий для особо опасных, технически сложных и уникальных объектов // Геозкология. – 2013. – № 2. – С. 115-129.
4. Грязнов Т.А. Оценка показателей свойств пород полевыми методами. – М.: Недра, 1984.
5. Лободенко В. Г. Опыт применения динамического зондирования при инженерно-геологических изысканиях в Белоруссии // Материалы II науч. конф. молодых геологов Белоруссии. – Мн., 1968.
6. Лободенко В. Г. Определение модуля деформации моренных грунтов по сопротивлению статическому зондированию // Гидрогеологические и инженерно-геологические условия Белоруссии. – Мн., 1978 (БелНИГРИ).
7. Лободенко В. Г., Лярский С. П. О сжимаемости моренных грунтов Белоруссии // Прибалтийская геотехника VI. Тезисы шестой Прибалтийско-Белорусской конф. по геотехнике. – Таллин, 1986.
8. Строительные нормы Республики Беларусь. СНБ 1.02.01-96. Инженерные изыскания для строительства (разделы 2, 4) / Минстройархитектуры, 1997.
9. СП 47.13330.2012 Инженерные изыскания для строительства. Основные положения (актуализированный СНиП 11-02-96).
10. Ферронский В.И., Грязнов Т.А. Пенетрационный каротаж. – М.: Недра, 1979.
11. Doudler I.V., Vorontsov E.A., Liarski S.P. Engineering geology priorities in the XXI century/International Symposium & 9th Asian Regional Conference of IAEG “Global View of Engineering Geology and the Environment”, Report Collection, Beijing, 2013, p.p. 575-580.
12. Lobonenko V., Bousel I., New standard for site investigation in the Republic of Belarus // Proceedings of the Eighth Baltic Geotechnical Conference “Baltic Geotechnics’95”. Balkema, Rotterdam. 1995. P. 21-22.

ОСНОВЫ КОНЦЕПЦИИ ГЕОДИНАМИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ОСОБО ОТВЕТСТВЕННЫХ СООРУЖЕНИЙ

В.М. Макеев^{*}, Н.В. Макарова^{}, А.Л. Дорожко^{*}, Н.В. Суханова^{**},
И.В. Коробова^{*}, Е.А. Карфидова^{*}, В.Н. Леденев^{***}**

^{*} Институт геоэкологии РАН, 101000, Москва, Уланский пер. д. 13, стр. 2.

E-mail: vmakeev@mail.ru

^{**} Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, 119991, Москва, ГСП-1,

Ленинские горы, МГУ, д. 1. E-mail: makarovnat@yandex.ru

^{***} ОАО «Атомэнергoproject», 603006, Нижний Новгород, пл. Свободы, д. 3.

E-mail: niaer@niaer.ru

Развитие высокоточных уникальных технологий производства энергии (крупные тепловые и атомные электростанции, гидроузлы, плотины и т.д.) и строительство других инженерных объектов приводит к ужесточению требований к оценке геодинамической безопасности территорий размещения этих объектов, как на равнинах, так и в горах. В этой связи чрезвычайная опасность аварии на экологически опасных объектах обуславливает необходимость обеспечения высокого уровня надежности их существования.

Наиболее сложными являются проблемы выявления активных новейших разломов в орогенах и геодинамически активных зон (ГдАЗ) на платформах и оценка их опасности относительно сроков службы особо ответственного сооружения. Активные структуры и закономерно связанные с ними опасные эндогенные и экзогенные процессы, локализующиеся в разнородных вещественно-структурных условиях, способны нарушить устойчивость массивов горных пород, служащих основанием ответственных объектов.

Главным принципом, на котором строится исследование независимо от масштаба работ и геологического строения района, является признание существования геодинамических систем разного ранга, возраста и происхождения [1]. В связи с этим используется комплекс *сопряженных* методов, нацеленных на изучение древних (донеотектонических) вещественно-структурных условий и их влияния на формирование неотектонических структур, включая активные, в разной степени использующих или отражающих эти условия.

Опыт исследований территорий размещения атомных станций Госкорпорации «Росатом» в платформенных условиях позволил сформулировать основные концептуальные положения обеспечения геодинамической безопасности атомных станций, позволяющие реально оценить устойчивость территорий, на которых они размещены.

Согласно концепции, проводимые исследования группируются в три блока: 1) геологический (вещественно-структурный), 2) структурно-геоморфологический (неотектонический) и 3) структурно-геодинамический. Исследования выполняются на основе ГИС-технологий, включающих данные цифровой картографии и лидарные космоснимки высокого разрешения, кото-

рые, как правило, являются актуализированными и высокоточными, что очень важно для работ, проводимых в равнинных условиях. Структурно-геодинамические исследования проводятся сопряженно с геофизическими, сейсмологическими, инженерно-геологическими, геодезическими и др. исследованиями, с использованием данных бурения, необходимых для обоснования и оценки выделенных активных зон разными методами.

1. Геологический блок работ направлен на выявление и анализ закономерностей строения древних неоднородностей фундамента и перекрывающих его пород чехла на основе априорной информации. Он включает специальные полевые исследования деформаций пород, в т.ч. изучение трещиноватости и разрывов.

Поскольку строение древнего субстрата влияет на процессы формирования неотектонических форм, включая локализацию опасных ГдАЗ, исследование проводится на региональном и локальном уровнях.

Региональные исследования геологического строения выполняется с целью исследований структуры и вещественного состава пород кристаллического фундамента и платформенного чехла. Это необходимо для оценки положения исследуемого района в общей структуре.

Локальные исследования нацелены на оценку *дизъюнктивных* (разрывов, зон повышенной трещиноватости) и *пликативных форм* (поднятий, прогибов, флексур, структурных носов и заливов) и резких *литолого-фациальных границ* фундамента и чехла. В исследование входит структурный анализ погребенных опорных горизонтов чехла, образованных в разные тектоно-магматические циклы: байкальский, каледонский и герцинский. Обязательному рассмотрению подлежит поверхность кристаллического фундамента.

Древние структуры, образованные в прошлые циклы тектоно-магматической активизации, рассматриваются как «отмершие» неоднородности, поскольку они отражают напряженность прежних (древних) тектонических эпох. Несмотря на то, что эти неоднородности являются отмершими, в современных геодинамических условиях они специфически реагируют на неотектонические напряжения, что выражается в преобразовании этих напряжений и трансформации вверх по разрезу к поверхности. В подобных условиях образуются ГдАЗ, активность которых подтверждается геофизическими, геохимическими, в т.ч. и радиометрическими исследованиями.

2. Структурно-геоморфологический (неотектонический) блок работ включает *выделение* основных разноранговых неотектонических структур и оценку их положения в региональной неотектонической структуре, *изучение* морфологии структур, степени согласованности с древними структурами, *изучение* новейших, в том числе четвертичных отложений, *анализ* деформаций маркирующих уровней (эрозионно-денудационных поверхностей, террас, подошвы новейших, в том числе четвертичных отложений), *картографирование* линеаментов, *расчет* амплитуд неотектонических (суммарных) и современных (голоценовых) деформаций, *определение* поэтапных скоростей движений, *исследование* различных индикаторов проявления современных тектонических движений (экзогенных процессов, геохимических аномалий

и др.). Часть из указанных исследований проводится в более детальном масштабе непосредственно на площадках, предназначенных для строительства объектов. Неотектонические деформации и вещественно-структурные неоднородности погребенного или выходящего на поверхность основания являются первостепенными факторами, влияющими на напряженное состояние массивов горных пород и особенности пространственных и временных вариаций этого состояния.

3. Структурно-геодинамический блок включает определение условий образования неотектонических форм и тенденций их развития на основе результатов исследований, полученных на первом и втором блоках работ.

Исследования направлены на определение пространственного распределения *главных осей неотектонических напряжений* и, по возможности, для позднеплейстоцен-голоценовой стадии, как максимально приближенной к срокам службы сооружения. В основу исследований положен анализ морфологии структур, трещиноватости слагаемых их пород, систем линеаментов и другие показатели проявления неотектонических движений с учетом влияния древних погребенных структур.

Линеаменты отражают планетарную трещиноватость, ориентировка которой подчинена действующим тектоническим напряжениям. Линеаменты типизируются по рангу, морфологии, глубине заложения и ориентировке. Будучи неизменными элементами структуры любых территорий, они используются при определении неотектонических напряжений.

Для выявления зон (участков) аномального напряжённого состояния и его дискретного распределения оценивается степень соответствия новейших и древних структур. Она рассматривается с позиции пространственно-временных закономерностей унаследованности молодыми структурами более древних. ГдАЗ отражают эту аномальную напряженность.

Несколько иного типа ГдАЗ образуются в связи с субгоризонтальной расслоенностью (дислоцированностью) древних структур с глубиной по причине их различного залегания. На основании исследования опорных горизонтов осадочного чехла выявляются очаги (зоны) наибольшего их рассогласования относительно друг друга по простиранию и падению (азимутальная и угловая несогласованность). В очагах дисгармоничные по структурному и вещественному признаку слои по-разному реагируют на неотектонические напряжения, что выражается в формировании аномальных по напряженности и дислокациям очагов. В них устанавливается пониженная устойчивость пород и повышенная дислоцированность и водно-флюидная проницаемость. Очаги (участки) субгоризонтального рассогласования выявляются на основании сейсмологического мониторинга, поскольку являются источниками сейсмических шумов.

Результатом исследований является качественная и количественная оценка геодинамических условий рассматриваемой территории. Количественная оценка предполагает получение амплитуд, скоростей и градиентов современных деформаций, максимально приближенных к срокам службы экологически опасных объектов.

Подобный комплекс исследований применялся в ряде районов, различающихся по геологическому строению, по полноте образования комплекса новейших отложений, в т.ч. покровных ледниковых или лессовых отложений, и геодинамическим условиям образования новейших структур [1-8]. Данный подход к оценке безопасности территорий иллюстрируется на примере Нижнеокского региона, расположенного в северо-западной части Приволжского поднятия Восточно-Европейской платформы.

1) В рамках работ первого блока выполнен трехмерный (объемный) анализ геологического строения рассматриваемой территории на региональном и локальном (крупном масштабе до 1:10 000) уровнях.

На региональном уровне выявление и оценка древних погребенных структур произведена на основании анализа ряда опорных горизонтов: поверхности кристаллического фундамента, кровли кыновского и саргаевского горизонтов верхнего девона, верейского горизонта среднего карбона, артинского яруса нижней перми и др. Существующие по ним протяженные пологие изгибные структуры, частично наследуются неотектоническими деформациями. Основными несогласиями являются поверхность кристаллического фундамента, наклоненная к северу, и палеозойско-мезозойский цоколь (доновейший пенеплен), слабо наклоненный к югу. Возможно, что азимутальное и вещественное рассогласование древних структур явилось причиной для образования асимметричных неотектонических структур в связи с их тектоно-гравитационным смещением по наклоненной поверхности фундамента.

На локальном уровне структурное рассогласование установлено на границе нижней (ассельского и сакмарского ярусов) и средней (уржумского яруса) перми. Граница отвечает континентальному перерыву осадконакопления, длившемуся в течение нескольких веков. Это привело к интенсивному развитию карста с образованием крупных воронок. В последующее время образование карста возобновилось в связи с формированием предновейшего мезозой-раннекайнозойского пенеплена и затем продолжилось в четвертичное время.

Герцинские структуры, выраженные по подошве отложений уржумского (татарского) яруса средней перми, в целом наследуются неотектоническими структурами. Однако оси последних несколько смещены от осей герцинских структур в ту или другую сторону, что может являться причиной появления субгоризонтальных очагов (участков) аномальной напряженности.

2) Структурно-геоморфологическими (неотектоническими) исследованиями установлена деформация пенеплена в миоцен-плиоценовое время с образованием крупных новейших пологих поднятий и прогибов субширотного простирания, имеющих асимметричное строение. Они, в свою очередь, состоят из локальных структур разного знака движений и морфологии. В свою очередь последние влияют на деформацию самых молодых форм рельефа (русел, пойм) и фаций голоценовых отложений. Выявленная стадийность формирования новейших структур позволила определить амплитуды и скорости неотектонических движений за отдельные стадии, в т.ч. за позднплейстоцен-голоценовую.

Рост поднятий на протяжении среднего, позднего плейстоцена и в голоцене сопровождался углублением эрозионных врезов, развитием трещин в отложениях, отраженных отдельными линеаментами и линеаментными зонами. Существование и активность некоторых из них подтверждена геофизическими данными и радоновыми аномалиями. Эти процессы являются причиной активизации в настоящее время суффозионно-карстовых процессов, особенно на низких поверхностях террас, пойм, в тальвегах оврагов, а также многочисленных оползней на склонах долин.

3) Структурно-геодинамические исследования показали, что субширотные неотектонические структуры Токмовского поднятия несогласно сочленяются с субмеридиональными неотектоническими структурами Окско-Донского прогиба. Граница сочленения этих структур отвечает Нижнеокской ГдАЗ. С ней связывается активизация комплекса экзогенных процессов, в том числе опасных (оползней и карста). При этом субширотные структуры формируются в условиях субмеридионального сжатия, исходящего с юга со стороны развивающегося Токмовского поднятия. Субмеридиональные структуры образуются в условиях растяжения, одним из источников которого являются внутренние силы, порождаемые глубинными внутриплатформенными тектоно-магматическими процессами.

Таким образом, концепция геодинамической безопасности территорий строительства инженерных (особо ответственных, уникальных) объектов основана на представлениях об непрерывно изменяющихся геологических условиях на протяжении длительного времени под влиянием различных геодинамических условий, включая современные, и на применении сопряженных и современных методов оценки этих изменений.

Литература

1. Макаров В.И. Новейшая тектоника и рельеф Восточно-Европейской платформы // Глубинное строение и геодинамические процессы в литосфере Восточно-Европейской платформы. – Екатеринбург: УрО РАН, 2003. – С. 145-202.
2. Макарова Н.В., Макеев В.М., Суханова Т.В., Микляев П.С., Дорожко А.Л., Коробова И.В. Новейшая тектоника и геодинамика Нижнеокского района // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 4. Геология. – 2012. – № 4. – С. 3-11.
3. Макарова Н.В., Макеев В.М., Матвеев А.В., Суханова Т.В., Санько А.Ф., Дорожко А.Л., Коробова И.В., Зерницкая В.П. Четвертичные отложения и структурно-геоморфологическая характеристика Свирско-Ошмянской территории Беларуси // Пробл. регион. геологии и поисков полез. ископ.: Мат-лы VII Универ. геол. чтений. – Минск: Изд. Центр БГУ, 2013. – С. 92-94.
4. Макеев В.М., Карфидова Е.А., Микляев П.С., Авхимович А.Н., Дорожко А.Л., Коробова И.В. Метод изучения азимутального несогласия разновозрастных и разноточных горизонтов осадочного чехла при геодинамических исследованиях // Пробл. регион. геологии и поисков полез. ископ.: Мат-лы VII Универ. геол. чтений. – Минск: Изд. центр БГУ. 2013. – С. 18-20.
5. Макеев В.М., Суханова Т.В., Дорожко А.Л., Коробова И.В., Карабанов А.К., Комаровский М.Е., Полеводова С.Н. Структурно-геодинамическая зональность запада Восточно-Европейской платформы // Пробл. регион. геологии и поисков полез. ископ.: Мат-лы VII Универ. геол. чтений. – Минск: Изд. Центр БГУ, 2013. – С. 20-22.

6. Микляев П.С., Makeev В.М., Петрова Т.Б., Беляшов А.В., Плоскин С.М., Захаров А.А. Опыт индикации геодинамически активных зон эманационным методом // Проб. регион. геологии и поисков полез. ископ.: Мат-лы VII Универ. геол. чтений. – Минск: Изд. центр БГУ, 2013. – С. 31-33.

7. Dorozhko A. L., Makeev V. M. Large-scale Structural and Geodynamic Mapping of Platform Territories on the Example of Moscow. Journal of Earth Science and Engineering, USA. 2013. №4.

8. Makeev V.M., Makarova N.V., Sukhanova T.V., Korobova I.V., Dorozhko A.L., Karfidova E.A., Ledenev V.N. Structural-geomorphological and geodynamics conditions of Svirsko-Oshmansk region of Belarus // Springer, IAEG XII Congress, Torino, 2014. Italy.

О КОНЦЕПЦИИ БАЗЫ ЗНАНИЙ В ФОНДАХ ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ

О.К. Миронов

Институт геоэкологии им. Е.М.Сергеева РАН, Москва, 101000, Уланский пер. 13 а/я 145
E-mail: geoinf@geoenv.ru

Все организации, по роду своей деятельности связанные с геологической информацией, должны использовать в своей деятельности ранее собранные первичные или обобщенные геологические данные из собственных или внешних хранилищ информации (геологических фондов). Сферы деятельности организаций могут быть самыми разнообразными: фундаментальные научные исследования, проведение геологических изысканий для решения практических задач, проектирование, территориальное планирование, природоохранная деятельность, мониторинг природных явлений и др. По отношению к фондам организации могут занимать активную (передать информацию в фонд) и пассивную (только потребление информации) позицию.

Основные причины обращения к фондам состоят в следующем:

- меньшая стоимость использования ранее полученной информации по сравнению с непосредственным проведением изысканий;
- огромный объем ранее собранной информации;
- необходимость использования информации в новом, не планировавшемся заранее, аспекте.

В соответствии с общими принципами организации баз данных основная причина создания и использования геологических фондов – уверенность в том, что один раз полученная информация будет неоднократно использована впоследствии, при этом заранее неизвестно, каким образом.

Большинство работ по информатизации работы геологических фондов посвящено методам и технологиям сбора, хранения и предоставления информации конечному пользователю. В этой работе рассматриваются проблемы содержательной обработки информации, хранящейся в фонде, безотноси-

тельно организационных и технологических проблем общения с поставщиками и потребителями информации.

Внедрение компьютерных технологий вызвало к жизни следующие новые тенденции в работе геологических фондов.

1. Переход от аналоговой к цифровой форме хранения информации. Под аналоговой формой понимается хранение бумажных и иных материалов (аэро-космоснимков и т.п.) или их отсканированных копий, архивов фотоматериалов и т.п. С точки зрения использования аналоговых документов единственным способом их применения может быть только рассмотрение (чтение) человеком, ручная выборка информации и т. п. Для обработки этой информации посредством компьютерных технологий требуется трудоемкая работа по ее преобразованию в цифровой формат.

Данные в цифровом формате (таблицы данных, тематические слои карт в форматах геоинформационных систем, преобразованные к известной координатной системе, данные дистанционного зондирования и др.) могут непосредственно использоваться в компьютерных технологиях.

2. Повышение требований к цифровой информации по сравнению с аналоговой, вытекающее из необходимости ее формализованной обработки. Для проведения исследований и содержательных проверок цифровые данные должны не только обеспечивать визуальную воспроизводимость документа, но и подчиняться определенным формальным правилам.

3. Необходимость ведения метаданных (данных о данных). Пробразом метаданных служит библиотечная картотека. Метаданные содержат сведения об источниках данных, авторских и других правах доступа к данным (в том числе о секретности), сведения, необходимые для корректного использования цифровых данных (картографическая проекция и система координат для пространственно привязанных данных, форматы файлов и таблиц базы данных и др.). О необходимости расширения понятия метаданных будет сказано ниже.

4. Облегчение обновления и более частое обновление данных. Геология развивается в условиях катастрофической нехватки первичного материала. Применение компьютерных технологий облегчает получение и передачу новой информации в геологический фонд, а также обновление производной информации при изменении первичных данных.

5. Накопление разнородной связанной информации. В геологические фонды поступают результаты исследований, проводимых с различными целями, но зачастую содержащие общую информацию. Например, гидрогеологические и геофизические исследования могут опираться на одни и те же общегеологические данные и давать новые дополнительные данные для смежных областей. В фондах также могут храниться формально одинаковые результаты исследований, отражающие точку зрения различных коллективов авторов, например, составленные в разное время геологические карты.

6. Увеличение объемов исследований, проводимых в камеральных условиях и накопление полученных в их результате производных данных. Например, на основе данных полевых исследований, фондовых данных, различ-

ных карт геологического содержания, данных дистанционного зондирования могут проводиться фундаментальные исследования, результатом которых может быть новая информация, подлежащая включению в фонд, создаваться карты развития опасных природных процессов, природных и природно-техногенных рисков, разнообразного районирования для задач территориального планирования.

Перечисленные тенденции показывают, что для эффективного функционирования и удовлетворительного информационного обслуживания пользователей геологический фонд должен быть не просто огромной библиотекой, обеспечивающей информационный поиск, но и системой содержательной обработки информации.

В этой статье рассматриваются две задачи, связанные с деятельностью геологического фонда: обеспечение достоверности информации и обеспечение обновления производных данных, в частности, синтетических карт.

В кибернетике интересующие нас процедуры относятся к так называемой индустрии баз знаний. Базы знаний здесь понимаются не как базы данных, в которых содержатся знания из какой-либо предметной области, а как базы данных о правилах и алгоритмах, которые могут применяться к существующей базе данных (в нашем случае – геологическому фонду) в автоматическом режиме для решения специальных задач. Термин впервые появился в экспертных системах, где знания были формализацией знаний экспертов о логических связях между различными данными. Знания в этом контексте использовались в системах логического вывода для принятия решений и последующего его обоснования.

С общенаучной точки зрения создание и использование баз знаний является метасистемным переходом в смысле В.Ф. Турчина [4]. Когда системы управления базами данных достигают в своем развитии некоторого порога сложности, возникает необходимость в создании нового уровня иерархии – системы, которая будет ими управлять. Базы знаний представляют собой информационное обеспечение этого нового уровня.

Основное отличие баз знаний в нашем понимании от «базы данных знаний» состоит в способе их использования. Данные из базы знаний о предметной области используются для получения результатов о внешнем по отношению к базе данных мире, в то время, как кибернетическая база знаний используется для обработки информации самой базы данных и управления ею.

Для достоверности данных необходимым условием является их непротиворечивость. В практике работы геологических фондов непротиворечивость означает согласованность данных, содержащихся в разных источниках. Обеспечить такую согласованность могут только компьютерные проверки, выполняемые в автоматическом режиме.

База знаний о согласовании данных должна состоять из требований трех уровней:

1. Общие (не зависящие от объекта) требования на уровне одного документа (единицы хранения) – формат документа и требования к согласованности его частей между собой. В качестве примера можно указать требования

к топологической корректности тематических слоев цифровых карт и соответствию текстовых описаний грунтов данным опробований. Форматы хранения одинаковых данных в различных базах данных должны быть совместимы между собой, например, как различные структуры таблиц в реляционных базах данных.

2. Общие (не зависящие от объекта) требования по согласованию различных документов (единиц хранения) включают содержательные требования по их согласованию, например, разных карт на одну и ту же территорию, данных карт и первичных изысканий.

3. Специальные (местные) требования описывают особенности геологического строения данной территории и включают правила, которым должны удовлетворять данные этой территории.

Отдельное внимание следует уделить формализации типичной для геологии проблемы согласования разномасштабных данных на одну территорию.

Выявленные расхождения уже хранящихся в фонде документов между собой или с новыми данными должны быть зафиксированы и представлены экспертам для анализа. В результате решения эксперта некоторые данные могут быть признаны недостоверными, а некоторые противоречия – признаны существующими и оставлены в базе данных до проведения новых детальных исследований. Сведения о наличии нескольких противоречивых вариантов ответов на один запрос должны выдаваться потребителю. Представляется разумным хранение в фонде информации, отражающей различные точки зрения, например, геологические и другие карты, составленные различными авторами. В Санкт-Петербургской базе данных геологической информации предусмотрено хранение противоречащих друг другу результатов интерпретации первичных данных разными экспертами [1].

Для новых документов, поступающих в фонд, могут быть предусмотрены специальные процедуры проверки и согласования, основанные на базе знаний.

Другим типом знаний, которые должны храниться в фонде, являются процедуры и алгоритмы получения синтетических карт. Для получения синтетических карт используется сравнительно небольшое число алгоритмов ГИС-анализа, применение которых может быть формализовано и запомнено в базе знаний. Такая формализация, во-первых, позволяет четко описать и представить для анализа и критики сам алгоритм составления синтетической карты, во-вторых, проводить обновления синтетических карт после изменения или дополнения исходной информации.

В практике крупномасштабного геологического картографирования г. Москвы [2,3] описанный подход реализован в виде специальных программ, использование которых включено в процедуры обработки информации при ведении фонда исходной изыскательской информации, составлении и обновлении геологических и синтетических карт. Следующим шагом должна стать разработка языка описания знаний и программная реализация преобразова-

ния его в вычислительные процедуры с тем, чтобы исключить специальное программирование для использования баз знаний.

Литература

1. Богданов А.С., Козлов М.И., Лехов А.В., Ломакин Е.А., Нагорный С.Я., Румынин В.Г., Смоленцев В.Г. Технология экспертного картирования подземного пространства – инструмент его эффективного изучения и нормативного использования. Тезисы межрегиональной научно-практической конференции «Обеспечение безопасности при использовании современных технологий строительства подземных сооружений в сложных условиях городской застройки. – С.-Петербург: ЛЕННИИПРОЕКТ, 2008. – С. 115-122.
2. Миронов О.К. Геоинформационные технологии для составления крупномасштабных геологических карт территории Москвы // Геоэкология. – 2011. – №3. – С. 200-216.
3. Миронов О.К., Викторов А.А., Фесель К.И. О проблемах ведения баз данных фондовой информации // Геоэкология. – 2011. – №5. – С. 455-464.
4. Турчин В.Ф. Феномен науки. – М.: ЭСТ, 2000. – 368 с.

ОЦЕНИВАНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ НА ОСНОВЕ ОБОБЩЕННОЙ ФУНКЦИИ ЖЕЛАТЕЛЬНОСТИ ХАРРИНГТОНА

А.Ю. Опекунов, М.Г. Опекунова, С.Ю. Кукушкин

Санкт-Петербургский государственный университет, СПб, 10 линия ВО, д. 33/35.
E-mail: a_opekunov@mail.ru

Геоэкологические исследования в системе недропользования направлены на снижение уровня воздействия и контроль текущего состояния окружающей среды. Они включают инженерно-экологические изыскания, оценку фоновых (исходного) состояния среды, экологический мониторинг и др. Все эти виды работ объединены общей методологией – комплексным подходом, выражающимся в покомпонентном изучении (контроле) окружающей среды.

Такой подход широко используется при выполнении производственного мониторинга, в обязательном порядке сопровождающем освоение месторождения и его эксплуатацию. Опыт проведения мониторинга на лицензионных участках нефтегазоконденсатных месторождений (НГКМ) ЯНАО показал, что в тундре и лесотундре первоочередными объектами изучения уровня химического загрязнения служат природные воды, донные осадки, почвы и растения [1].

При обработке данных мониторинга констатируется уровень загрязнения отдельно каждого из изучаемых компонентов окружающей среды. Для этого используются различные критерии: ПДК в природных водах, ОДК или фоновые содержания в почве, фоновые содержания или кларк в донных осад-

ках и растениях. Применяются интегральные показатели для отдельных компонентов: комбинаторный индекс загрязнения воды, суммарные показатели загрязнения почв и донных осадков и др. Наиболее неоднозначной является общая оценка состояния окружающей среды, которая дается обычно на качественном уровне. Никаких обобщающих показателей (коэффициентов, индексов и т.д.), отражающих уровень химического загрязнения сразу всех изучаемых сред, не существует. И это – одна из проблем итоговой оценки состояния окружающей среды.

Для упрощения процедуры сравнения содержания химических веществ в разных компонентах и оценки уровня загрязнения окружающей среды в целом можно применить функцию желательности Е. С. Харрингтона. Ее успешно используют в технике [5], химии [2], экологии [3] и других отраслях знаний. Функция отвечает реальным решениям экспериментаторов в плане желательности характеристик объекта и обладает непрерывностью, монотонностью и гладкостью, т.е. свойствами, необходимыми для сверстки разнородной информации. Она может быть использована не только при решении оптимизационных задач, но и при оценке качества объекта.

Отмечается, что при решении оптимизационных задач функция позволяет в какой-то степени моделировать процесс согласованного поведения отдельных подсистем единого целого, учитывать связи и воздействия при выборе оптимального варианта из совокупности существующих вариантов. Природная среда – это, в первую очередь, система, а ее компоненты – подсистемы. Таким образом, свойства функции желательности позволяют использовать ее для многокритериальной оценки состояния окружающей среды при выполнении мониторинга, оценки фоновое состояния района и проведении других геоэкологических исследований. При этом задача не обязательно сводится к оценке только химического загрязнения. Здесь могут быть применены и другие показатели, например степень нарушенности территории.

В зависимости от «качества» показателя устанавливаются односторонние или двусторонние ограничения. В данном случае улучшение общей характеристики происходит только при однонаправленном изменении показателя, и ограничение носит односторонний характер. Линия графика задается уравнением: $d = \exp[-\exp(-y)]$, которое определяет функцию с двумя участками насыщения ($d \rightarrow 0$ и $d \rightarrow 1$) и линейным участком (от $d=0,2$ до $d=0,8$). Ось абсцисс называется шкалой частных показателей (y), ось ординат соответствует шкале желательности d . Промежуток эффективных значений по шкале частных показателей находится в диапазоне от -2 до +5. Назначение шкалы желательности – установление соответствия между полученными значениями показателей свойств и оценками желательности того или иного показателя для системы. Принято деление шкалы желательности на пять категорий: $[0;0,2]$ – очень плохо, $[0,2;0,37]$ – плохо, $[0,37;0,63]$ – удовлетворительно, $[0,63;0,8]$ – хорошо, $[0,8;1,0]$ – очень хорошо. Такой выбор значений объясняется удобством вычислений, т.к. $d=0,63 \approx 1-1/e$, а $d=0,37 \approx 1/e$ [2].

Для построения обобщенной функции желательности D необходимо преобразовать измеренные значения критериев y в безразмерную шкалу d . Для этого необходимо значения y первоначально перевести в безразмерные критерии y' по шкале абсцисс. Для этого могут быть использованы линейные и нелинейные преобразования [2]. В данном случае целесообразно провести регрессионный анализ зависимости y и y' . Установив ее, можно преобразовать все измеренные параметры в шкалу желательности.

Последним шагом является определение обобщенной функции желательности, которая получается через сверстку частных значений функции желательности d_i . Она может осуществляться в среднюю геометрическую величину, которая сглаживает возникшие отклонения. В случае отсутствия весовых коэффициентов это будет:

$$D_G = \sqrt[q]{\prod_{i=1}^q d_i} \quad (1)$$

Если мы устанавливаем весовые коэффициенты по значению показателей, то тогда обобщенная функция желательности рассчитывается через

$$D_G = \prod_{1 \leq i \leq q} d_i^{\alpha_i} \quad (2)$$

где α_i – весовые критерии, учитывающие значимость частных критериев. При

этом обязательное условие: $\sum_{i=1}^q \alpha_i = 1$ [2].

При использовании предлагаемого подхода к оценке загрязнения компонентов окружающей среды необходимо установить зависимость значения измеренного y с безразмерной величиной y' на шкале абсцисс. Т.к. содержания химических ингредиентов измеряются в разных средах, они имеют разные значения, а при использовании других показателей и разные единицы измерения. Поэтому применяются не абсолютные, а нормированные значения, т.е. отношение содержания к норме. Как отмечалось выше, в качестве нормы могут выступать ПДК, ОДК, региональные фоновые содержания или кларки. Предлагается принять следующую качественную оценку нормированных значений в категориях функции желательности. Для ПДК (ОДК): очень хорошо – менее 0,5 ПДК (ОДК), 0,5-0,9 – хорошо, 0,9-5,0 – удовлетворительно, 5,0-10 – плохо, более 10 – очень плохо. На оси абсцисс это будет соответствовать значениям: 0,5 – 1,5; 0,9 – 0,8; 5 – 0; 10 – -0,5. Для фона оценка будет выглядеть иначе: очень хорошо – менее 1,2 величины фона, 1,2-2,0 – хорошо, 2,0-4,0 – удовлетворительно, 4,0-10 – плохо, более 10 – очень плохо, а на оси абсцисс: 1,2 – 1,5; 2,0 – 0,8; 4,0 – 0; 10 – -0,5.

Далее методом аппроксимации устанавливается зависимость между нормированными значениями содержания и величиной y' . Согласно заданным параметрам она подчиняется логарифмическому типу регрессии. Для ПДК (ОДК): $y' = -0,617 \cdot \ln(y) + 0,93$ с достоверностью аппроксимации $R^2=0,973$; для фона: $y' = -0,94 \cdot \ln(y) + 1,523$ с достоверностью $R^2=0,959$.

Предлагаемый подход использован при оценивании результатов мониторинга химического загрязнения природно-территориальных комплексов (ПТК) лицензионного участка Берегового НГКМ, выполненного в 2010 и 2013 гг. Береговое месторождение расположено на территории Пуровского района ЯНАО в 30 км к юго-востоку от пос. Уренгой. Оно было открыто в 1982 году. Сейчас оно представлено 32 газовыми, газоконденсатными, нефтегазоконденсатными и нефтяными залежами с различными по величине запасами. Лицензия на право пользования недрами Берегового участка принадлежит ОАО «Сибнефтегаз». В 2003 г. на территории месторождения закончено строительство первой очереди объектов, проложен газопровод-подключение, соединивший промысел с магистральным газопроводом «Заполярье – Уренгой». В 2007 г. начата промышленная эксплуатация сеноманской газовой залежи.

В 2010 и 2013 гг. на территории лицензионного участка выполнен мониторинг состояния природных вод, донных осадков, почв и растений. Во всех компонентах определялись металлы (Fe, Cr, Ba, Pb, Co, Ni, Cu, Zn, Mn, Cd, V). Везде, кроме растений, устанавливалось содержание нефтяных углеводородов. Кроме того, в воде определялись PO_4^{3-} , NO_3^- , NO_2^- , NH_4^+ , SO_4^{2-} и Cl^- . Мониторинг почвенного покрова проводился по двум горизонтам: верхнему органогенному (О) и нижнему иллювиальному (В). При обработке геохимической информации в качестве критериев для воды поверхностных водных объектов были приняты ПДК в рыбохозяйственных водоемах, для других сред фоновые содержания: в донных осадках – по гранулометрическим типам отложений [4], в почвах – в горизонтах О и В, в растениях – содержания металлов в багульнике *Ledum decumbens* (Ait.) Lodd. ex Steud. (при отсутствии багульника – в лишайнике *Cladonia alpestris* (L.) Rubh.).

Таблица

Средние значения частных и обобщенной функций желательности по результатам мониторинга в 2010 и 2013 годах на Береговом лицензионном участке (в скобках – диапазон значений)

Компонент среды	2010 г.	2013 г.
Вода (d_w)	0,728 (0,497-0,809)	0,804 (0,608-0,886)
Донные осадки (d_d)	0,834 (0,726-0,914)	0,790 (0,659-0,905)
Почвы: горизонт О ($d_{п1}$)	0,754 (0,371-0,926)	0,809 (0,464-0,924)
горизонт В ($d_{п2}$)	0,771 (0,568-0,901)	0,775 (0,599-0,906)
Растения (d_p)	0,783 (0,648-0,856)	0,889 (0,776-0,935)
Обобщенная функция желательности (D)	0,772 (0,654-0,872)	0,825 (0,727-0,901)

При обработке было выполнено две сверстки данных (таблица). На первом этапе сверстка частных значений d_i для химических веществ в каждом из рассматриваемых компонентов выполнялась в соответствии с формулой (1), т.е. как для равнозначных показателей. Получился ряд частных обобщенных показателей желательности для каждого изученного компонента (d_w , d_d ,

d_{n1}, d_{n2}, d_p). На втором этапе сверстка частных обобщенных показателей желательности проводилась по формуле (2) с учетом коэффициентов значимости. Применение коэффициентов вызвано тем, что почва рассматривалась по двум горизонтам. Поэтому при наличии данных по всем изученным компонентам коэффициент значимости (α_i) имел следующие значения: $d_g = 0,25$; $d_d = 0,25$; $d_{n1} = 0,125$; $d_{n2} = 0,125$; $d_p = 0,25$. В результате получена обобщенная функция желательности (D), которая отражает интегральный показатель загрязнения окружающей среды на каждой станции мониторинга.

На основе сравнения результатов мониторинга (см. табл.) можно сделать следующие выводы. Состояние среды по показателям химического загрязнения в 2010 и 2013 гг. характеризовалось значениями функции желательности от хорошего до очень хорошего. За три года уровень загрязнения ПТК лицензионного участка снизился, что объясняется уменьшением воздействия после завершения обустройства и переходу к стадии эксплуатации месторождения. Так, из 33 станций мониторинга только на 4 произошло незначительное ухудшение ситуации, на остальных 29 ситуация улучшилась. Из компонентов ПТК только в донных осадках, степень загрязнения несколько возросла, что объясняется их формированием на самом нижнем уровне элементарного геохимического ландшафта. Наименьшие изменения по результатам мониторинга претерпел химический состав почвенного горизонта В, что отражает его относительную консервативность к химическому загрязнению. При этом необходимо подчеркнуть, что низкий уровень загрязнения ПТК лицензионного участка в целом обусловлен разработкой природного газа, добыча которого существенно «чище», чем эксплуатация нефтяных и газоконденсатных залежей.

Таким образом, предлагаемый метод обработки эколого-геохимической информации на основе функции желательности Е. С. Харрингтона позволяет оценивать через один показатель уровень загрязнения всех изучаемых компонентов ПТК. Это дает возможность надежного сравнения результатов мониторинга и изменения окружающей среды под воздействием хозяйственной деятельности. При проведении фоновой оценки или оценки геоэкологического состояния территории (лицензионного участка и т.д.) данный подход позволяет выполнить комплексное районирование (зонирование) территории по уровню химического загрязнения окружающей среды. Дополнительно к химическому загрязнению можно ввести другие показатели, например уровень нарушенности территории, придав ему соответствующий весовой коэффициент.

Литература

1. Арестова И.Ю., Опекунова М.Г., Опекунов А.Ю., Кукушкин С.Ю. Эколого-геохимическая оценка состояния природной среды в районах нефтегазодобычи. Доклады Межд. научной конф. «Геохимия биосферы», Москва 15-18 ноября 2006 г. – Смоленск: Ойкумена, 2006. – С. 41-42

2. *Ахназарова С.Л., Гордеев Л.С.* Использование функции желательности Харрингтона при решении оптимизационных задач химической технологии: Учеб.-метод. пособие. – М.: РХТУ им. Д.И.Менделеева, 2003. – 76 с.

3. *Зазнобина Н.И.* Оценка экологической обстановки в крупном промышленном центре с помощью обобщенной функции желательности (на примере города Нижнего Новгорода) // Вестник Нижегород. ун-та им. Н.И. Лобачевского. – 2007. – № 2. – С. 115-118.

4. *Опекунов А. Ю., Опекунова М. Г., Кукушкин С. Ю., Ганул А. Г.* Оценка экологического состояния природной среды районов добычи нефти и газа в Ямало-Ненецком автономном округе // Вестн. С.-Петерб. ун-та. Сер. 7. – 2012. – Вып. 4. – С. 87-101.

5. *Пичкалев А.В.* Обобщенная функция желательности Харрингтона для сравнительного анализа технических средств // Исследования наукограда. – 2012. – № 1 (1). – С. 25-28.

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ДЕШИФРИРОВАНИЯ КАРСТОВЫХ ФОРМ РЕЛЬЕФА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ АЭРОФОТОСЪЕМКИ И ЛАЗЕРНОГО СКАНИРОВАНИЯ СВЕРХВЫСОКОГО РАЗРЕШЕНИЯ (НА ПРИМЕРЕ ПЛАТО ЛАГОНАКИ)

Т.В. Орлов, С.А. Садков

Институт геоэкологии им. Е.М. Сергеева РАН, г. Москва, Уланский пер. 13, стр. 2, а/я 145.
tim.orlov@gmail.com, sersadkov@gmail.com

Введение

Выявление и анализ развития карстовых форм рельефа – актуальная задача для Северо-Кавказского региона ([1] и др.). В настоящее время идет активное освоение новых участков Кавказских гор с целью строительства горнолыжных курортов и развития другой туристической активности. Для корректной оценки риска, связанного с карстом, необходимо иметь методический подход, позволяющий на предполевой стадии выявлять территории, подверженные этой опасности.

Цель работы – сравнение двух методов дистанционного выявления карстовых форм рельефа: аэрофотосъемка (0,2 м/пикс) и высотное лазерное сканирование (0,2 м/пикс).

В рамках работы решены следующие задачи:

- 1) выявление пространственного расположения карстовых просадок участка плато Лаго-наки ;
- 2) сравнение информативности и точности различных методов дистанционного зондирования для дешифрирования просадок.

Район исследования

Была изучена часть плато Лаго-Наки (Адыгея), наиболее подверженная карстоопасности площадью 20 км². Изучаемый участок находится на высоте 1300-1500 м н.у.м. на водоразделе рек Курджипс и Мезмай на пологом склоне

крутизной $2,5-3^0$, наклоненном на северо-запад. Участок имеет значительную эрозионную расчлененность, занят широколиственными лесами.

Материалы и методы

В качестве исходных данных использовались аэрофотоснимки разрешением 0,2 м/пикс и данные высотного лазерного сканирования класса «земля». На рис. 1. приведен общий вид участка.

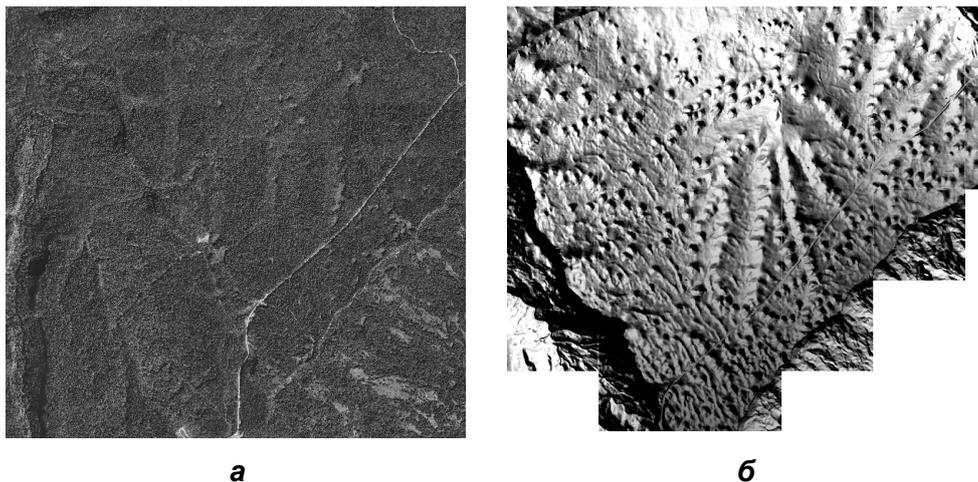


Рис 1. Общий вид изучаемого участка на основе данных:
а – аэрофотосъемки, б – лазерного сканирования

Дешифрирование аэрофотоснимков осуществлялось экспертным методом визуального дешифрирования с использованием эталонов [3,5,8].

Для анализа расположения просадок по изучаемой территории создавалась цифровая модель рельефа (ЦМР) методом крайгинга [2,4,6,7] пространственным разрешением 20 см. При этом использовались только предварительно отфильтрованные данные класса «земля».

Ввиду большого количества выбросов в данных лазерного сканирования, для очистки полученной ЦМР применялось обратное преобразование Фурье, выполненное с помощью программного комплекса ImageJ. Поскольку характерные размеры просадок на рассматриваемой территории составляют первые десятки метров, оптимальным для их выявления было отбросить неоднородности изображения размерами менее 10 м, что позволяет однозначно выделить отдельные просадки (рис. 2).

Положение просадок, их границы просадок и характерные элементы дешифрировались визуально по слоям абсолютной высоты и аспекта простиранья склонов.

Сравнение возможностей выявления просадок по данным лазерного сканирования и аэрофотосъемки для одного и того же участка приведены на рис 3.

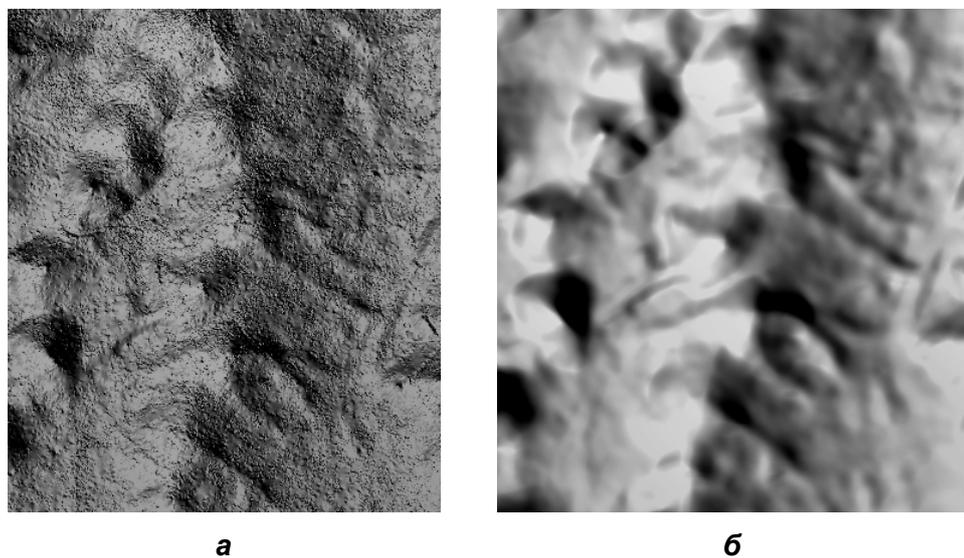


Рис 2. Вид ЦМР до (а) и после (б) преобразования Фурье

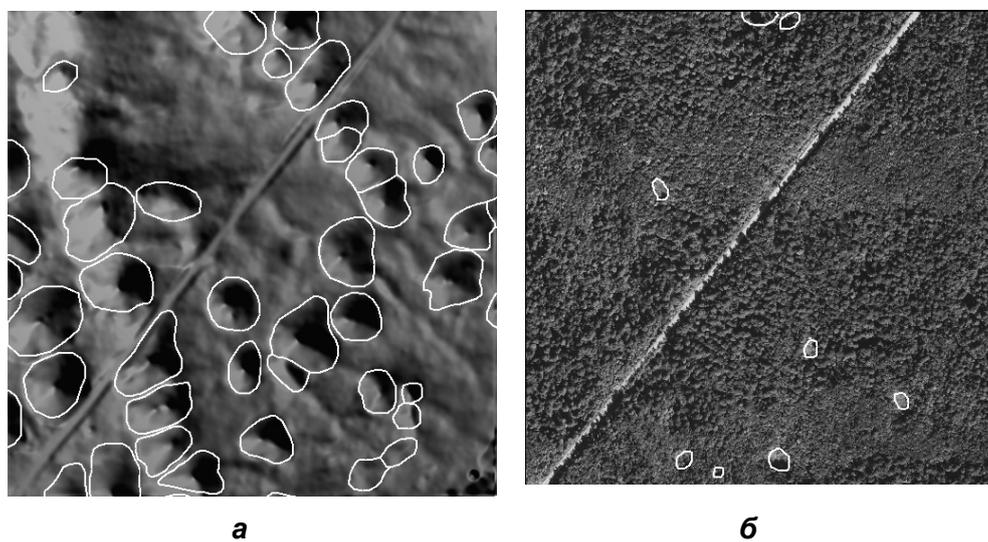


Рис 3. Пример выявления карстовых просадок с помощью лазерного сканирования (а) и аэрофотосъемки (б)

Были получены основные параметры выявленных просадок (табл.)

Таблица

Основные параметры выявленных просадок

Параметры	Аэрофотосъемка	Лазерное сканирование
Количество просадок, шт.	174	621
Минимальная глубина, м	-	2,3
Максимальная глубина, м	-	39,7
Средняя глубина, м	-	7,12
Средняя крутизна стенок, °	-	11,97
Минимальная площадь, м ²	221	726
Максимальная площадь, м ²	33 184	37 973
Средняя площадь, м ²	2 975	8 046
Средний диаметр, м	25,3	48.6
% от максимального количества воронок	28	100
% от площади участка	2,56	24,37
Средний периметр воронки, м	184,8	328,3
Минимальная извилистость границы	2,03	2,02
Максимальная извилистость границы	4,00	2,73
Средний коэффициент извилистости границы	2,22	2,15

На рис. 4. приведен общий вид участка с выделенными карстовыми просадками.

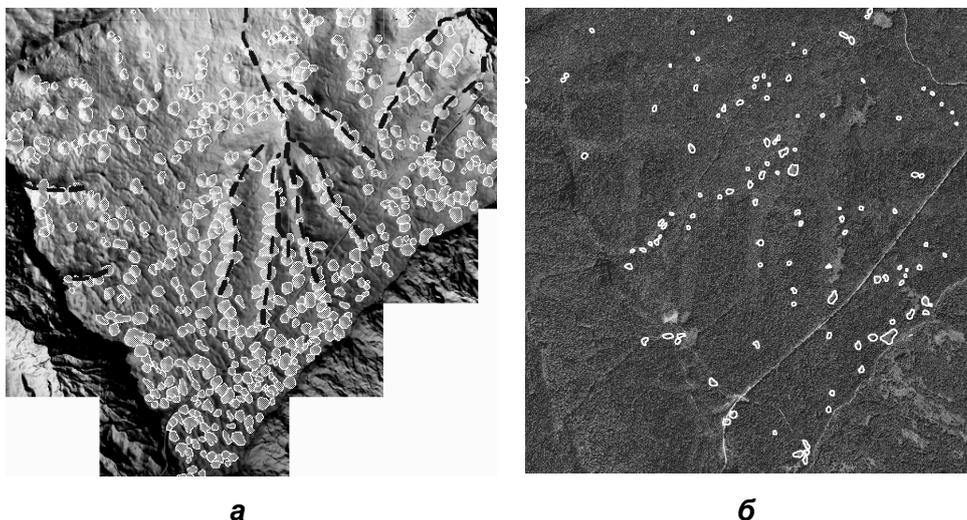


Рис 4. Выявление карстовых просадок с помощью лазерного сканирования (а) и аэрофотосъемки (б)

Были выявлены следующие закономерности расположения карстовых западин (рис. 4):

- выраженная неоднородность: густота расположения просадок и занимаемая ими доля площади плато нарастают с северо-запада на юго-восток, достигая максимума на вершине плато в южно части ключевого участка;
- группировка мелких западин в более крупные;
- расположение западин в средней и нижней частях склона вдоль тальвегов ручьев.

Результаты.

Как видно из таблицы, использование лазерного сканирования для дешифрирования карстовых просадок даже в условиях высокой залесенности территории более оправдано. С помощью лазерного сканирования было выделено заметно большее количество просадок, чем с использованием аэрофотосъемки. Были получены дополнительные характеристики, такие как глубина и крутизна склонов.

При дешифрировании карстовых и других западин по аэро- и космическим снимкам могут быть упущены мелкие просадки, закрытые растительным покровом. Использование данных лазерного сканирования позволяет непосредственно получать высоты с высоким пространственным и высотным разрешением (десятки сантиметров в плане и первые сантиметры по высоте).

Литература

1. *Гвоздецкий Н.А.* Карстовые ландшафты. – М.: Изд-во Моск. ун-та, 1988. – 112 с.
2. *Демьянов В.В., Каневский М.Ф., Савельева Е.А., Тимонин В.А., Чернов С.Ю.* Кригинг и базовые модели геостатистики. – М.: ВИНТИ, 1999. – 13 с.
3. Методическое руководство по инженерно-геологической съемке масштаба 1:200 000 (1:100 000 - 1:500 000). – М.: Недра, 1978. – 391 с. (ВСЕГИНГЕО).
4. *Поротов Г.С.* Математические методы моделирования в геологии. – СПб.: Санкт-Петербургский государственный горный институт, 2006. – 223 с.
5. *Ревзон А.Л.* Методика анализа материалов аэрофотосъемки для оценки современной активности карстовых и оползневых процессов // Геоморфология. – 1975. – № 3. – С. 36-41.
6. *Щеглов В.И.* Математические методы и автоматизированные системы в геологии. Практические методы крайгинга. – М.: ВИЭМС, 1989. – 51 с.
7. *Cressie, N. A. C.* The Origins of Kriging // *Mathematical Geology*. – 1990. – V. 22. – P. 239-252.
8. *Remote Sensing Image Analysis: Including The Spatial Domain.* Edited by S.M. de Jong, F. D. Van Der Meer. Kluwer Academic, 2004. – 359 pp.

СОВРЕМЕННЫЙ ПОДХОД К ОЦЕНКЕ ПРОЧНОСТИ СКАЛЬНЫХ ГРУНТОВ

Л.Л. Панасьян, И.Е. Сас, Л.Г. Булыгина, М.С. Чернов

Геологический факультет МГУ им. М. В. Ломоносова, Ленинские горы, Москва, 119234.

В работе представлены материалы, посвященные идентификации момента разрушения пород с помощью акустической эмиссии (АЭ) и рентгеновской компьютерной микротомографии (μКТ). Сами по себе методы известны достаточно давно [1,5]: АЭ – как метод контроля образования дефектов в основном в металлах и метод наблюдения за возникновением возможных нарушений в горных выработках; μКТ – как метод изучения трехмерного внутреннего строения, не нарушающий целостности объекта. Совместное использование обоих методов при анализе поведения скальных грунтов под нагрузкой в экспериментах по изучению эффектов памяти в породах выполнено впервые.

В качестве аппаратной базы авторами для измерения АЭ использовался прибор СДС 1008 (Россия) и рентгеновский компьютерный микротомограф Yamato TDM-1000 (Япония), полученные в рамках реализации Программы развития МГУ имени М.В.Ломоносова.

В настоящее время явление акустической эмиссии, возникающей при изменении Р-Т условий изучается в горном деле главным образом для оценки дефектности различных материалов, а, следовательно, и деформационных свойств. В инженерной геологии АЭ с середины 80-х годов используется для изучения эффектов памяти (stress memory) в горных породах и их изменении при различных режимах [2-4]. Однако изучение этого свойства сталкивается с очень большими трудностями и неоднозначной интерпретацией результатов исследований, которые связаны с огромной неоднородностью горных пород как по структурно-текстурным особенностям, так и по минеральному составу пород. Вследствие этого акустоэмиссионный сигнал несет в себе множество информации не только об испытанных ранее воздействиях на материал, что и связывают с эффектом памяти, но также и о природном (фоновом) состоянии породы, ее составе и строении, о текущих изменениях, происходящих в процессе воздействия любым полем (электромагнитным, силовым, температурным и др.). Последние работы, выполненные на нашей кафедре [8, 9] показали, что характер АЭ существенно зависит от структурно-текстурных особенностей горных пород, которые с помощью АЭ-метода можно оценить по величине структурно-чувствительного коэффициента [6].

В то же время μКТ является одним из лучших современных методов изучения внутреннего строения горных пород. Принцип работы компьютерного томографа основывается на просвечивании исследуемого объекта сфокусированным пучком рентгеновских лучей. На основе множества проекций,

полученных под разными углами при вращении объекта, проводится реконструкция объемного внутреннего строения объекта. Оттенки серого на μ КТ-изображениях соответствуют относительному рентгеновскому коэффициенту ослабления, который является функцией плотности, атомного номера и энергии рентгеновских лучей. Таким образом, трещинам и пустотам в образце соответствует самый темный тон на μ КТ-изображениях. По результатам объемной реконструкции строения образца можно изучать распространение трещинных пустот в объеме. Минимальный размер фиксируемых структурных элементов определяется разрешающей способностью при съемке. В данном исследовании фиксировались трещины, толщиной более 10 μ км.

В работе [7] приведены результаты (экспериментальных и теоретических) исследований амплитудно-частотных характеристик образцов керамических материалов. Авторы подчеркивают сложность обработки сигналов АЭ даже для таких сравнительно однородных материалов, как керамика. Поэтому до сих пор не существует определенной и однозначной амплитудно-частотной интерпретации АЭ излучения при испытаниях пород на сжатие или при нагревании. Эта задача тем более сложная, что испытания пород проводятся, как правило, при изменяющихся Р-Т условиях, что приводит к одновременным АЭ изменениям, обусловленным влиянием структурно-текстурными особенностями породы и ее минералогическим составом. Так как влияние этих особенностей грунта на характер акустической эмиссии практически не изучен, в настоящей работе была предпринята попытка связать более простые АЭ характеристики с изменениями, происходящими с грунтом при одноосном сжатии. Регистрировались такие параметры АЭ, как суммарный счет АЭ, энергия сигналов АЭ, амплитудно-частотные характеристики.

Известно [1], что повышенная АЭ является предвестником разрушения материала. Однако следует учесть, что АЭ сигнал несет в себе информацию о множестве процессов, которые дополнительно искажают картину АЭ излучения. Например, при интерпретации кривых $AЭ=f(\sigma)$, когда изучается эффект памяти в породах, установленный многочисленными экспериментальными исследованиями по относительно резкому увеличению угла наклона этой кривой, определяют величину запомненного напряжения. Однако этот же эффект характеризует появление признаков разрушения образца, поскольку эмиссию считают предвестником разрушения. Ниже приводятся данные таких наблюдений за stress memory с помощью АЭ соотнесенные с результатами поэтапного отслеживания возникновения магистральных зон трещинообразования и плоскостей разрушения с помощью томографии. Это позволяет установить, в пределах каких нагрузок для разных типов пород можно проводить испытания по изучению эффекта памяти, не путая его с началом разрушения, что особенно важно, если устанавливаются напряжения по образцам, изъятых из массива пород. До настоящего времени принято, что опыты следует проводить при нагрузках в диапазоне 20-75% от прочности пород. Но исследования с участием АЭ и томографии показывают, что этот диапазон для разных типов пород может существенно меняться.

Испытания проводились на кернах природных и искусственных грунтов – базальт, гранит, известняк, туф, бетон, значительно отличающихся по своим физико-механическим свойствам, которые определялись предварительно. Затем образцы с соотношением h/d , равным 2,5-3, одноосно сжимались по длинной оси с одновременной регистрацией АЭ. Нагружение проводилось циклами, в которых породы нагружались с постоянной скоростью. Кривые зависимости акустической эмиссии от напряжения (рис. 1) обрабатывались с целью обнаружения эффекта памяти и его сохранности по истечении различного количества времени. После каждого цикла, образцы грунтов исследовались на томографе с целью выявления появившихся дефектов. АЭ данные (N – количество превышений порогового уровня) обрабатывались по методу скользящего окна и строились зависимости суммарной АЭ от напряжения. Напряжение в определенный момент времени рассчитывалось

по формуле: $\sigma_i = \frac{Vp * t_i}{60c * S}$, где t – время наступления i -го события (c),

S – площадь поперечного сечения образца (cm^2), Vp – скорость нагружения образца ($кг/мин$). Значение суммарной АЭ ($\sum N$) при оценке интенсивности излучения приводилось к единице времени и единице объема. Следует отметить, что в рассматриваемых опытах основное внимание нами уделялось эмиссии, как предвестнице разрушения. В результате нагружения образцов туфа, известняка, бетона, гранита и базальта пока наиболее яркие результаты получены на туфе и известняке, т.к. на мало прочных (ГОСТ 25100-2011) породах сокращаются временные отрезки для повторных нагружений.

При испытании известняка как обычно наблюдается повышенная активность АЭ в I цикле по сравнению со II циклом, в котором даже при приближении к пределу прочности, она ниже первого. При возникновении серьезного дефекта в образце величина $\sum N$ резко возрастает (рис. 1).

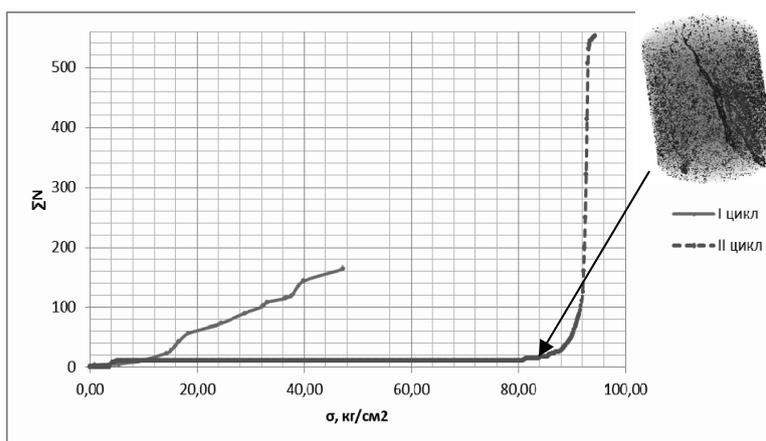


Рис. 1. Зависимость суммарной АЭ от напряжения по результатам двух циклов: для известняка

Характер АЭ в туфе оказался весьма сложным. График $\sum N=f(\sigma)$ для I цикла имеет множество незначительных перегибов, при этом резко меняется наклон при напряжении около 20 кг/см^2 , т.е. наблюдается «выход» из 20% Rc зоны. Во II цикле для изучения возможности проявления stress memoгу в туфах при закономерном снижении активности происходит значительное увеличение АЭ при напряжении около 51 кг/см^2 , что весьма близко к искусственно созданной величине нагрузки первого цикла. $\mu\text{КТ}$ съемка подтвердила наличие в образце магистральной трещины и, следовательно, здесь не возможно изучение эффекта памяти и наступила фактическая потеря прочности породы. Несмотря на то, что визуально образец сохранил сплошность (рис. 2), дальнейшее поведение образца под нагрузкой определяется трением частиц и перемещением по уже сформированной магистральной трещине, что и влечет повышенные значения АЭ. Таким образом, общепринятый рабочий диапазон при изучении эффекта памяти выше) в туфах следует сократить, а собственно разрушение исследуемого образца наступило при 50% от прочности, определенной по ГОСТ.

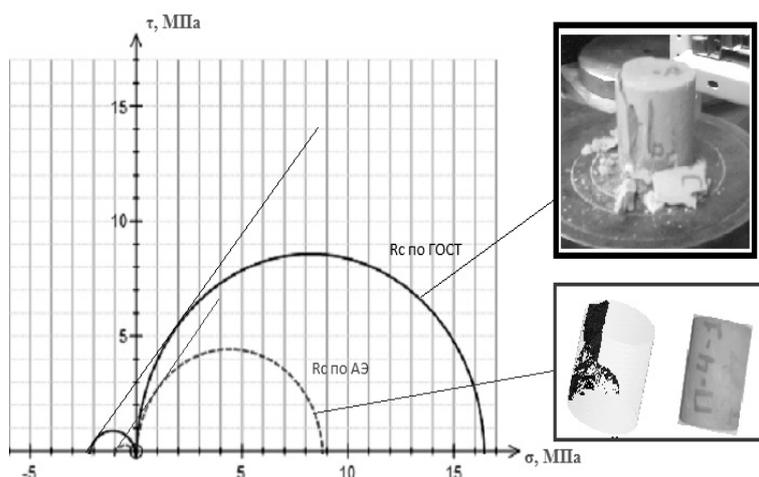


Рис. 2. Сравнительная характеристика Кругов Мора, построенных по ГОСТ и с использованием измерений акустической эмиссии в образце туфа

При нагружении образца бетона визуально была выявлена трещина, появившаяся после II цикла. В ходе проведения III цикла получен критический наклон кривой $АЭ=f(\sigma)$, который соответствует росту ранее выявленного дефекта.

Для высокопрочных пород пока не удалось получить, эмиссионные и томографические результаты разрушения, т.к. нагружение с постоянной скоростью таких пород в каждом последующем цикле проводится через большой промежуток времени и сопряжено с высокой длительностью эксперимента

Таким образом, повышенные акустоэмиссионные излучения можно рассматривать как предвестники разрушения в горных породах, но при этом следует иметь в виду, что эмиссионная картина в различных горных породах существенно различается в зависимости от строения и от того состояния в котором находилась порода в массиве. Если обратиться к построению кругов Мора (рис. 2), по которым оцениваются важные для строительства показатели σ и φ , то можно видеть, что величина угла внутреннего трения остается практически неизменной (что и должно быть для каждого типа породы), а величина сцепления имеет при определении прочности по ГОСТ завышенные значения. В нашем примере $R_{сАЭ}$ всегда ниже прочности пород на одноосное сжатие, установленной по ГОСТ для туфа – на 50%, и для известняка – на 35%, что снижает показатель сцепления почти в 2 раза. Не существует общей совокупности сигнала АЭ как предвестников разрушения для всех горных пород. Каждый тип породы должен рассматриваться индивидуально, исходя из его характеристики по строению и геологической предыстории.

Литература

1. *Грешников В.А., Дробот. Ю.Б.* Акустическая эмиссия. – М: Издательство стандартов, 1976.
2. *Панасьян Л.Л., Петровский М.А.* Об использовании эффекта Кайзера для оценки напряжений в горных породах // Инженерная геология. – 1984. – №2. – С. 114-119.
3. *Golodkovskaya G.A., Panasiyan L.L., Petrovsky M.A. & Kolegov S.A.* New aspects of rock of stress study //5-th ICIA of engineering geology. – Rotterdam, 1986. – P. 435-439.
4. *Панасьян Л.Л., Кривошеева З.А., Храмова Г.И., Шляпужников А.Б.* Исследование эффекта Кайзера в глинистых породах разной литификации // Вестник Моск. ун-та. Серия Геология. – 1987. – № 3. – С. 101-106.
5. *Шкуратник В.Л., Лавров А.В.* Эффекты памяти в горных породах. Физические закономерности, теоретические модели. – М.: изд. АГ, 1997.
6. *Панасьян Л.Л., Шварц К.А.* Опыт оценки структурно-чувствительного коэффициента с помощью акустической эмиссии. /Сб. науч. тр. Совета РАН по акустике. XXIV сессия РАО. – М.: ГЕОС, 2011. – Т. 1. – С. 300-304.
7. *Овчарук В.Н., Чье Ен Ун.* Анализ амплитудно-частотных характеристик при изучении свойств керамических материалов методом акустической эмиссии // Вестник ТОГУ. – 2007. – №4. – С. 171-184.
8. *Панасьян Л.Л., Ладыгин В.М., Курносков В.Б.* Связь акустической эмиссии со структурами в базальтах Гавайских островов // Физическая акустика. Нелинейная акустика. Распространение и дифракция волн. Акустоэлектроника. Геоакустика / Сб тр. «Сессия Научного совета РАН по акустике и XXV сессия Российского акустического общества». Т. I. – М.: ГЕОС, 2012. – С. 349-353.
9. *Posukhova T.V., Panasian L.L., Sas I.E.* Serpentinities of the Ural: Mineralogical Features, Petrophysical Properties and Subduction Processes Open Journal of Geology. – 2013. – Т 3. – № 3. – P. 250-261.

К ПОНЯТИЮ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИЙ АУДИТ

В.В. Пендин, Д.Н. Горобцов, М.Е. Жильцова

Российский государственный геологоразведочный университет им. Серго Орджоникидзе,
117997, г.Москва, ул. Миклухо-Маклая, д.23. E-mail: office@msgpa.edu.ru

Аудит (от лат. *Audi* – слушает) или аудиторская проверка – процедура независимой оценки деятельности организации, системы, процесса, проекта или продукта [1].

Различают операционный, технический, экологический и прочие разновидности аудита. Отдельные виды аудита близки по значению к сертификации. Чаще всего термин употребляется применительно к проверке бухгалтерской отчетности организаций с целью выражения мнения о её достоверности [1].

В сфере экологии используется термин экологический аудит – это комплексная и независимая оценка соблюдения требований, в том числе требований действующих международных стандартов, нормативов и нормативных документов в области экологической безопасности, экологического менеджмента и охраны окружающей среды, а также подготовка соответствующих рекомендаций и их документирование по улучшению деятельности предприятий и организаций в экологической сфере [1].

В настоящее время в сфере инженерно-геологических изысканий вошла формулировка инженерно-геологический мониторинг, позволяющая оценить состояние различных компонентов геологической среды в сфере взаимодействия с инженерным сооружением. Такого рода деятельность выражается в режимных наблюдениях за состоянием природно-технической системы и в выработке управляющих взаимодействиях. Однако, данный вид деятельности не подразумевает проверки соответствия первоначальных проектных решений строительства инженерных объектов с материалами об инженерно-геологических условиях, полученных при обследовании существующих инженерных сооружений.

В результате, при возникновении ситуации, когда требуется оценить деятельность строительной и геологической компании и их подрядчиков, впервые предлагается ввести новый термин в область инженерной геологии – инженерно-геологический аудит.

Таким образом, инженерно-геологический аудит – процедура независимой оценки деятельности геологической или строительной организации, допускающей отклонения от первоначальных проектных решений или сознательное ухудшение качества окончательного продукта.

В качестве примера проведения инженерно-геологического аудита была выбрана существующая линейная транспортная система, построенная в сложных инженерно-геоэкологических условиях.

Данный объект выбран не случайно, поскольку одним из приоритетов экономического развития нашей страны является освоение северных и дальневосточных регионов. Однако большая часть этих территории покрыта многолетнемерзлыми грунтами, в результате чего все инженерные сооружения приходится возводить в сложных инженерно-геокриологических условиях. Как следствие, главную роль в освоении будущих территорий отводится транспортной доступности, которая должна отвечать всем основным требованиям по качеству и безопасности и будет являться основной движущей силой экономического развития.

Второй причиной выбора данного объекта является его состояние в настоящий момент времени, которое не отвечает требованиям качества и безопасности, что может привести к катастрофическим последствиям. Прежде всего, это выражается в неравномерных деформациях зафиксированных при мониторинге, препятствующие его полноценной эксплуатации.

В результате, на линейном транспортном объекте, построенном в сложных инженерно-геокриологических условиях, была впервые опробована методика инженерно-геологического аудита, включающая в себя следующие этапы:

1. Изучение основных технических характеристик линейной транспортной системы.
2. Изучение материалов исходной проектной документации инженерно-геологических изысканий и строительства.
3. Проведение полевых работ на объекте.
4. Проведение лабораторных работ.
5. Камеральная обработка полевых и лабораторных работ.
6. Сравнительный анализ проектной документации с данными полученными при физическом обследовании.
7. Выводы и рекомендации.

Рассмотрим более подробно каждый из этапов вышеизложенной методики инженерно-геологического аудита.

1. На данном этапе исследования необходимо ознакомиться с:
 - а) типом инженерного сооружения, его основными техническими характеристиками, назначением, уровнем ответственности;
 - б) физико-географическим положением;
 - в) транспортной доступностью;
 - г) инженерно-геологическими и геокриологическими условиями.
2. Следующим этапом является ознакомление с проектной документацией инженерного сооружения, изучение инженерно-геологических и геокриологических условий, установленных на момент времени строительства, способами возведения сооружения, используемыми материалами и т.д.
3. На третьем этапе необходимо провести полевые работы, которые включают в себя:
 - а) инженерно-геокриологическая рекогносцировка;
 - б) топогеодезическая привязка горных выработок;
 - в) контрольное бурение инженерно-геологических скважин;

- г) отбор образцов грунтов для лабораторных исследований;
- д) термокаротаж;
- е) выполнение отдельных видов лабораторных работ непосредственно на площадке исследования;
- ж) ликвидация скважин.

Следует обратить отдельное внимание на пункт е), поскольку не всегда удается произвести транспортировку образцов в лабораторию, сохранив их первоначальное состояние.

4. Четвертым этапом является определение всего комплекса физико-механических свойств горных пород в лабораторных условиях.

5. На пятом этапе обрабатываются все полученные данные по полевым и лабораторным испытаниям, составляется технический отчет, в котором отображаются инженерно-геологические условия, физико-механические свойства горных пород, прилагаются графические приложения в виде графиков, инженерно-геологических разрезов, колонок скважин, таблиц.

6. На шестом этапе осуществляется сравнительный анализ проектной документации с новыми данными, полученными при инженерно-геологическом обследовании. Подвергаются проверке все инженерно-геологические параметры, которые в силу каких-либо причин могли измениться в процессе строительства и эксплуатации.

7. На заключительном этапе формулируются выводы о соответствии полученных результатов исследований первоначальной исходной проектной документации, либо об отклонениях, выраженных в качественной и количественной формах, а также намечаются методы приведения объектов в соответствие с техническим заданием.

В качестве примера рассмотрим проведение инженерно-геологического аудита железнодорожной транспортной системы на одном участке (рис.).

На рисунке в верхней части представлен проектный поперечный профиль железнодорожного полотна по данным проектной документации. Профиль железнодорожного полотна представляет собой насыпь грунта состоящую из (сверху вниз):

1. Щебня мощностью 0,40 м.
2. Мелкого песка с влажностью до 12%.
3. Мелкого песка мощностью 3,50 м, в котором расположена обойма из геотекстиля мощностью 0,80 м.

В процессе полевых, лабораторных и последующих камеральных работ была получена инженерно-геологическая информация исследуемого участка, которая позволила провести сравнительную оценку с данными проектной документации.

В результате проведенного физического обследования грунта слагающего железнодорожную насыпь и ее основание, а также анализ проектной документации позволили выявить следующие несоответствия:

1. Слой 1.

Мощность уложенного в земляное полотно скального грунта по данным физического обследования составляет 0,20 м, а по проекту она равна

0,41 м. Таким образом, фактическая мощность слоя скального грунта на 0,21 м меньше, чем должна быть по проекту.

Следует обратить внимание на то, что при строительстве нарушен порядок укладки слоев. По данным физического обследования скальный грунт следует за песчаным, а по проекту первым должен располагаться скальный слой грунта.

2. Слой 2.

По проектным данным второй слой земляного полотна должен состоять из мелкого песка с влажностью до 12% и мощностью 0,30 м. По данным физического обследования, второй слой земляного полотна представляет собой песок пылеватый мощностью 0,25 м. Разница в мощности слоев незначительна (0,05 м). Однако при этом нарушен порядок укладки этого слоя.

3. Слой 3.

По проектным данным третий слой земляного полотна должен состоять из мелкого песка грунта мощностью 0,09 м. По данным физического обследования, третий слой земляного полотна представлен песком пылеватым общей мощностью 0,77 м.

4. Слои 4 – 7.

Слои с 4 по 7 представляют собой обойму геотекстиля. При сравнении мощности обоймы по данным проектной документации с данными физического обследования установлено, что мощность обоймы из геотекстиля по проекту составляет 0,80 м, а по фактическим данным определить мощность обоймы не представляется возможным ввиду отсутствия второго слоя геотекстиля. При этом по проекту обойма должна быть заполнена песком мелким, по фактическим данным она заполнена песком пылеватым.

5. Слой 8.

По проекту данный слой должен состоять из мелкого песка мощностью 2,45 м. Фактически, данный слой состоит из песка пылеватого, с включениями органики общей мощностью 1,86 м. Таким образом, фактическая мощность данного слоя на 0,59 м меньше проектной.

6. Общая мощность земляного полотна по фактическим данным составляет 3,41 м, что на 0,64 м меньше проектной (по проекту мощность 4,05 м).

7. По результатам лабораторных анализов установлено, что гранулометрический состав грунтов по данным проектной документации не соответствует гранулометрическому составу, полученному при физическом обследовании (согласно ГОСТу 25100-95). По лабораторным испытаниям установлено, что грунт насыпи представляет собой песок пылеватый с влажностью около 18%, который обладает способностью к выпучиванию, что при промерзании массива в холодный период года может привести к деформациям основания железнодорожного полотна.

В результате проведения инженерно-геологического аудита строительства линейной транспортной системы впервые появилась возможность установления соответствия или отклонения от проектных решений, которые ока-

зывают непосредственное влияние на устойчивость инженерного сооружения и сроки его эксплуатации.

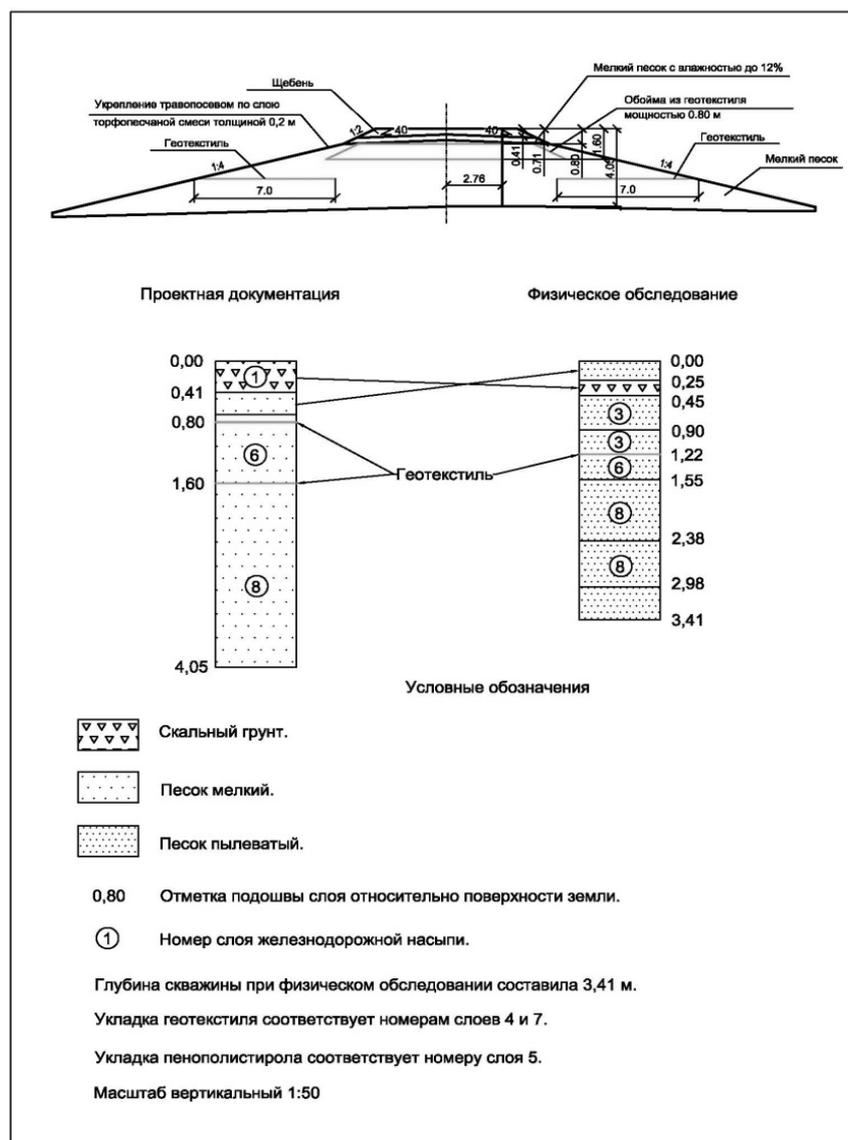


Рис. Сравнительный анализ проектной документации и результатов физического обследования на исследуемом участке линейной железнодорожной транспортной системы

Литература

1. Всемирная сеть «Internet», www.wikipedia.ru.
2. ГОСТ 25100-95. Грунты. Классификация.

К ВОПРОСУ ОЦЕНКИ СЛОЖНОСТИ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ В КРИОЛИТОЗОНЕ

В.В. Пендин, Д.Д. Шубина

Российский государственный геологоразведочный университет им. Серго Орджоникидзе,
117997, г. Москва, ул. Миклухо-Маклая, д. 23. E-mail: office@msgpa.edu.ru.

Сложность инженерно-геологических условий (ИГУ) является очень важным свойством при экономической оценке стоимости проведения инженерно-геологических изысканий и строительства инженерных сооружений.

В настоящее время сложность инженерно-геологических условий определяется согласно обязательному приложению А СП 47.13330.2012 и назначается по совокупности различных факторов. Но в этом есть ряд недостатков, выделим три основных.

Первым недостатком является то, что не вполне ясно, относительно чего оценивается сложность ИГУ – проведения строительства или выполнения инженерно-геологических изысканий? При этом, даже для различных видов строительства сложность одних и тех же ИГУ может быть оценена по-разному. Вторым недостатком является то, что факторы ИГУ взаимообуславливают друг друга и их следует рассматривать, как единую систему. И третьим, экономическим недостатком является то, что действуя согласно настоящему обязательному приложению А, можно неоправданно завысить категорию сложности ИГУ, если хотя бы один из показателей относится к более высокой категории, чем непременно и пользуются практически все изыскательские компании.

Исходя из вышесказанного, категорию сложности ИГУ целесообразнее не назначать по таблице, а рассчитывать, согласно целевому назначению и стадии работ. Во избежание субъективного отношения к вопросу оценки сложности ИГУ необходимо в обязательном порядке обеспечить применение математического аппарата и все показатели инженерно-геологических условий выразить в количественной форме.

В качестве примера рассмотрим оценку сложности ИГУ при проведении съемочных работ в криолитозоне. Основным свойством литосферы, определяющим категорию сложности инженерно-геологических условий, является неоднородность. Для характеристики неоднородности традиционно используется такой показатель, как энтропия. В целом, для криолитозоны очевидным индикатором инженерно-геологических условий является тип ландшафта. Энтропия по карте типов ландшафта или карте урочищ рассчитывается по формуле:

$$H = p_i \cdot \log p_i, \quad (1)$$

где p_i – вероятность нахождения i -разновидности в квадрате (параметры сетки квадратов зависят от масштаба съемки, а оптимальные значения количества определений определяются по статистическим критериям). При отсутствии карты ландшафтов можно использовать данные о рельефе. После расчёта энтропии необходимо нормировать ее значения путем деления на региональный максимум ($H=H_i/H_{max}$), после чего все множество рассчитанных значений энтропии можно представить в виде поля относительных значений, изменяющихся в интервале от 0 до 1, где нулю соответствуют максимально однородные условия, а единице – максимально неоднородные. При этом для удобства оценки можно выделить пять категорий сложности инженерно-геологических условий (0 – 0,2; 0,2 – 0,4; 0,4 – 0,6; 0,6 – 0,8; 0,8 – 1).

Если оценивать сложность инженерно-геологических условий с точки зрения строительства, то целесообразно использовать интегральный показатель инженерно-геологических условий, который представляет собой линейную аддитивную функцию взвешенных по вкладу в оценку нормированных значений компонентов ИГУ и может служить мерой эмерджентности ИГУ.

$$J_{\Sigma} = \sum g_i R_i \quad (2)$$

где g_i – весовой коэффициент;

R_i – нормированная оценка i -го компонента инженерно-геологической системы;

n – число значащих компонентов инженерно-геологической системы.

В качестве целевого предиката, к примеру, может быть использован коэффициент удорожания строительства или пораженность территории негативными геологическими процессами. Все значения J_{Σ} благодаря процедуре нормирования будут изменяться от 0 до 1, при этом 0 будут соответствовать максимально благоприятные условия для функционирования сооружения, а 1 – максимально неблагоприятные (в зависимости от способа нормирования). После чего можно будет выделить пять градаций сложности инженерно-геологических условий относительно выбранного целевого предиката.

Таким образом, при оценке сложности инженерно-геологических условий необходимо определиться с аспектом, в котором рассматривается это понятие с точки зрения благоприятности для конкретного вида хозяйственного освоения или инженерно-геологических изысканий. Затем, исходя из целевого назначения установления категории сложности ИГУ, необходимо подобрать вариант комплексной количественной оценки, отвечающий поставленной задаче.

ИЗУЧЕНИЕ СВОЙСТВ И ГЕОДИНАМИКИ СРЕДЫ С ПОМОЩЬЮ СЕЙСМИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА

О.Г. Попова^{*}, А.Д. Жигалин^{*}, Ф.О. Аракелян^{}**

^{*} Институт геоэкологии им. Е.М. Сергеева РАН, Уланский пер., 13 ,стр.2, Москва, 101000.

E-mail: oksana-p@list.ru

^{**} ООО «Атомсейсмоизыскания» ул. Скаковая 32,кор.2, Москва, 125040.

E-mail: asi_47@mail.ru

Изучение локальных полей тектонических напряжений и факторов, определяющих их энергетику (способность вызвать землетрясение), является одной из задач, решение которой, возможно, позволит продвинуться вперед в направлении обеспечения достоверного прогноза опасных природных процессов.

Природные геодинамические процессы развиваются или в виде плавных ритмичных изменений с периодами от секунд до миллионов лет, что является признаком «порядка» в литосфере и на Земле, или в виде катастрофических проявлений – «хаоса» [1]. «Порядок» и «хаос» определяются как внутренними земными, так и внешними причинами. К внешним природным воздействиям на геологическую среду можно отнести ежесуточные приливные воздействия Солнца и Луны, лунные и солнечные затмения, влияние Луны

в различных ее фазах, солнечную активность (магнитные бури), изменение скорости вращения Земли, воздействие катастрофических далеких землетрясений. Сложение воздействий на геологическую среду факторов разной природы может привести к резонансам, вызывающим катастрофы. Поскольку геологическая среда является неоднородной, состоящей из твердых частиц, пустот, флюидов, слоев, блоков и т.п. с разным напряженным состоянием, то ритмы и катастрофы передаются по-разному и фиксируются в породах неодинаково. Важно понять различие ритмов разной природы и их взаимодействие в средах с разной тектонической активностью. Для изучения всех этих процессов необходим геофизический мониторинг и как частный случай сейсмический мониторинг.

Рассмотрены особенности геодинамики сред разной тектонической активности под влиянием внутренних и внешних природных факторов по результатам сейсмического мониторинга от естественных источников. Анализировались результаты сейсмического мониторинга в сейсмоопасном регионе Кавказских Минеральных Вод (Минераловодский прогностический полигон), слабо сейсмически активном районе г. Томска (площадка Северская под строительство АЭС), платформенном районе Нижнего Новгорода (площадка Нижегородская под строительство АЭС) и в платформенном регионе Московского мегаполиса. На всех объектах, где проводился сейсмический мониторинг использовалась одинаковая регистрирующая сейсмическая аппарату-

ра – цифровые трехкомпонентные станции «Дельта-Геон», на которых регулярно раз в сутки проводилась калибровка.

Рассматривалось изменение во времени таких характеристик среды как показатели анизотропности (γ) и напряженности (S), которые определялись по методике, основанной на оценке энергии обменных волн PS от далеких землетрясений, поскольку энергия обменных волн PS существенно зависит от степени трещиноватости, пористости, флюидизации и анизотропных свойств среды [4]. Анализировались временные ряды $\gamma(t)$ и $S(t)$, а также амплитудно-частотные характеристики микросейсмического фона.

Было показано, что для всех исследованных регионов показатели (γ) и (S) изменяются во времени, однако абсолютные значения этих показателей и диапазон этих изменений существенно различается в зависимости от тектонической активности региона. Для платформенного Нижегородского региона значения показателя анизотропности γ варьировали от 0 до 0,4, а показателя напряженного состояния S – от 0 до 0,012. В слабо сейсмически активном Томском регионе фоновые значения показателя анизотропности γ колеблются в пределах 0,2-0,6 и только дважды за 2-а года исследований существенно увеличились до 1,4 и 2,8. При этом соответственно возросли и значения интегрального показателя S до 0,18 и 0,542, выявив появление участков аномального напряженного состояния среды в пределах территории исследования. На территории Минераловодского геодинамического прогностического полигона повышенной сейсмической активности показатель анизотропности среды γ при фоновом уровне 0,2-1,0 увеличивался в отдельные интервалы времени до 2,4 и даже до 8,0, что привело к унаследованному возрастанию величины интегрального показателя напряженного состояния среды S до 2,1 и 5,3 и усилению местной сейсмической активности.

Таким образом, максимальные значения величины S для сейсмоопасного полигона Кавминвод в 10 раз превышают максимальные значения этого показателя для Томского полигона исследований и в 100 раз для Нижегородского полигона. Такое соотношение величин сравниваемых параметров, полученных для трех полигонов, показывает существенное различие сейсмической обстановки в этих регионах, спокойном (Нижегородский полигон), слабо активном (Томский полигон) и сейсмически активном (Минераловодский полигон).

Для сейсмически активного региона Кавминвод, где длительность непрерывных наблюдений на полигоне составила 12 лет, была выявлена цикличность изменения показателя напряженности S , которая, по-видимому, определяется внутренним тектоническим режимом региона. По осредненной зависимости $S(t)$ выделены циклы подготовки тектонических землетрясений с магнитудами $M > 4,3$. Длительность циклов составляет 2...3 года. Каждый цикл состоит из трех фаз: 1-я фаза – спад напряженного состояния после выраженной сейсмической активности в регионе, 2-я фаза – низкие значения напряженного состояния, 3-я фаза – возрастание напряженного состояния. Эти три фазы согласуются с тремя фазами в цикле подготовки тектоническо-

го землетрясения по теории лавинно-неустойчивого трещинообразования [2]: «разрядки», «регулярного состояния» и «активизации» соответственно. Постепенное возрастание $S(t)$ и соответственно степени анизотропности среды в фазе активизации можно объяснить усилением трещиноватости. Уровень возрастания величины S зависит от магнитуды готовящегося землетрясения и близости гипоцентра к району расположения сети станций мониторинга [4]. К сожалению, длительность наблюдений в других изучаемых регионах была значительно меньше, что не позволяет судить о наличии или отсутствии цикличности, связанной с внутренними тектоническими процессами в среде.

Для всех изучаемых регионов проводился анализ влияния внешних природных факторов на параметры, характеризующие состояние среды. Как для сейсмоопасного региона Кавминвод, так и для платформенного района Московского мегаполиса была выявлена четкая цикличность показателей (γ) и (S), которые определяются по энергии радиальной E_v и тангенциальной E_t составляющих сейсмической записи обменных волн PS [3] (рис.). Причем, эта периодичность проявляется для разных уровней глубин. Период изменения равен примерно 170-200 дней, в среднем 180-185 дней, то есть 0,5 года. Контрастность полугодовой периодичности выше на глубинах (0-15 км), и ослабевает на больших глубинах (рис.). Поскольку энергия обменных волн отражает напряженное состояние среды и ее анизотропные свойства, можно сделать вывод, что напряженное состояние среды как в сейсмоопасном районе Кавминвод, так и в платформенном Московском регионе изменяется с периодичностью 180-185 дней. Причем, верхняя часть земной коры до глубин 15 км более чувствительна к этим изменениям, чем более глубокая ее часть (глубины 15-30 км). Последний вывод позволяет предположить разную степень трещиноватости и флюидонасыщенности геологической среды на глубинах 0-15 км и 15-30 км. Причину полугодовых изменений разных геофизических параметров среды отмечали и другие авторы и связывали их с таким внешним природным фактором как изменение скорости вращения Земли. Однако, не исключено и влияние сезонного фактора, поскольку, как отмечалось в работе [3], сезонные изменения напряженного состояния среды тесно связаны со скоростью вращения Земли. Эта периодичность изменения свойств геологической среды, вероятно, характерна для всех регионов Земли, как для платформенных, так и для сейсмоопасных территорий.

Наиболее сильное воздействие внешних природных факторов связано с гравитационным приливным воздействием Луны и Солнца, а также с солнечной активностью. На материалах долговременного сейсмического мониторинга, указанных выше регионов проанализировано влияние солнечных и лунных затмений, а также влияние Луны в ее разных фазах: полнолуния и новолуния на амплитудно-частотные характеристики микросейсмического фона.

Характеристики микросейсмического фона зависят от напряженного состояния среды [1,5], поэтому большинство работ по исследованию влияния природных факторов на напряженное состояние среды посвящены именно изучению микросейсмического фона. Помимо изменения уровня амплитуд

микросейсмического фона в результате воздействия внешних факторов анализировалось изменение направление вектора смещения фона.

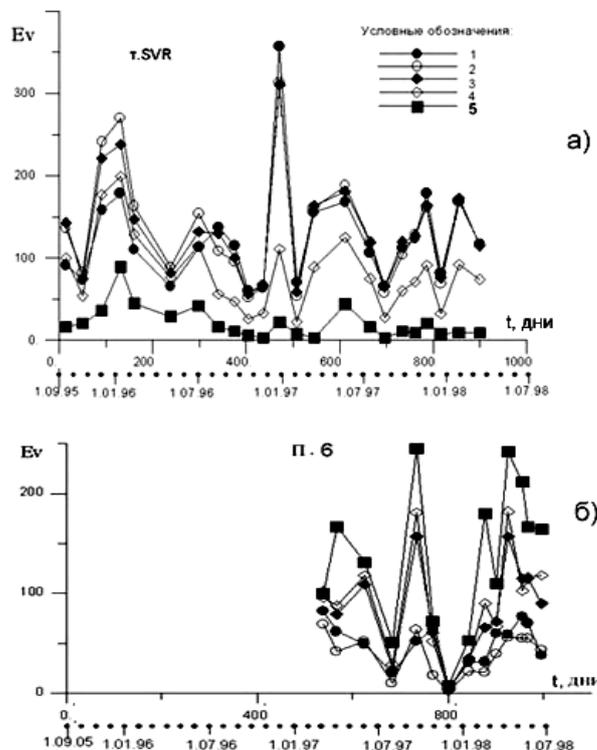


Рис. Изменение энергии радиальной составляющей (E_v) обменных волн PS в зависимости от времени наблюдения (t) на разных уровнях глубин для одного из пунктов наблюдения Кавминводского полигона (п. SVR) (а) и одного из пунктов наблюдения Московской сети (п. 6 – ул. Николо-Ямская) (б). Условные обозначения: 1-2,5 км; 2-5,0 км; 3-7,5 км; 4-10,0 км; 5-15,0 км

Для сейсмоопасных районов (Кавминводский и Томский регионы) установлено влияние солнечного затмения, которое проявляется резким увеличением (в 3-7 раз) амплитуд микросейсмического фона в течение короткого времени (время закрытия солнечного диска тенью луны), отклонением направления вектора смещения фона на $20-45^\circ$ и существенным расширением полосы его частотного состава, спектр становится широкополосным. Лунные затмения также проявляются значительным увеличением амплитуд фона и изменением направления вектора смещения микросейсмического фона. Однако, в отличие от солнечного затмения возрастание амплитуд происходит не резко (в течение нескольких часов, как при солнечном затмении), а постепен-

но, в течение 5-6 дней. Если при солнечных затмениях значительные отклонения направления вектора смещения фона имеют место во время максимальной фазы затмения, то при лунном затмении и полнолунии эти отклонения отмечаются за сутки или двое до этих природных явлений.

В платформенном районе Нижнего Новгорода максимальная фаза солнечного и лунного затмений проявляется слабым всплеском амплитуд записи микросейсмического фона в 1,3 раза, то есть существенно слабее, чем в сейсмоопасных регионах. В отличие от сейсмоопасных районов в асейсмичном регионе Нижнего Новгорода в момент максимальной фазы лунного и солнечного затмения частотный состав спектров микросейсмического резко сужается, а отклонения в направлении вектора смещения не превышают $1,5-2,0^{\circ}$.

Таким образом, влияние внешних природных факторов существенно отличается в районах разной тектонической активности, что предполагает различие свойств и структуры сред этих регионов. Резкие изменения характеристик микросейсмического фона в сейсмоопасных средах свидетельствуют о сильной неустойчивости среды и резких изменениях ее напряженного состояния в короткие интервалы времени. Наиболее опасными являются ситуации интерференции аномальных изменений свойств среды за счет внутренних и внешних природных факторов. В платформенных районах влияние внешних природных факторов значительно слабее, но все же имеет место. Это позволяет говорить о необходимости непрерывного слежения за изменением свойств и напряженным состоянием геологической среды при строительстве и эксплуатации жизненно-важных объектов, таких как АЭС, ГЭС, химических заводов, нефтепроводов, газопроводов и железнодорожных путей, особенно в сейсмоопасных регионах.

Литература

1. Атлас временных вариаций природных, антропогенных и социальных процессов. – 1998. – Т. 2. – 427 с.
2. Мячкин В.И. Процессы подготовки землетрясений. – М.: Наука, 1978. – 232 с.
3. Николаев А.В. Развитие физических основ новых методов сейсмической разведки // Вестник АН СССР. – 1985. – №3. – С. 18-27.
4. Попова О.Г., Серый А.В., Коновалов Ю.Ф. Результаты долговременного сейсмического мониторинга в сейсмоопасном районе Кавказских Минеральных Вод // Геоэкология. – 2008. – №2. – С. 135-140.
5. Юдахин Ф.Н., Капустян Н.К. Микросейсмические наблюдения. Цикл лекций. Школа-семинар по микросейсмам. Материалы Всероссийской конференции «Геодинамика и геологические изменения в окружающей среде северных регионов». – Архангельск, 2004. – 64 с.

МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ СПУТНИКОВЫХ НАБЛЮДЕНИЙ ЗА СОВРЕМЕННЫМИ ДВИЖЕНИЯМИ ЗЕМНОЙ КОРЫ

В.Н. Татаринov, В.Н. Морозов, Т.А. Татаринova

Геофизический центр РАН, 119296 г. Москва, ул. Молодежная д. 3. E-mail: victat@wdcb.ru

Известный успех наблюдений за современными движениями земной коры (СДЗК) с использованием глобальных навигационных спутниковых систем GPS/ГЛОНАСС (ГНСС) на базисах до тысячи и более километров, создал иллюзию универсальности метода для решения различных локальных задач геодинамики, особенно в приложении к площадкам расположения особо ответственных промышленных объектов (АЭС, хранилища РАО, гидроэлектростанции и др.). Методологию интерпретации результатов GPS-наблюдений стали массово переносить с глобального уровня на локальный, когда размеры площадки не превышают 5x5 км. Интерпретируя результаты, исследователи придерживаются двух крайних гипотез: одна группа использует блоковую модель строения земной коры (дискретная среда) [1,2], другая – континуальную модель (непрерывная среда) [3 и др.]. Причем, каждая сторона приводит в качестве решающего аргумента в защиту своей точки зрения именно результаты GPS-наблюдений.

Однако еще задолго до внедрения ГНСС в практику геодинамических исследований было известно, что величины и направления регистрируемых смещений земной поверхности являются *интерференцией* силового воздействия различных по масштабу и времени эндогенных и экзогенных источников. Это фундаментальное свойство литосферы, связанное академиком М.А. Садовским с ее иерархично-блоковым строением, часто игнорируется при постановке наблюдений с использованием ГНСС. При этом на региональном уровне СДЗК очень малы, а вот в пределах разломных зон могут достигать существенных величин. В блоковой модели земной коры, границы блоков – это разрывы, выделяемые в виде узких зон высоких градиентов скоростей СДЗК. Расстояние между пунктами наблюдений геодинамической сети обычно существенно больше, чем ширина этих зон, поэтому активность разрывов может в одних случаях (если пункт наблюдений близок к разлому) проявляться, а в других нет.

Это можно проиллюстрировать простым примером на рис. 1, где показаны три тектонических блока: средний блок движется в северном направлении, передавая усилия на соседние блоки и смещая их в широтном направлении. Если мы разместим пункты GPS-наблюдений в центральном блоке по обе стороны от объекта контроля, то деформации на момент времени $t^1 - t^0$ будут равны 0, т.к. длина базиса L_1 не изменится. А если же установим их в двух соседних тектонических блоках, которые сместились в широтном

направлении на величину Δx , то деформация уже не будет равна нулю $\varepsilon = (L_2 - L_3)/L_2 = \Delta x/L_2$.

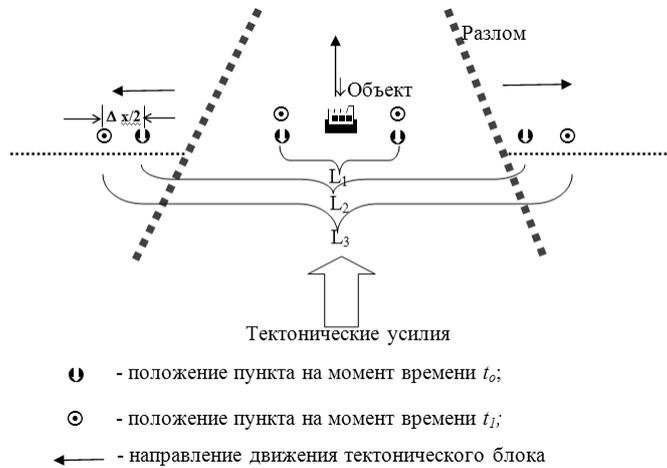


Рис. 1. Иллюстрация пространственного масштабного эффекта при GPS-наблюдениях

Таким образом, наши выводы о скорости деформаций на какой-либо площадке оказываются зависимыми от масштаба (длины базиса) наблюдений. В реальной обстановке кинематика движений структурных блоков земной коры еще сложнее, когда на пространственный масштабный фактор накладывается также и временной (цикличность движений). При этом совершенно не учитываются направления горизонтальных смещений. Как это видно из рис. 2, одна и та же величина деформаций может быть для 5 вариантов смещений пунктов наблюдений.

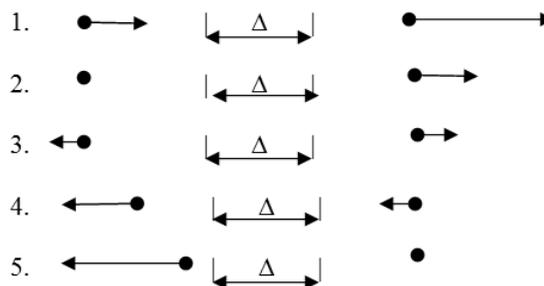


Рис. 2. Иллюстрация расчета деформаций Δ для совершенно разных исходных вариантов геодинамических движений

Учет пространственно-временного масштабного фактора при интерпретации данных GPS-наблюдениях очевиден и необходим, а прогноз максимально возможных деформаций на площадках промышленных объектов со сроками эксплуатации до 100 лет (реакторы АЭС, хранилища радиоактивных отходов, плотины гидроэлектростанций и т.д.), по данным GPS-наблюдений является более обоснованным, чем по геолого-геоморфологическими данным.

В основе обеспечения безопасности таких объектов лежит метод геодинамического районирования, разработанный в конце 70-х годов XX века в ВНИМИ (И.М. Петухов, И.М. Батугина и др.) для предупреждения горных ударов на подземных рудниках [4]. Позднее метод стал применяться не только для прогнозирования горных ударов, но и при проектировании газо- и нефтепроводов, гидроэлектростанций и других объектов. При всех своих достоинствах метод имеет один существенный недостаток, достоверность моделей НДС, на основе которых принимается решение, существенно зависит от граничных условий, обоснование которых является достаточно сложной задачей. Для задания граничных условий можно воспользоваться результатами GPS-наблюдений, когда задаются не напряжения по границам структурных блоков, абсолютные величины которых практически невозможно установить, а скорости движений этих блоков, которые мы можем определить с точностью до 3-5 мм/год.

Такой подход к геодинамическому районированию можно назвать «*кинематическим*». Его основа – описание движения идеализированных тел без выявления причин их движения, с последующим переходом к напряжениям. В нашем случае такими телами являются тектонические структурные блоки различного иерархического уровня, а следствием – *образование полей напряжений на границах этих блоков и внутри них*.

Важнейшая задача кинематического районирования – выбор критериев оценки устойчивости (опасности) состояния территорий. Согласно существующим СНиП опасными для объекта считаются относительные деформации, превышающие величину $\alpha \times 10^{-3}$, где α – коэффициент, заключенный в интервале от 1 до 3-6, устанавливаемый для различных объектов.

Сложившееся представление об инвариантности деформаций не совсем верно, если при интерпретации за основу принимать блоковую модель среды. Это четко доказано авторами публикации [5], где по данным повторных геодезических измерений на локальных и глобальных уровнях была установлена закономерность уменьшения максимальных значений горизонтальных деформаций при увеличении расстояний между пунктами наблюдений от метров до тысяч километров.

На рис. 3 показано, полученное ими распределение модулей скоростей горизонтальных деформаций для различных расстояний между пунктами наблюдений. В пределах сделанных допущений и ограничений установлена зависимость $|\dot{\epsilon}|_{\max}$ от расстояний в следующем виде:

$$|\dot{\epsilon}|_{\max \text{ год}} [c^{-1}] \approx k \times 10^{-6} L^b [M]$$

где $k \approx 0,3 \div 3$, $a \approx (-0,75) \div (-0,85)$.

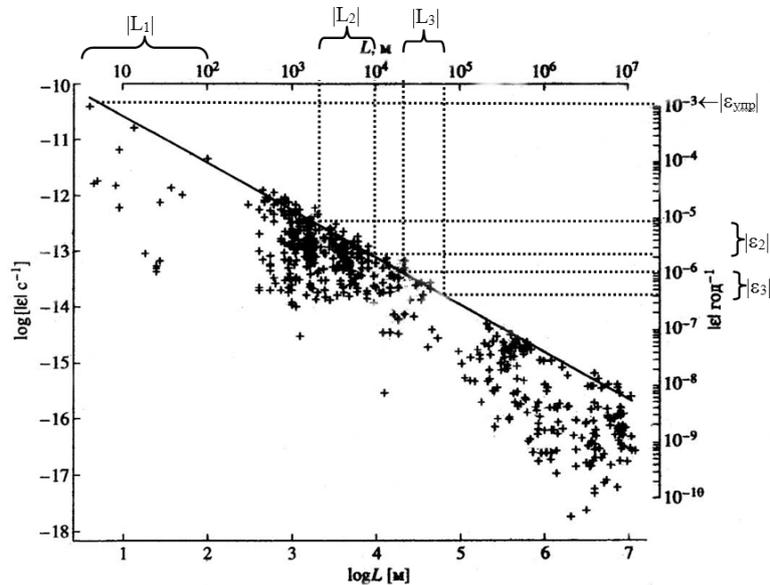


Рис. 3. Распределение модулей скоростей горизонтальных деформаций в зависимости от расстояния между пунктами наблюдений с учетом [5]

Этот график можно использовать для оценки скоростей деформаций для территорий с различными площадями при геодинамическом районировании [6]. Согласно нормативным документам, при выборе мест размещения особо ответственных промышленных объектов анализ устойчивости геологической среды должен проводиться в 3 этапа. Сначала исследуется район ($L_3=3 \cdot 10^4 \div 5 \cdot 10^4$ м), потом – площадка ($L_2=3 \cdot 10^3 \div 10^4$ м) и, наконец, приконтурная часть породного массива ($L_1=1 \div 100$ м). И на каждом этапе требуется оценивать степень опасности СДЗК и связанных с ними деформаций, полученных по данным наблюдений спутниковыми системами GPS/ГЛОНАСС, на устойчивость промышленного объекта.

В качестве критерия оценки опасности деформаций при геодинамическом районировании можно использовать следующие величины критических деформаций ε и их скоростей $\dot{\varepsilon}$ (рис. 3):

Район	$L_3=3 \cdot 10^4 \div 5 \cdot 10^4$ м,	$ \varepsilon_3 = 10^{-6} \div 6 \cdot 10^{-7}$,	$ \dot{\varepsilon}_3 = 3 \cdot 10^{-7} \div 10^{-6}$ год ⁻¹
Площадка	$L_2=3 \cdot 10^3 \div 10^4$ м,	$ \varepsilon_2 = 10^{-5} \div 8 \cdot 10^{-6}$,	$ \dot{\varepsilon}_2 = 3 \cdot 10^{-6} \div 10^{-5}$ год ⁻¹
Приконтурная часть массива	$L_1=1 \div 100$ м,	$ \varepsilon_1 = 10^{-3} \div 6 \cdot 10^{-4}$,	$ \dot{\varepsilon}_1 \geq 3 \div 10^{-3}$ год ⁻¹ .

Таким образом, при оценке устойчивости геологической среды по данным наблюдений спутниковыми навигационными системами GPS/ГЛОНАСС обязательно должен учитываться масштабный пространственно-временной эффект, влияющий на величины скоростей деформаций земной коры, а также

конкретная тектоническая обстановка в регионе. Скорректированные значения критериев оценки устойчивости геосреды позволяют задавать граничные условия при моделировании напряженно-деформированного состояния, которые более близки к реальным условиям, и проводить геодинамическое районирование рудных полей и площадок при выборе мест размещения особо ответственных промышленных объектов.

Литература

1. *McCaffrey R.* Block kinematics of the Pacific–North America plate boundary in the Southwestern United States from inversion of GPS, seismological, and geologic data // *Journal of Geophysical Research.* – 2005. – V. 110. – B07401. – doi:10.1029/2004JB003307.
2. *Meade B.* Present-day kinematics at the India-Asia collision zone // *Geology.* – 2007. – V. 35. – P. 81–84. – doi: 10.1130/G22924A.1.
3. *Flesch L.M., Haines A.J., Holt W.E.* Dynamics of the India-Eurasia collision zone // *Journal of Geophysical Research.* – 2001. – V. 106. – P. 16435-16460.
4. *Батугина И.М., Петухов И.М.* Геодинамическое районирование месторождений при проектировании и эксплуатации рудников. – М., 1988. – 166 с.
5. *Гусева Т.В., Мишин А.В., Сквородкин Ю.П.* Современные горизонтальные движения на разных масштабных уровнях // *Физика Земли.* – 1996. – №12. – С. 86-91.
6. *Татаринов В.Н., Татаринова Т.А.* Учет масштабного эффекта при наблюдениях за деформациями земной поверхности спутниковыми навигационными системами // *Маркшейдерский вестник.* – 2012. – №5. – С. 15-19.

ИЗУЧЕНИЕ РАЗЛИЧНЫХ НАРУШЕНИЙ СПЛОШНОСТИ ПОРОД ГЕОФИЗИЧЕСКИМИ МЕТОДАМИ В ПРОЦЕССЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ДЕФОРМАЦИЙ АРХИТЕКТУРНЫХ ПАМЯТНИКОВ

З.Р. Умурзакова¹, Р.К. Умурзаков²

¹Государственное предприятие «Институт ГИДРОИНГЕО»,

²НПЦ «Геология гидроминеральных ресурсов» г.Ташкент, ул.Олимлар, 64.

E-mail: hydrouz@olam.uz

В Республике Узбекистан большое внимание уделяется охране и реставрации историко-архитектурных памятников. Одной из наиболее важных задач является выявление причин различных разрушений, которым подвергаются многие архитектурные памятники. К таким неблагоприятным явлениям относятся: деформации, просадки, трещины в зданиях и сооружениях. Причинами этих неблагоприятных явлений может быть неоднородность инженерно-геологических условий в основаниях под инженерными сооружениями.

Для изучения состояния оснований и фундамента памятников архитектуры в различных городах Республики Узбекистан были проведены ком-

плексные инженерно- геологические и гидрогеологические исследования с применением геофизических методов. Инженерно-геологические и гидрогеологические исследования по своей сущности сопровождаются дорогостоящим и требующим большой затраты времени бурением многочисленных скважин, которое сопровождается сильной вибрацией оснований, что недопустимо.

Положение коренным образом меняется в случае использования геофизических методов исследований, в частности, электроразведки и микросейсмометрии. Эти работы являются наиболее экономичными и приемлемыми для этих условий, особенно по сравнению с традиционными трудоемкими буровыми и горнопроходческими работами. Наземные электроразведочные работы не разрушают структуру грунта и не могут повлиять на устойчивость исторических памятников.

Проведенные в последние годы в городах Самарканд, Шахрисабз, Бухара и Хива комплексные инженерно-геологические и гидрогеологические исследования с применением электроразведочных методов позволили более полно, чем ранее, осмыслить и детально охарактеризовать инженерно-геологическую и гидрогеологическую ситуации грунтов оснований исторических сооружений. Электроразведочные работы методом вертикального электрического зондирования (ВЭЗ), решая инженерно-геологические задачи, изучают верхнюю часть разреза с необходимой детальностью. При этом речь идет о выяснении особенностей залегания грунтов различного состава и определения их свойств. Одновременно изучаются разнообразные физические поля (ρ_k), характерные для обследуемых участков и дается анализ изменений геологической среды, которые могут произойти под влиянием как природных, так и техногенных факторов.

Электроразведочные работы были проведены в архитектурных ансамблях, расположенных в городах: Самарканд (медресе Тилля-Кари и Шахи-Зинда), Бухара (Нодир-Девон-Беги, Исмаил-Саманий, Намазгах и Хаузи-Нау), Хива (Джума-Мечет и Сайд Шоликорбой) и Шахрисабз (Ак-Сарай). Во всех перечисленных исторических памятниках использованными геофизическими методами:

- определена увлажненность пород под фундаментом сооружений;
- выделены зоны различных нарушений сплошности пород;
- изучен литологический состав пород;
- определена глубина залегания грунтовых вод.

Картирование границы пород с нарушенными структурами и областей распространения литологических неоднородностей позволило по граничным условиям электрического поля ρ_k выделить в разрезах границы, ширину и глубину нарушенных зон.

Методика определения различных зон нарушений и контактов пород по данным ВЭЗ обосновывается тем, что при прохождении электрического тока на контакте двух сред формируются граничные условия электрического поля.

Если четырехэлектродную AMNB симметричную установку ВЭЗ разместить над вертикальной линией контакта пород с электрическими сопро-

тивлениями ρ_1 и ρ_2 перпендикулярно, то величина ρ_k не будет зависеть от размеров разносов питающей АВ и приемной MN и будет равна

$$\rho_k = \frac{\rho_1 + \rho_2}{2} \quad (1)$$

Если установку разместить вдоль линии контакта, то ρ_k^1 также не будет зависеть от размеров разносов и будет равна

$$\rho_k^1 = \frac{2\rho_1\rho_2}{\rho_1 + \rho_2} \quad (2)$$

Отсюда следует, что если наблюдения двух точек ВЭЗ, расположенных по обе стороны контакта, представить в виде электропрофилей с соответствующими полуразносами АВ:2, то над плоскостью вертикального контакта все электропрофили будут пересекаться в одной точке с кажущимся электрическим сопротивлением (в первом случае) и ρ_k^1 (во втором), при размещении разносов параллельно плоскости контакта. Если же плоскость контакта наклонена, то точка пересечения электропрофилей с ρ_k или ρ_k^1 сместится по глубине в сторону падения контакта. При проведении полевых работ должно выполняться условие, чтобы на всех точках ВЭЗ азимут разносов АВ и MN был одинаковым.

Обработку материалов ВЭЗ производят в следующей последовательности. Наблюдения ВЭЗ представляют в виде графиков электропрофилей: по оси абсцисс в арифметическом масштабе откладывается расстояние между точками ВЭЗ (горизонтальное положение, а по оси ординат (вверх) – величины ρ_k в логарифмическом масштабе. Все получающиеся точки пересечения электропрофилей будут иметь координаты: по оси абсцисс – величина проекции точки пересечения на ось абсцисс (считая по профилю от левой точки ВЭЗ), а по оси ординат, на глубину (вниз от дневной поверхности), равную:

$$\frac{AB:2 = (AB:2)i + (AB:2)j}{2} \quad (3)$$

где (AB:2)i и (AB:2)j – полуразносы питающих линий; при которых получились пересечения электропрофилей. По этим координатам все точки пересечения электропрофилей выносят на геолого-геофизический или геоэлектрический разрез.

При решении геофизических задач создаются цифровые карты различной тематики, а также готовые геоинформационные технологии нового поколения. Например, во дворце Ак-Сарай в г. Шахрисабзе в суглинистых отложениях была выделена, по граничным условиям электрического поля (P_k), зона структурного нарушения (ослабленная зона), т.е. установлен контакт между нарушенными структурами и ненарушенными плотными суглинистыми отложениями с относительно высоким значением удельного электрического сопротивления 25-26 Ом·м. Для проведения работ на местности, а так-

же для корректного составления графических изображений по результатам работ были использованы компьютерные данные.

Ниже на примере различных участков исследований постараемся объяснить природу ослабленных зон, выявленных геофизическими методами.

В результате проведения электроразведочных работ методом ВЭЗ на участке медресе Тилля-Кари были выделены границы различных по электрическому сопротивлению пород, что является границей грунтов с различной влажностью, так называемых «ослабленных зон» шириной 15-20 м. Удельное электрическое сопротивление резко меняется от 6-12 до 21-85 Ом·м.

Для выявления пространственного расположения выявленных ослабленных зон нами была построена блок-диаграмма геофизического строения под фундамент сооружения медресе Тилля-Кари.

Выявлено, что с ослабленными зонами совпадают перепады электрических слоев, а именно вдоль западной стены мощность слоя увеличивается от 2,5 м до 4,5 м.

Выявлено совпадение мест деформации стен медресе Тилля-Кари с ослабленными зонами.

В установленных нарушенных структурах постепенно происходит развитие негативных инженерно-геологических процессов и вследствие чего в сооружениях происходят деформации и разрушения.

Установлено, что нарушенные структуры являются «ослабленными зонами», они выступают в качестве водопроницающих, водопоглощающих, уско-ряющих гидрогеологические процессы и естественно инженерно-геологические процессы. Все вышеуказанные процессы относятся к разряду геологических и изучение их требует специальных подходов.

Литература

1. *Умурзаков К.Р., Корянов А.В.* Интерпретация результатов геофизических методов разведки в Узбекистане. – Ташкент: ФАН, 1982.
2. *Пичугин Н.И.* Картирование крутых контактов и тектонических нарушений по данным ВЭЗ // Разведка и охрана недр. – 1960. – № 9.

НЕКОТОРЫЕ МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ И ПУТИ ИХ РЕШЕНИЯ В ИНЖЕНЕРНОЙ ГЕОЛОГИИ И СМЕЖНЫХ НАУКАХ

В.И. Федодеев

Военно-технический университет Министерства обороны РФ,
г. Балашиха, ул. Карбышева, д. 8.

Развитие любой отрасли науки, включая и инженерную геологию, и механику грунтов, обусловлено практическими нуждами человечества. Основными требованиями, предъявляемыми к результатам научных исследований, являются объяснение свойств изучаемого объекта и процессов, протекающих в нем и изменяющих его состояние. Все это должно отображаться в количественной форме и быть привязанным как к пространственным координатам, так и ко времени.

Подобные результаты могут быть использованы для прогнозирования изменения свойств и состояния изучаемого объекта, что позволит выбрать оптимальный вариант решения стоящей хозяйственной задачи. Таким образом, одной из главных проблем методологического плана является проблема повышения прогностических возможностей данной отрасли науки.

В инженерной геологии и механике грунтов, помимо указанной, существует еще целый ряд методологических проблем. К ним относятся количественный учет физико-химических процессов и поверхностных явлений, определяющих механические свойства дисперсных грунтов и их изменение во времени. В свою очередь, это требует создания методики перехода в рассмотрении указанных процессов и явлений с микро- на макроуровень, а также решения других частных вопросов.

В цитированных ниже работах автора указанные проблемы решены в первом приближении, что, естественно, не умаляет актуальности и необходимости отыскания их уточненных решений в дальнейшем.

В работах Е.М. Сергеева и его сотрудников, например, в [5], подчеркивается исключительная важность и необходимость прогнозирования экзогенных геологических процессов и повышения качества такого прогнозирования, поскольку от этого зависят проектные решения и, естественно, судьба возводимых сооружений. Таким образом, одним из основных показателей практической значимости инженерной геологии являются ее прогностические возможности.

При решении инженерных задач в механике грунтов и в инженерной геологии используют аппарат и методы «классической» механики. При этом прогнозирование состояния объектов и развивающихся в них процессов либо вообще не предусматривается, либо осуществляется опосредованно с использованием прогнозных данных о процессах, происходящих вне грунтовых массивов. В механике грунтов для расчета устойчивости оснований исполь-

зуют дифференциальные уравнения статического равновесия [4], определяя при этом условие предельного равновесия, а прогнозирование изменения последнего не осуществляется. В инженерной геологии, например, при решении проблемы оползней, расчеты сводятся к определению так называемого коэффициента устойчивости K_y склона.

Коэффициент K_y не зависит от времени t , поэтому он рассчитывается для произвольного момента, а его изменение, приводящее к развитию оползней, определяют экспериментально в течение ограниченного отрезка времени. Прогнозирование оползней осуществляют при этом на основе регрессионно-корреляционного анализа, сопоставляя ряды наблюдений за изменением K_y с более представительными рядами изменения внешних условий (количеством выпавших осадков, температурой, солнечной активностью и т.п.). Поскольку входящий в K_y модуль сдвига не детерминирован и зависит от многих внешних факторов, установить причинно-следственные связи и составить надежный прогноз оползней невозможно. Все это свидетельствует о том, что применяемые в инженерной геологии и механике грунтов расчетные методы существенно снижают их прогностические возможности.

Из физики известно, что материальному миру присущи два, казалось бы взаимоисключающих свойства: непрерывность и дискретность. Это относится ко всем веществам, в том числе и к горным породам. Механические свойства дискретных (дисперсных) сред зависят от распределения по размерам числа частиц в объеме исследуемого образца. Для квазиоднородных сред, очевидно, существует некое максимальное значение такого объема, дальнейшее увеличение которого не приводит к изменению указанных свойств. В связи с этим возникает проблема выбора размеров такого образца, объем которого будет в этом смысле представительным для данной дисперсной системы, в частности – горной породы.

Представительный объем дисперсной горной породы является ее фундаментальной характеристикой, позволяющей перейти в описании процессов с микро- на макроуровень. Его величина определяется постановкой и целями решаемой задачи, задающими масштаб исследований, характеристиками дисперсности породы и разрешающей способностью измерительной техники, применяемой для оценки этих характеристик. Проиллюстрируем последнее двумя примерами. Для описания установившегося движения массива водонасыщенной квазиоднородной песчано-глинистой породы можно использовать уравнения гидродинамики, отбросив в них инерционные члены [6]. Такая порода в общем случае может быть представлена моделью (реологическим уравнением) Максвелла. Если в полученном в [7] решении этого уравнения

$$P = P_0 e^{-\frac{t-t_0}{T_r}} + 2\eta_s \dot{\epsilon}_\Sigma \left(1 - e^{-\frac{t-t_0}{T_r}} \right) \quad (1)$$

заменить P_0 на модуль деформации G_M , что справедливо при $t \rightarrow t_0$, то при $t \rightarrow \infty$ из (1) следует, что рассматриваемая порода является вязким телом. Ее статическая вязкость η_s определяется по формуле, полученной в [7], и зави-

сит от размера l_0 представительного объема. Линейный размер l_0 определен в [8] с учетом гранулометрического состава породы, полученного с помощью ситового и микроскопического анализа. Расчеты с применением математической статистики показали, что $l_0 \approx 10^2$ м, при этом в представительном объеме содержится 10^3 песчаных частиц среднего размера $R_n \approx 120$ мкм, что с учетом эффективной пористости и толщины глинистых оболочек и дает полученное значение l_0 .

Оценка η_s по формулам, приведенным в [7,8] с учетом найденного значения l_0 совпадает с вязкостью глинистых пород, определенной экспериментально статическими методами, и составляет $\approx 10^5$ МПа·с (10^{12} пз). Использование этого значения η_s позволило корректно решить задачу о движении водонасыщенной толщи суглинка в оползневом склоне [6].

Другим примером исключительной важности величины l_0 является ее использование при решении задачи о хрупком разрушении породы в неводонасыщенной части тех же оползней. В [9] приведены соотношения для напряжения, возникающего в породе при ее деформировании, включающие помимо вязкости и модуль деформации $E = G_M$. Эти параметры целесообразно определять непосредственно в массиве склона с помощью сейсмоакустического "просвечивания" последнего с измерением скоростей распространения упругих волн. В этом случае песчано-глинистые отложения являются упруго-вязкими телами, описываемыми реологическим уравнением Кельвина – Фойгта.

На основе приведенных в [7] выражений для T_r , G_M и η_s , а также полученных в [10] соотношений для эффективных скоростей продольных C_{p3} и поперечных C_{s3} волн в работе [11] выведены формулы, связывающие вязкость η и модуль деформации $E = G_M$ породы с указанными скоростями волн и размером l_0 ее представительного объема:

$$\eta = \eta_w \frac{20\sqrt{2} \sin \gamma_1 l_0^2 C_{p3}}{k_s R_{10}^2 C_{s3}}, \quad (2)$$

$$C_{p3} = \frac{k_s E}{4\sqrt{6} \eta} l_0. \quad (3)$$

Очевидно, что в (2) и (3) вязкость и модуль деформации являются динамическими параметрами $\eta = \eta_d$, $E = E_d$ поскольку они определяются для интервалов времени $(t-t_0)$, соизмеримых с периодом собственных колебаний породы, составляющим $10^{-1} \div 10^{-2}$ с [10]. В (2) и (3) η_d и E_d зависят от размера l_0 представительного объема, который должен быть существенно больше, чем полученное в [6,8] значение $l_0 = 10^2$ м.

При изучении горных пород сейсмоакустическими методами вводятся понятия «активного» объема W и глубины l «захвата» упругих волн [2,3], которым соответствует постоянство скорости распространения последних, т.е. однородность массива. Величина l равна четверти длины волны [2]. Для исследованного в [6] суглинка характерно преобладание низкочастотных

$(10 \div 20 \text{ с}^{-1})$ составляющих в спектре собственных колебаний [10]. При скорости таких волн, равной $C_{p\text{э}} = 1620 \text{ м/с}$ их длина составляет $\approx 160 \div 80 \text{ м}$, а глубина «захвата» – $l \approx 40 \div 20 \text{ м}$. По аналогии с представительным объемом, активный объем W должен содержать 10^3 элементарных макрообъемов, обладающих в среднем такими же свойствами, как и W в целом. Подобный макрообъем в выбранном масштабе исследований (W) является представительным и его линейный размер равен $l_0 = 0,1l = 4 \div 2 \text{ м}$. Подставив значение $l_0 = 2 \text{ м}$ в (2), а также использованные в [11] величины других параметров, получаем $\eta = \eta_d \approx 0,4 \cdot 10^6 \text{ МПа}\cdot\text{с}$ ($4 \cdot 10^{12} \text{ пз}$), что приблизительно в четыре раза больше статического значения вязкости η_s [6]. С учетом этого на основе (3) находим для динамического модуля деформации $E_d \approx 4,4 \cdot 10^8 \text{ МПа}$.

Связь между модулем E_0 общей (статической) деформации и E_d дается соотношением [2]:

$$E_0 = 2\eta_d E_d / (2\eta_d + E_d \frac{P_1}{V}), \quad (4)$$

где P_1 – давление в штампе ($0,1 \div 0,2 \text{ МПа}$), V – скорость нагружения образца ($0,25 \div 0,5 \text{ МПа/час}$). Если принять $P_1 = 0,2 \text{ МПа}$, $V = 0,25 \text{ МПа/час}$, то с учетом рассчитанных величин η_d и E_d по формуле (4) получаем $E_0 \approx 27 \text{ МПа}$, что является средним значением этого показателя для суглинков твердой консистенции [4].

Приведенные примеры подтверждают не только исключительную важность такой характеристики породы, как представительный объем, но и указанную выше двойственность возможных представлений о свойствах этого вещества. В первом примере движение типично дисперсного грунта (суглинка) описывается уравнениями механики сплошной среды, что обусловлено выбранным временным масштабом, а также разрешающей способностью измерительной техники, применяемой для определения размеров твердых частиц. Во втором примере и масштаб исследований, и возможности метода измерений неразрывно связаны между собой и определяются упругими свойствами породы. Такая порода не обязательно должна представлять собой песчано-глинистые отложения она может быть и скальной, а ее «макродисперсность» – определяться трещиноватостью, либо литологической неоднородностью. В последнем случае и дисперсная фаза, и дисперсионная среда являются твердыми веществами, т.е. в целом – это природный геокомпозит.

Дисперсные вещества исследуются в физико-химической механике гетерогенных систем. Основные положения этой дисциплины излагаются в учебниках и монографиях по механике грунтов, грунтоведению и инженерной геологии. В подобных изданиях указанному вопросу выделяется достаточный объем [1], но в дальнейшем изложении приведенные там сведения нигде не используются. Это обусловлено тем, что в физико-химической механике гетерогенных систем все процессы и явления традиционно рассматриваются на микроуровне, а переход на макроуровень является весьма сложной проблемой.

Автор данной статьи в цикле работ [6-14] решил в какой-то мере указанные выше проблемы, сочетая геологические данные и представления и методы физико-химической механики. Это позволило существенно расширить прогностические возможности инженерной геодинамики. Определив величину представительного объема породы, автору удалось перейти в описании процессов с микро- на макроуровень и детерминировать входящие в уравнения движения и деформирования феноменологические параметры (η , G_M). На основе этого установлены причинно-следственные связи между свойствами пород, внешними воздействиями на них и геологическими процессами на склонах (оседаниями грунтов и оползнями). Дано количественное описание стадий развития во времени и конечных результатов этих процессов, т.е. по сути дела решена задача их прогнозирования на локальном уровне.

Разумеется, автор далек от мысли, что ему удалось решить рассмотренные здесь проблемы во всем многообразии их аспектов. Однако, полученные результаты качественно и количественно совпадают с натурными данными, что вселяет определенный оптимизм. Выполненные работы, по-видимому, являются пионерскими и в дальнейшем могут быть улучшены как в смысле развития заложенных в них идей, так и в смысле усовершенствования использованного математического аппарата.

В региональной инженерной геологии также одной из проблем является повышение ее прогностических возможностей. Применяемые в этой дисциплине методы прогнозирования, такие как экспертных оценок, аналогий, распознавания образов по сути являются анахронизмами (достойны дельфийских мудрецов), либо, как методы регрессионно-корреляционного анализа, не устанавливают причинно-следственные связи между геодинамическими процессами и внешними воздействиями на грунты, т.е. не обеспечивают однозначность прогнозов.

По-видимому, для регионального прогнозирования следует использовать результаты локальных прогнозов. Изучив карты инженерно-геологической и топографической съемок соответствующего масштаба, всегда можно выделить участки, где наиболее вероятно развитие опасных геодинамических процессов. Если для этих «ключевых» участков составить прогноз указанных процессов, используя геологическую информацию и аппарат физико-химической механики, то на основе таких прогнозов можно выбрать оптимальный вариант размещения в данном регионе инженерных сооружений.

Резюмируя все вышеизложенное, следует подчеркнуть, что одной из основных методологических проблем таких наук, как инженерная геология и механика грунтов, является проблема повышения их прогностических возможностей. Решить эту проблему можно путем дальнейшей интеграции геологии с точными науками, в частности – с физико-химической механикой гетерогенных систем. Чтобы такая интеграция стала реальностью, необходимо в геологических и строительных вузах (факультетах) подготавливать

соответствующих специалистов, введя в учебные программы курс «Физико-химическая геомеханика» и составив предварительно учебник по этому курсу.

Литература

1. *Вялов С.С.* Реологические основы механики грунтов. – М.: Высш. шк., 1978. – 447 с.
2. *Горяинов Н.Н., Ляховицкий Ф.М.* Сейсмические методы в инженерной геологии. – М.: Недра, 1979. – 144 с.
3. *Савич А.И., Яценко З.Г.* Исследование упругих и деформационных свойств горных пород сейсмоакустическими методами. – М.: Недра, 1979. – 216 с.
4. Справочник по инженерной геологии / Под ред. М.В. Чуринова. – М.: Недра, 1968. – 540 с.
5. Теоретические основы инженерной геологии. Геологические основы / Под ред. Е.М. Сергеева. – М.: Недра, 1985. – 332 с.
6. *Федодеев В.И.* Моделирование склоновых процессов на берегах водоёмов // Геоэкология. – 2004. – №6. – С. 517-525.
7. *Федодеев В.И.* Реологические модели и пространственно-временные масштабные эффекты в механике дисперсных сред // Сергеевские чтения. Сб. науч. тр. Выпуск 11. – М.: ГЕОС, 2009. – С. 232-236.
8. *Федодеев В.И.* Моделирование оползней / Электростальск. политехн. ин-т. – Электросталь, 2003. – 24 с. Деп. ВИНТИ 2.06.2003. №1072-В2003.
9. *Федодеев В.И.* Динамика оползней и выдавливания на береговых склонах // Доклады РАН. – 2009. – Т. 426. – №3. – С. 364-368.
10. *Федодеев В.И.* Физико-химическая механика и сейсмические свойства полидисперсных грунтов // Доклады РАН. – 2011. – Т. 439. – №1. – С. 86-91.
11. *Федодеев В.И.* Об определении свойств грунтов при прогнозировании оползней // Проблемы снижения природных опасностей и рисков. Т. 1. Сб. науч. тр. – М.: РУДН, 2012. – С. 236-242.
12. *Федодеев В.И.* Динамика малых объёмов, вязкость и уравнение состояния насыщенных полидисперсных пород // Изв. вузов. Сев.-Кавказ. регион. Техн. Науки. – 2005. – Прил. к №1. – С. 15-53.
13. *Fedodeyev V.I.* Molecular interaction of disk – shaped colloidal particles // Colloid. Surf. A. – 1999. – V. 160. – №2. – P. 120-133.
14. *Федодеев В.И.* Об ионных атмосферах и взаимодействии частиц в природных дисперсиях // Доклады РАН. – 1997. – Т. 352. – №2. – С. 248-252.

СИСТЕМАТИЗАЦИЯ МЕТОДОВ ИЗУЧЕНИЯ НАПРЯЖЁННОГО СОСТОЯНИЯ МАССИВОВ ГОРНЫХ ПОРОД ПО ИНФОРМАЦИОННОМУ КРИТЕРИЮ

В.Н. Широков

МГУ им. М.В.Ломоносова, геологический факультет, 119899, Москва, Ленинские горы, д. 1.
E-mail: shirokov@geol.msu.ru

Под естественным напряженным состоянием массивов горных пород мы будем понимать совокупность напряжений, формирующихся в массивах вследствие комплексного воздействия как естественных (природных), так и

техногенных факторов. В их число входят силы гравитации, вертикальные и горизонтальные движения земной коры, процессы денудационного среза и переотложения горных пород, температурное поле, взвешивающее и гидродинамическое воздействие подземных вод, геохимические процессы, а также дополнительные пригрузки массивов, искусственные выемки и т.п.

Изучение, оценка и прогноз напряженного состояния массивов горных пород на разных этапах их изучения осуществляется на различных масштабных уровнях с использованием методов, существенно отличающихся друг от друга, прежде всего, их физической основой. На стадии региональных исследований для первичной оценки напряженно-деформированного состояния массивов горных пород широко используют анализ геологического строения района, включая изучение тектонических структур, сейсмической активности и распределения параметров геофизических полей. В ходе детальных работ оценка напряженного состояния массивов осуществляется по материалам либо изучения керна геологоразведочных скважин и результатам их каротажа, либо специальных исследований, выполняемых на обнажениях и в горных выработках. Она основывается на результатах изучения физических и физико-механических свойств пород, остаточных проявлений напряжений в образцах и в массиве, характере разрушения стенок скважин и дискования керна и т.п. Кроме того, в процессе изучения напряженного состояния массивов горных пород широко используются разнообразные методы математического и физического моделирования.

Все многообразие методов изучения напряженно-деформированного состояния массивов горных пород может быть классифицировано по целому ряду критериев: положенным в основу физическим принципам [31,35], объектам исследований [1,7], стадиям изучения напряженного состояния пород [19,33] и т.п. С точки зрения дальнейшего использования информации о напряженно-деформированном состоянии весьма важной является её оценка по следующим позициям: а) содержание получаемой информации, б) её источник, в) отражаемый ею масштабный уровень, г) её характер или её достоверность.

Анализируя **содержание информации**, получаемой в массивах, горных породах либо на их моделях, следует иметь в виду, что она может отражать как напряжения, действующие в изучаемом объекте в настоящее время, иначе говоря, современные напряжения, так и те напряжения, под влиянием которых данный объект находился в прошлом, т.е. палеонапряжения. Как современные, так и палеонапряжения должны характеризоваться двумя параметрами, а именно – ориентировкой в пространстве и величиной напряжений.

Источником информации о напряженном состоянии изучаемых объектов могут служить либо природные тела – массивы горных пород и собственно горные породы, либо их модели. Последние в соответствии со взглядами на теорию моделирования могут быть разделены на математические (или знаковые) и физические. Среди математических моделей принято выделять их аналитические (например, модели сплошных и дискретных сред, модели упругого и упруго-пластического деформирования и пр.) и численные (МКР,

МКЭ, МГЭ и т.п.) разновидности. В свою очередь физическое моделирование может быть основано на использовании эквивалентных материалов, электрогидродинамических аналогий и т.д.

Для практического применения данных о напряженно-деформированном состоянии чрезвычайно важным является также их чёткая привязка к **масштабному уровню** объекта исследований. Таковыми, как известно [25], могут быть: кристалл, порода, зона влияния сооружения и, наконец, собственно массив.

1. Содержание информации [I, II; 1, 2]

- 1.1. Возраст напряжений [I, II]
 - 1.1.1. *Современные* [I]
 - 1.1.2. *Палеонапряжения* [II]
- 1.2. Параметры структуры поля напряжений [1, 2]
 - 1.2.1. *Ориентировка напряжений* [I₁, II₁]
 - 1.2.2. *Величины напряжений* [I₂, II₂]

2. Источник информации (изучаемый объект) [А, Б; 1, 2; 1¹, 2¹, 3¹, 4¹]

- 2.1. Природные объекты [А]
 - 2.1.1. *Массивы* [А₁]
 - 2.1.2. *Горные породы (образцы)* [А₂]
- 2.2. Модели [Б]
 - 2.2.1. *Математические* [Б₁]
 - 2.2.1.1. Аналитические [Б₁¹]
 - 2.2.1.2. Численные (МКР, МКЭ, МГЭ и т.п.) [Б₁²]
 - 2.2.2. *Физические* [Б₂]
 - 2.2.2.1. Эквивалентные материалы [Б₂¹]
 - 2.2.2.2. Электроинтеграторы [Б₂²]
 - 2.2.2.3. Фотоупругие материалы [Б₂³]
 - 2.2.2.4. Тензометрическая сетка [Б₂⁴]

3. Масштабный уровень информации [1, 2, 3, 4]

- 3.1. Кристалл [1]
- 3.2. Порода [2]
- 3.3. Зона влияния [3]
- 3.4. Массив [4]

4. Характер информации или её достоверность [а, б; 1, 2]

- 4.1. Прямые данные (измерение напряжений) [а]
- 4.2. Косвенные данные [б]
 - 4.2.1. *Механические (измерение деформаций)* [б₁]
 - 4.2.2. *Физические (измерение скоростей, сопротивлений и т.п.)* [б₂]

Рис. Систематизация методов изучения напряжённого состояния по информационному критерию

Таблица

**Характеристика методов изучения напряжённого состояния
горных пород и массивов с учётом получаемой информации**

№ п/п	Методы	Индекс	Область применения	Источник
1	Анализ микроструктурных ориентиров в кристаллах	П ₁ -А ₂ -1-б	Тектонофизика, петрология	19, 22
2	Рентгеноструктурный анализ	П ₂ -А ₂ -1-б	Тектонофизика, инженерная геология, петрология	37, 38
3	Анализ разрывной тектоники (метод вторичных нарушений)	П ₁ -А ₁ -4-б	Тектонофизика	16, 19, 22, 27, 34, 36
4	Кинематический анализ плоскостей разрушения	И ₁ -А ₁ -4-б	Тектонофизика, инженерная геология	4, 19, 22, 27
5	Метод М.В. Гзовского	П ₁ -А ₄ -б	Тектонофизика	19, 22
6	Метод П.Н. Николаева		Тектонофизика	19, 22
7	Дистанционные наблюдения сети линейментов	П ₁ -А ₁ -4-а	Тектонофизика	19, 22
8	Анализ состояния (дискования) керна скважин	И ₂ -А ₂ -2-б	Горное дело, инженерная геология	10, 19
9	Анализ разрушения стенок и естественного искривления скважин (метод удлинения ствола)	И ₁ -А ₁ -4-б	Горное дело, инженерная геология	17, 19, 34, 36
10	Визуальное обследование характера разрушений на контуре горных выработок	И _{1,2} -А ₁ -4-б	Горное дело, инженерная геология	19, 36, 38
11	Свободная разгрузка образцов керна	И _{1,2} -А ₂ -2-б ₁	Горное дело, инженерная геология	3, 11, 30
12	Испытания образцов при статическом нагружении	П ₂ -А ₂ -2-а	Горное дело, инженерная геология	12, 35, 38
13	Метод акустической эмиссии	П ₂ -А ₁ -2-а	Горное дело, инженерная геология	15, 24, 31, 36, 38, 39
14	Метод естественной электромагнитной индукции	И _{1,2} -А ₁ -3-б ₂	Горное дело, инженерная геология	2
15	Наземные методы сейсмоакустики и гравиразведки	И ₂ -А ₁ -4-б ₂	Тектонофизика, инженерная геология	19
16	Метод разгрузки: варианты полной и частичной разгрузки	И _{1,2} -А ₂ -2-б ₁	Горное дело, инженерная геология, гидротехника	9, 19, 36, 38
17	Метод разгрузки: вариант восстановления или компенсационной нагрузки	И _{1,2} -А ₁ -3-а	Горное дело, инженерная геология, гидротехника	9, 19, 38
18	Скважинные варианты метода разгрузки с использованием различных схем	И _{1,2} -А ₂ -б ₁	Горное дело, инженерная геология, гидротехника	9, 19, 28, 29, 36, 38
19	Скважинные варианты метода возмущений	И _{1,2} -А ₂ -б ₂	Горное дело	38
20	Метод гидроразрыва	И _{1,2} -А ₁ -3-а	Инженерная геология, горное дело, нефтяная геология	19, 36, 38
21	Сейсмоакустические и ультразвуковые исследования в скважинах	И _{1,2} -А _{1,2} -2,4-б ₂	Инженерная геология, горное дело, гидротехника	19, 28, 34, 36, 38
22	Сейсмоакустический вариант метода разгрузки	И _{1,2} -А ₁ -3-б ₂	Инженерная геология, гидротехника	13, 34
23	Метод шахтной сейсморазведки	И ₁ -А ₁ -4-б ₂	Горное дело	19, 34
24	Метод эквивалентных материалов	И _{1,2} -Б ₂ ¹ -3,4-б	Инженерная геология, горное дело	7, 28, 32
25	Метод фотоупругости (поляризационно-оптический)	И _{1,2} -Б ₂ ³ -3,4-б	Инженерная геология, горное дело	5, 7, 28, 32, 36
26	Метод тензосетки	И _{1,2} -Б ₂ ⁴ -3,4-б	Инженерная геология	7, 28
27	Аналитические методы	И ₂ -Б ₁ ¹ -3,4-б	Инженерная геология, горное дело	14, 32
28	Численные методы	И _{1,2} , П _{1,2} -Б ₁ ² -3,4-б	Инженерная геология, горное дело, гидротехника, тектоника, петрология	14, 18, 20, 23

Говоря о **характере информации**, мы имеем в виду, что в процессе экспериментов измеряемым параметром могут быть как напряжения, так и иные физические величины – деформации, скорости распространения упругих волн, электрическое сопротивление и прочие показатели. Это обстоятельство позволяет все экспериментальные методы разделить на две группы: прямые методы, в ходе которых осуществляется непосредственный *замер* напряжений, и косвенные методы, которые предусматривают *расчёт* величин напряжений по функциональным или эмпирическим зависимостям.

Именно этот набор признаков, по нашему мнению, может быть положен в основу систематизации методов изучения напряженного состояния горных пород и массивов по информационному критерию. Присвоение каждому из признаков определенного индекса позволит для любого метода составить своеобразный паспорт, отражающий и характеризующий его потенциальные возможности. Принципиальная структура систематизации может быть представлена в следующем виде (см. рисунок).

Анализ литературы, посвященной изучению напряжённого состояния в тектонофизике, горном деле, инженерной геологии, петрологии и гидротехники, показал, что в этих областях геологии используется около 30 методов исследований, позволяющих получать информацию о напряжённом состоянии горных пород и слагаемых ими массивов. Их характеристика представлена в таблице.

Условия применения названных выше методов и имеющиеся ограничения в их применении рассмотрены в монографии «Моделирование полей напряжений в инженерно-геологических массивах» [21].

Литература

1. Ардашев К.А., Ахматов В.И., Катков Г.А. Методы и приборы для исследования проявлений горного давления. Справочник. – М.: Недра, 1981. – 128 с.
2. Безродный К.П., Басов А.Д., Романевич К.В. Контроль напряженно-деформированного состояния массива горных пород при строительстве тоннелей методом ЕЭМИ // Известия ТулГУ. Науки о Земле. – 2011. – №1. – С. 227-234.
3. Берон А.И., Чирков С.Е. Методические указания по определению напряженности горных пород по деформациям обратной ползучести. – М.: ИГД им. Скочинского, 1973.
4. Гуценко О.И. Метод кинематического анализа структур разрушения при реконструкции полей тектонических напряжений // Поля напряжений и деформаций в литосфере. – М., 1979. – С. 7-25.
5. Зайцев А.В. 3D модель напряженного состояния района Кольской сверхглубокой скважины (СГ-3) // Вестник МГУ. Сер. 4. Геология. – 2008. – №4. – С. 20-25.
6. Иванов В.И., Турчанинов И.А. Концентрация напряжений на забое скважины в условиях объемного сжатия: Сб. Измерение напряжений в массиве горных пород. – Новосибирск: ИГД СО АН СССР, 1979. – С. 26-35.
7. Изучение напряженного состояния массивов пород в инженерно-геологических целях / Научн. ред. Г.С. Золотарев, С.Н. Максимов. – М.: Изд-во Моск. ун-та, 1968. – 138 с.
8. Ильюшин А.А. Пластичность. Ч. 1. Упруго-пластические деформации. – М.-Л.: Гостехиздат, 1948. – 376 с.
9. Инструкция по инженерным изысканиям в горных выработках, предназначенных для размещения объектов народного хозяйства. СН 484-76. – М.: Стройиздат, 1977. – 40 с.

10. *Исаев А.В., Запругаев А.П.* Оценка напряженного состояния массива пород по дисконированию керна при выбуривании скважин // Геомеханическая интерпретация результатов натурального эксперимента: Сб. статей. – Новосибирск: ИГД СО АН СССР, 1983. – 96 с.
11. *Калинин Э.В., Ковалко В.В., Могилевцев В.А., Панасьян Л.Л., Сим Л.А., Широков В.Н.* Комплексное изучение напряженного состояния массивов горных пород при разведке месторождений полезных ископаемых // Вестн. Моск. ун-та, Сер. 4. Геология. – 1995. – № 2.
12. *Карташов Ю.М., Ильинов М.Д., Проскуряков Н.М.* Определение тензора напряжений горных пород в массиве по деформациям образцов // Диагностика напряженного состояния породных массивов / Отв. ред. М.В. Курленя. – Новосибирск: ИГД СО АН СССР, 1980. – С. 67-70.
13. Комплексные инженерно-геофизические исследования при строительстве гидротехнических сооружений / Под ред. А.И. Савича, Б.Д. Куюнджича. – М.: Недра, 1990. – 462 с.
14. *Курленя М.В., Серяков В.М., Еременко А.А.* Техногенные геомеханические поля напряжений. – Новосибирск: Наука, 2005. – 264 с.
15. *Лавров А.В., Шкуратник В.Л., Филимонов Ю.Л.* Акустоэмиссионный эффект памяти в горных породах. – М.: Изд-во МГГУ, 2004. – 456 с.
16. *Лукьянов А.Е.* Формирование современной гидрогеодинамической структуры петропавловского рудного поля (Южный Урал): Автореф. дис. ... канд. геол.-мин. наук. – Екатеринбург: ГОУ ВПО «Уральский государственный горный университет», 2008. – 16 с.
17. *Марысюк В.П.* Методика оценки напряженного состояния краевой части рудного массива при отработке глубоких рудников Талнаха: Автореф. дис. ... канд. техн. наук. – СПб.: Санкт-Петербургский государственный горный институт имени Г.В. Плеханова (технический университет), 2009. – 20 с.
18. *Мелешико А.В.* Методика расчета напряженно-деформированного состояния неоднородного слоистого массива при отработке пологих угольных пластов: Автореф. дис. ... канд. техн. наук. – СПб.: Санкт-Петербургский государственный горный университет, 2012. – 22 с.
19. Методические рекомендации по изучению напряженно-деформированного состояния горных пород на различных стадиях геологоразведочного процесса (МР 41-06-079-86). – М.: ВНИИгеоинформсистем, 1987. – 116 с.
20. Методические указания по оценке склонности рудных и нерудных месторождений к горным ударам. – СПб.: Санкт-Петербургский государственный горный университет, 2011. – 50 с.
21. Моделирование полей напряжений в инженерно-геологических массивах / Э. Калинин, Л. Панасьян, В. Широков и др. – М.: Изд-во Московского университета, 2003. – 261 с.
22. *Николаев П.Н.* Методика тектонодинамического анализа / Под ред. Н.И. Николаева. – М.: Недра, 1992. – 295 с.
23. *Оловянный А.Г.* Некоторые задачи механики массивов горных пород. – СПб.: ФГУП «Межотраслевой научный центр» ВНИМИ, ООО «Стресс», 2003. – 234 с.
24. *Панасьян Л.Л., Петровский М.А., Колегов С.А.* Определение напряжений в горных породах методом акустической эмиссии // Геофизические способы контроля напряжений и деформаций / Отв. ред. М.В. Курленя. – Новосибирск: ИГД СО АН СССР, 1985. – С. 7-11.
25. *Панасьян Л.Л., Широков В.Н.* Комплексное изучение напряженного состояния массивов по результатам испытания образцов (тезисы) // Всероссийская конференция «Управление напряженно-деформированным состоянием массива горных пород при открытой и подземной разработке месторождений полезных ископаемых». 23.05-25.05.1994. – Новосибирск – Екатеринбург, 1994. – С. 37-38.
26. *Рац М.В., Чернышев С.Н.* Трещиноватость и свойства трещиноватых горных пород. – М.: Недра, 1970. – 195 с.
27. *Сим Л.А.* Изучение тектонических напряжений по геологическим индикаторам (методы, результаты, рекомендации) // Изв. вузов. Геология и разведка. – 1991. – №10.
28. Теоретические основы инженерной геологии. Механико-математические основы / Под ред. акад. Е.М. Сергеева. – М.: Недра, 1986. – С.45-52.
29. Техника контроля напряжений и деформаций в горных породах / Отв. ред. чл.-корр. АН СССР В.В.Ржевский. – Л.: Наука, 1978. – 229 с.

30. Трушин А.В., Парамонов В.А., Федосова В.М., Торчинский В.М. Определение напряженно-деформированного состояния массивов по образцам керна глубоких скважин // Изучение и прогноз гидрогеологических и инженерно-геологических условий глубоких горизонтов месторождений полезных ископаемых. – М.: ВСЕГИНГЕО, 1986. – С. 78-82.
31. Трушин А.В., Федосова В.М., Парамонов В.А. Экспериментальное обоснование определения напряжений в массивах скальных пород по образцам на основе изучения акусто-эмиссионных эффектов при повторном нагружении // Прогнозная оценка гидрогеологических и инженерно-геологических условий месторождений твердых полезных ископаемых / Отв. ред. Г.Н. Кашковский. – М.: ВСЕГИНГЕО, 1992. – С. 39-57.
32. Турчанинов И.А., Иофис М.А., Каспарьян Э.В. Основы механики горных пород. – Л.: Недра, 1977. – 503 с.
33. Турчанинов И.А., Панин В.И. Геофизические методы определения и контроля напряжений в массиве. – Л.: Наука, 1976. – 163 с.
34. Управление горным давлением в тектонически напряженных массивах. Ч. 1 / Под ред. М.В. Курлени. – Апатиты: КНЦ РАН, 1996. – 161 с.
35. Широков В.Н. Новый подход к определению показателей физико-механических свойств скальных грунтов // Новые идеи в инженерной геологии: Тр. научной конференции. 17-18 сентября 1996 г., г. Москва. – М.: Изд-во Моск. ун-та, 1996. – С. 109-110.
36. Шкуратник В.Л., Николенко П.В. Методы определения напряженно-деформированного состояния массива горных пород. – М.: МГУ, 2012. – 111 с.
37. Шлыков В.Г. Рентгеновские исследования грунтов. – М.: Изд-во МГУ, 1991. – 183 с.
38. Ямщиков В.С. Контроль процессов горного производства. – М.: Недра, 1989. – С. 143-265.
39. Ямщиков В.С., Шкуратник В.Л., Лыков К.Г. Измерение напряжений в массиве горных пород на основе эмиссионных эффектов памяти // ФТПРПИ. – 1990. – №2.
40. Haimson B.C. The hydrofracturing stress measuring method and recent field results. – Int. journal. Rock Mech. and Mining Sciences Geomech. Abstr., 1978, v.15, №4, 167-178.

ОЦЕНКА АКТИВНОСТИ И МАСШТАБОВ РАЗВИТИЯ КАРСТА НА ТЕРРИТОРИЯХ ПЕРМСКОГО ПРЕДУРАЛЬЯ ПО ДАННЫМ ИЗУЧЕНИЯ ИХ ПРИРОДНОГО СТРОЕНИЯ

С.В. Щербаков

Пермский государственный национальный исследовательский университет, 614990, г. Пермь,
ул. Букирева, 15. E-mail: greyvtr@mail.ru

В Пермском крае в ходе работ (2006-2012 гг.) по обширному обобщению материалов инженерных изысканий и научно-производственных работ, проводившихся ранее на территориях развития карбонатно-сульфатного карста в области Среднего Предуралья, получены типовые распределения и установлены характерные зависимости, позволяющие косвенным образом, в результате изучения природных условий, оценивать опасность проявления карстового процесса. На основании изучения опыта и ранее предлагавшихся методов оценки карстоопасности предложен комплекс показателей, с разной стороны характеризующих природные условия развития карста, а также раз-

работана методика, позволяющая на базе статистического анализа устанавливать зависимости между карстовыми формами и рассматриваемыми показателями природного строения.

Предложенный перечень состоит из 17 показателей, разделенных на 5 групп [6]: структурно-тектоническую, геологическую, гидрогеологическую, геоморфологическую и инженерно-геологическую (табл. 1). Большинство из них являются широко распространенными в практике карстологических исследований и инженерно-геологических изысканий (показатели геологической, гидрогеологической и инженерно-геологической групп). Например, мощности различных литолого-стратиграфических комплексов и уровни подземных вод, а также их гидрохимический состав, выраженный в интегральной форме (минерализация), неоднократно применялись многими исследователями.

Таблица 1

Показатели природного строения к интегральной оценке карстоопасности

Структурно-тектонические показатели St :

1. Линейная плотность линеаментов L_l , км/км²
2. Количество пересечений линеаментов M_l , шт./км²
3. Блочность B_l , км²
4. Удаленность от линеаментов R_l , м

Геологические показатели G :

1. Мощность отложений покровной толщи (глубина залегания кровли карстующихся отложений) m_p , м
2. Мощность четвертичных отложений m_Q , м
3. Мощность неоген-четвертичных обвальнo-карстовых отложений m_{NQ} , м
4. Мощность некарстующихся скальных (коренных) отложений в покровной толще $m_{ск}$, м

Гидрогеологические показатели Hg :

1. Глубина установления грунтовых вод H_Q , м
2. Глубина установления трещинно-карстовых вод H_k , м
3. Минерализация подземных вод M , г/дм³

Геоморфологические показатели Ge :

1. Уклон рельефа β , °
2. Превышение над средним уровнем рек ΔH , м
3. Удаленность от речной сети U , м
4. Уклон водосбора $\tan \alpha$, д.е.

Инженерно-геологические показатели Eg :

1. Модуль общей деформации грунтов покровной толщи E_θ , МПа
2. Угол внутреннего трения грунтов покровной толщи φ , °
3. Удельное сцепление грунтов покровной толщи c , кПа

Применение механических характеристик грунтов покровной толщи отложений также не является новым. Деформационно-прочностные свойства грунтов являются необходимым атрибутом расчета параметров карстовых провалов с применением детерминистических подходов. Однако случаи вовлечения их в статистическую обработку и оценки на этом основании карстоопасности в инженерной практике единичны [1]. Рассмотрение механических свойств грунтов перекрывающей дисперсной толщи оправдано тем, что они являются основными показателями, характеризующими состояние грунтов и их поведение под действием нагрузок. По основным прочностным и деформационным характеристикам дисперсных грунтов можно косвенно судить об их составе, не прибегая к классификации с использованием качественных описательных характеристик (супесь, песок, суглинки и пр.). Например,

с увеличением удельного сцепления увеличивается «глинистость» грунтов, а с ростом значений угла внутреннего трения повышается «песчанистость». Низкие и близкие к нулю значения модуля общей деформации характерны для слабых органично-минеральных грунтов, в то время как высокие характеризуют пески повышенной крупности [3] (рис. 1.).

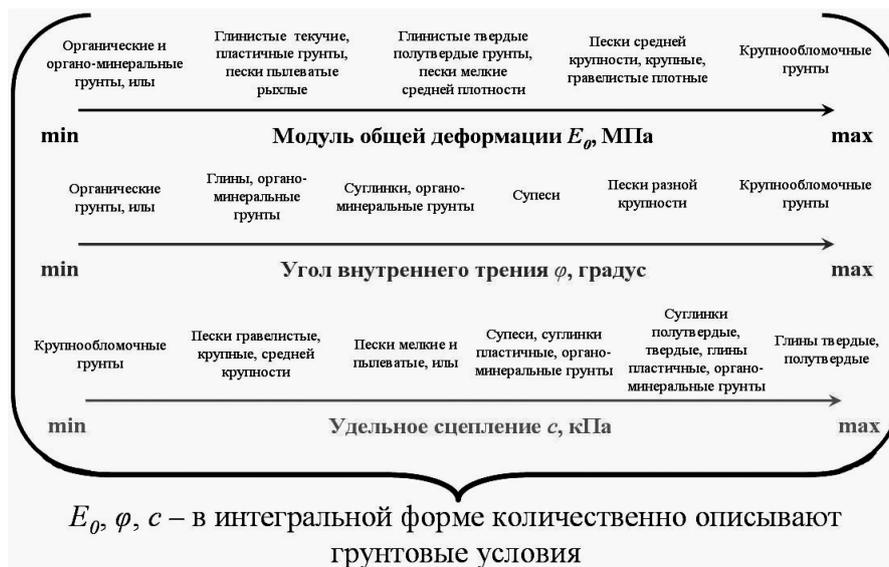


Рис. 1. Инженерно-геологические показатели к оценке карстоопасности

Отдельного внимания заслуживают показатели, характеризующие группы структурно-тектонического строения и геоморфологических условий. Использование показателей линеamentной тектоники при изучении структурной трещиноватости массива в последнее время является активно развивающимся направлением геологических исследований. Это продиктовано не только развитием компьютерных технологий и приборной базы, используемой для выполнения отдельных видов изыскательских работ (лазерное сканирование местности, георадарные съемки и т.д.), но и увеличением количества и разнообразия аэрофотоматериалов и космоснимков, находящихся в свободном доступе в сети Интернет. Имеющиеся на рынке специализированные программные продукты позволяют в автоматизированном режиме в сжатые сроки осуществлять анализ фотоматериалов, по результатам которого выделяются зоны линейной протяженности, в 80% совпадающие с проявлением глубинной тектоники и направлениями развития трещиноватости массива.

Рассматриваемые показатели линеamentной тектоники – линейная плотность L_l , количество пересечений M_l , блочность B_l – определяются в

площадном отношении, обычно в результате наложения на линеаментный рисунок квадратной сети наблюдений, по формулам [2]:

$$L_l = \frac{L}{S}, \quad M_l = \frac{M}{S}, \quad B_l = \frac{S_B}{N_B}, \quad (1)$$

где L – протяженность линеаментов, км; M – количество пересечений линеаментов, шт.; S – площадь, в пределах которой локализованы линеаменты, км²; S_B – суммарная площадь блоков, сформированных в результате пересечения линеаментов, развитых в пределах исследуемого участка, км²; N_B – количество блоков, развитых в пределах исследуемого участка, шт.

Удаленность от линеаментов R_l , м, устанавливается в результате построения буферных зон, равноудаленных от своей центральной оси, представленной непосредственно линеаментом [2].

В геоморфологическом отношении показатели, рассматриваемые в рамках одноименной группы, позволяют подчеркнуть горизонтальную и вертикальную зональности в развитии карста, наблюдаемые при удалении от речных долин. Их совместный анализ в количественной форме описывает действующую геоморфологическую обстановку без необходимости учета качественных категорий, часто применяемых при традиционном выделении таких геоморфологических элементов, как области поймы, комплекса речных террас и их уступов, водораздельной области (рис. 2).

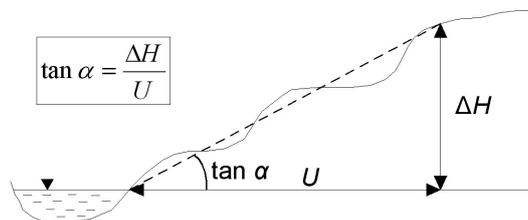


Рис. 2. Показатели геоморфологического строения

Объективность оценки карстоопасности во многом зависит от полноты учета сведений об имеющихся карстовых формах. В настоящем исследовании одинаково рассматривались как поверхностные (провальные воронки), так и подземные (полости, зоны дробления) карстопроявления [5].

Оценка влияния рассматриваемых показателей природного строения на опасность развития карста осуществлена посредством их сопоставления с исследуемыми карстовыми формами и их параметрами. Целью сопоставления явилось установление: 1) эмпирических и теоретических распределений карстовых форм по показателям природного строения; 2) характера и вида прогнозной зависимости морфометрических параметров карстовых форм от значений исследуемых показателей. Для этого применены методы картографического и графического моделирования с последующей аналитической обработкой количественных данных, детально рассмотренные в работе [4].

В результате анализа установлены типовые теоретические распределения карстовых форм по показателям природного строения, определены их параметры для осуществления прогноза активности карстового процесса. Выявлены и количественно описаны зависимости морфометрических характеристик карстовых форм от значений исследуемых показателей (табл. 2). Установленные зависимости рекомендуется использовать при оценке карстоопасности в ходе проведения инженерно-геологических работ на территориях развития карбонатно-сульфатного карста Пермского Предуралья.

Таблица 2

Параметры распределений карстовых форм, коэффициенты и виды прогнозных уравнений для различных показателей природного строения

Показатель	Прогноз активности развития карста				Прогноз масштабов развития карста		
	Макс. знач.	Среднее знач.*	Станд. откл.*	Закон распределения	Коэффициенты прогнозного уравнения *	Характер зависимости *	Коэффициенты прогнозного уравнения
					<i>a</i>	<i>b</i>	
L_l	14,7	-0,91	0,49	логнормальный	0,5092	-0,3081	экспоненциальная
M_l	70,7	-2,23	1,26	логнормальный	0,2495	-0,6664	степенная
B_l	2,9	-2,53	1,17	логнормальный	0,0116	1,6450	экспоненциальная
R_l	665,0	-2,12	1,09	логнормальный	0,0003	0,0049	линейная
m_p	80,7	-2,02	1,38	логнормальный	0,0049	0,0075	линейная
m_Q	36,6	-2,32	1,29	логнормальный	0,0105	0,1080	экспоненциальная
m_{NQ}	65,0	0,19	0,15	нормальный	0,0099	0,0984	экспоненциальная
H_Q	19,6	-1,37	0,62	логнормальный	0,3162	-0,2667	экспоненциальная
H_k	81,4	-1,39	0,96	логнормальный	0,0056	0,0067	линейная
M	21,2	-2,73	0,89	логнормальный	0,0384	0,8066	степенная
β	47,3	-3,57	0,98	логнормальный	0,4662	-0,8361	степенная
ΔH	114,7	0,52	0,18	нормальный	0,0059	0,0326	экспоненциальная
U	3028,7	-1,65	0,90	логнормальный	0,0003	0,0000	линейная
$\tan \alpha$	2,22	-3,34	0,74	логнормальный	0,0037	-1,2466	степенная
E_0	39,6	-0,98	0,37	логнормальный	0,5092	-0,3081	экспоненциальная
φ	38,4	-0,62	0,26	логнормальный	0,2495	-0,6664	степенная
c	58,5	0,38	0,15	нормальный	0,0116	1,6450	экспоненциальная

* Параметры теоретических распределений и прогнозных зависимостей приведены в индексной (нормализованной) форме

Частная методика интерпретации распределений и зависимостей, приведенных в табл. 2, при решении задач по прогнозированию опасности развития карста рассмотрена в работе [7]. В этой же работе приводится алгоритм построения интегральной модели, позволяющей учесть вклад всех отдельных показателей природного строения и, тем самым, получить комплексную обобщенную картину действительной карстоопасности.

Предложенный подход к прогнозированию карстового процесса в пределах Пермского Предуралья позволяет более объективно и целостно подходить к решению задач, связанных с оценкой карстоопасности территорий.

Его комплексирование с нормативно закрепленной методикой оценки устойчивости закарстованных территорий по интенсивности провалообразования и средним диаметрам провалов, а также с результатами расчетно-детерминистического моделирования размеров карстовых провалов позволит максимально точно определять степень карстоопасности изыскиваемых участков. Кроме того, применение установленных зависимостей в повседневной инженерно-геологической практике способствует повышению эффективности (в том числе и экономической) организации изыскательских работ.

Литература

1. *Адерхолд Г.* Классификация провалов и мульд оседаний в карстоопасных районах Гессена. Рекомендации по оценке геотехнических рисков при проведении строительных мероприятий / Под ред. Е.В. Копосова; пер с нем. В.В. Толмачева. – Н.Новгород: ННГАСУ, 2010. – 109 с.
2. *Золотарев Д.Р.* Результаты линеаментного анализа на закарстованных территориях Пермского края // Современные проблемы науки и образования. – 2012. – № 5. – [Адрес в сети Интернет: <http://www.science-education.ru/105-7233>] (дата обращения: 08.07.2013).
3. *Щербаков С.В., Катаев В.Н.* Механические свойства дисперсных грунтов территории г. Кунгур и их влияние на активность карста // Геотехнические проблемы проектирования зданий и сооружений на карстоопасных территориях: материалы Российской конференции с международным участием (22-23 мая 2012 г., г. Уфа). – Уфа: БашНИИстрой, 2012. – С. 252-262.
4. *Щербаков С.В.* Методика изучения взаимосвязей между карстовыми формами и природными условиями территорий // Современные проблемы науки и образования. – 2012. – № 5. – [Адрес в сети Интернет: www.science-education.ru/105-7232] (дата обращения: 08.07.2013).
5. *Щербаков С.В.* Карстовые формы и их роль при оценке карстоопасности территорий // Малышевские чтения: Материалы Всероссийской научной конференции в 2-х т. Т. 1 / Старооскольский филиал ФГБОУ ВПО МГРИ-РГГРУ/ИПК «Киррилица». – Старый Оскол, 2013. – С. 141-147.
6. *Щербаков С.В.* Показатели факторы-развития карста при комплексной оценке карстоопасности территорий // Гидрогеология и карстование: Межвуз. сб. науч. тр. / Перм. гос. нац. иссл. ун-т. – Пермь, 2013. – Вып. 19. – С. 261-268.
7. *Scherbakov S.V.* Modern approach to an assessment of karst hazard // Global View of Engineering Geology and the Environment: proceeding of the International symposium and 9th Asian Regional conference of IAEG, Beijing, China, 23-25 September 2013. CRS Press/Balkema, Taylor & Francis Group, London, UK, 2013. P. 867-872.

МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

В.Н. Экзарьян

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

В классическом понимании «методология – учение о структуре, логической организации, методах и средствах деятельности». Методология в этом широком смысле слова образует необходимый компонент любой деятельности, поскольку последняя становится предметом познания, обучения и рационализации. Следовательно, предметом изучения и преобразования методологии, в нашем случае, является деятельность.

Методологические знания выступают в форме как предписаний и норм (нормативная база деятельности), в которых фиксируется содержание и последовательность определенных видов деятельности (работ), так и описаний фактически выполненной деятельности (дескриптивная методология в отличие от нормативной). В обоих случаях основной функцией методологических знаний является внутренняя организация и регулирование процесса познания или практического преобразования какого-либо объекта (процесс деятельности). Таким образом, методологические знания базируются на результатах изучения организационно – деятельностной структуры объекта и модели его функционирования и эволюции.

По существу, методологические исследования представляют научно обоснованную, взаимосвязанную последовательность принципов, методов, способов или процедур, направленных на решение поставленных задач. Изначально определяется объект исследования, и формулируются задачи.

Ю.А. Косыгин писал, что «методология – это не наблюдения и изучения, а наведение в них порядка». Определить, построить, подобрать методологию значит составить в итоге схему последовательных операций, позволяющих решить поставленные задачи. Выбор методологии чаще всего осуществляется с использованием принципа подбора, предложенного выдающимся русским ученым А.Богдановым в 1912 г., теологические разработки которого являются предтечей общей теории систем (системного движения и т.д.).

Основное содержание методологии наук образуют, прежде всего, научные теории, подтвержденные практикой. По существу, любая теория может выступать в качестве методологии при построении другой теории в данной или сопредельных областях знания. Например, фундаментальная теория физического подобия тел была использована в качестве основы при разработке теории приближенного геологического подобия.

Поэтому фактически различие между методологией и теорией носит функциональный характер. Формируясь в качестве теоретического результата прошлого исследования, методология может выступать как исходный пункт и условие для создания новой теории. Для проведения любых видов исследования, и особенно геоэкологических, необходимо ввести понятие «системы» применительно к конкретным объектам, а затем на базе этого понятия – выделить систему, определив ее границы, и составить программу изучения ее основных компонентов. В нашем случае в качестве системы выступают объекты геоэкологии. Как известно к ним относятся природные объекты (экосистемы), природные ресурсы, компоненты природной среды, природно-техногенные системы (ПТС) и т.д.

Любую систему можно изучать системно и не системно. Чаще всего в своих исследованиях мы, выделив систему, изучаем лишь ее отдельные свойства, касающиеся, например нашего предмета – экологии, или вытекающих из поставленных задач. Мы так и называем наши исследования – геоэкологическими, что в значительной степени может снижать значимость, достоверность и информативность получаемых результатов. Это обстоятельство связано с тем, что организация деятельности любого специалиста базируется на его онтологических знаниях, т.е. всегда носит предметный целевой характер. Геологи изучают геологическое строение территории, гидрогеологи – подземные водоносные комплексы и водоупоры, геоморфологи – характер современного рельефа и историю его развития, гидрологи – поверхностные водные объекты и т.д.

Следует отметить, что экология и меганаука не позволяет специалистам замкнуться на предметном исследовании объекта, а как правило «требует» рассмотрения объекта системно. Следовательно, в геоэкологических исследованиях изначально объекты рассматриваются как системы, и их изучение ведется на основе системного подхода.

Системный подход – это направление методологии научного познания и социальной практики, в основе которого лежит рассмотрение объектов как систем. В исследованиях ориентируются на раскрытие целостности объекта, на выявление всего многообразия связей как внутри объекта, так и с внешним миром. Затем все полученные об объекте данные сводятся в единую, целостную картину (теоретическую модель объекта). Системный подход позволяет организовать нашу деятельность, используя различия онтологий. С его помощью мы «собираем» многоаспектность и многопредметность, характерную для любых объектов, в единое целое. Если системно организовать сферу экологической деятельности, то все ее объекты будут организованы системно. Краеугольным камнем внедрения системного подхода является реорганизация нашей деятельности на базе слияния различных онтологических взглядов на объект исследований. Другими словами, **системный подход** – способ видения мира, направленный на перестройку форм организации научных и практических сфер деятельности. Чтобы внедрить системный подход нужно описать нашу деятельность и мышление в виде некоторого алгоритма (последовательного выполнения операций или схемы информационных потоков

в существующей организации). В целом системный подход предполагает переоценку деятельности и даже смену ценностей (парадигм). Именно это произошло при внедрении системного подхода в экологию. Изменилась парадигма современной цивилизации: антропоцентризм (центром всего является человек и общество, т.е. при принятии решений основное внимание уделяется социальным аспектам – «все для человека, все на благо человека») сменяется на биоцентризм (центром всего является биосфера и Природа). Это изменение парадигмы заложено в основе экологической революции, начавшейся в 70-х – 80-х годах XX века и продолжавшейся до настоящего времени.

Развитие методологии геоэкологических исследований прошло все три этапа (стадии), часто называемых в литературе методологическими подходами к решению геоэкологических задач.

Первый этап (подход) – Естественно-объектный: вне нас существуют какие-то тела (объекты) и их границы; наша задача их «найти» в природе (при проведении полевых работ). Этот подход пришел из традиционных геологических и географических исследований.

Второй этап (подход) – Модельно-целевой: вне нас есть некие тела (объекты) и границы; наша задача, задавшись определенными целями исследований, изобразить эти тела и их границы на карте или в виде формализованных математических и других моделей. Специалисты, используя ранее накопленный опыт, полученный на основе, как правило, естественно-объектного подхода, картографируют территорию, или строят модели.

Третий этап (подход) – Системный (системно-деятельностный): в мире нет ничего кроме нашего мышления и деятельности, в результате которых мы конструируем объекты и их границы, которые нужны нам в нашей деятельности. В системно-деятельностном подходе субъект (предикт) и объект равноправны. Только системно-деятельностный подход позволяет организовать многоаспектность и многопредметность объекта в единое целое. По существу, системно-деятельностный подход есть разборка и сборка (декомпозиция и композиция) нашей деятельности.

В настоящее время используются все три рассмотренных методологических подхода, которые в принципе нельзя считать альтернативными. Их следует рассматривать как этапы развития методологии геоэкологических исследований.

Литература

1. Вопросы методологии. Журнал. – М.: «Касталь», 1994. – №1-2.
2. Трофимов В.Т. и др. Теория и методология экологической геологии. – М.: МГУ, 1997.
3. Эжарьян В.Н., Гусейнов А.Н., Жигалин А.Д., Харькина М.А. Методика геоэкологических исследований. – М.: Изд. «Щит-М», 2009.

УКАЗАТЕЛЬ АВТОРОВ

- Абдрахманов Р.Ф.* Техногенная трансформация подземной гидросферы нефтедобывающих районов Урало-Поволжья, с. 357
- Абдуллаев Б.Д.* Научные приоритеты развития гидрогеологии, инженерной геологии и геоэкологии, с. 219
- Абдурахманов Б.М., Шерматов М.Ш.* Закономерности формирования морфологии поверхности трещин в скальных породах некоторых районов Узбекистана, с. 168
- Абрамова Т.Т.* Методы снижения динамического воздействия на грунты, с. 14
- Акинфеев Н.Н., см. Гусев Ю.В., с. 258*
- Акулова В.В., см. Мокрицкая Т.П., с. 78*
- Алексеев И.В., см. Дашко Р.Э., с. 392*
- Алексеев С.В., см. Чертовских Е.О., с. 516*
- Алёшин Ю.Г., Торгоев И.А.* Инженерно-геологическая классификация грунтов оползнеопасных склонов для экспресс-оценки их устойчивости по геофизическим признакам, с. 173
- Аникеев А.В.* О роли карстового процесса в образовании карстово-суффозионных воронок, с. 224
- Анисимова Н.Г., см. Козлякова И.В., с. 403*
- Антонова И.А., Котович А.А., с. 418*
- Аракелян Ф.О., см. см. Попова О.Г., с. 621*
- Балан В.А., см. Кофф Г.Л., с. 285*
- Безуглова Е.В., Маций С.И.* Типизация взаимодействия оползней с транспортными природно-техническими системами в Краснодарском крае, с. 362
- Белюсова А.П.* Подходы к суперрегиональному и региональному эколого-гидрогеологическому районированию, с. 367
- Беляев В.Л.* Инженерно-геологическая оценка потенциала градостроительного использования подземного пространства Москвы, с. 230
- Богословский В.А., Жигалин А.Д., Хмелевской В.К.* Развитие учения о геологической среде: экологическая геофизика, с. 372

- Болтенкова О.Е.* Синтез грунтового композита из техногенного грунта, с. 20
- Борсукова О.В., см. Кофф Г.Л., с. 285*
- Борсукова О.В., см. Кофф Г.Л., с. 290*
- Булыгина Л.Г., см. Панасьян Л.Л., с. 609*
- Булыгина Л.Г., см. Чернов М.С., с. 154*
- Бурова В.Н., см. Осипов В.И., с. 312*
- Бусаргина Е.С., см. Яковлев А.В., с. 352*
- Вадачкоря О.А., Воейкова О.А., Мурый А.А., Несмеянов С.А.* Формирование опасных геологических процессов на северном склоне хребта Аибга, с. 235
- Васютнич Л.А.* Особенности трансформации геологической среды южной криолитозоны (на примере г. Чита), с. 377
- Верхотуров А.Г.* Формирование горно-геологической среды в Забайкалье и ее влияние на экологию территории, с. 381
- Воейкова О.А., см. Вадачкоря О.А., с. 235*
- Волкова Е.Н., Камшилин А.Н., Казначеев П.А., Попов В.В.* Применение метода активного геоэлектрического мониторинга для отслеживания процессов подготовки провалов грунта: оценка возможностей метода и требований к аппаратуре, с. 528
- Вязкова О.Е.* Некоторые результаты инженерно-геологических исследований археологических памятников северо-западного Кавказа, с. 240
- Гагошидзе М.В., см. Церцвадзе Л.А., с. 512*
- Гальперин А.М., Пуневский С.А., Ческидов В.В., Петряков А.М.* Совершенствование мониторинга техногенных массивов горных предприятий с применением дистанционных методов, с. 533
- Гордеев В.Ф., см. Крутиков В.А., с. 570*
- Горобцов Д.Н., см. Пендин В.В., с. 614*
- Грибанова Л.П., Каковкина А.Ю., Подлесных Н.П.* Инженерно-экологические исследования для разработки проекта строительства мусороперерабатывающего комплекса на полигоне ТБО «Хметьево» Московской области, с. 385
- Григорьева И.Ю., Щербакова М.Н.* Опыт применения инженерно-геологической классификации микростроения лессовых пород при исследовании четвертичных отложений Таманского полуострова, с. 178
- Григорьева С.В., см. Макарова Н.В., с. 300*
- Гридневский А.В.* Методические аспекты геоэкологического картирования территории Ростовской области, с. 243
- Грязнов О.Н.* Инженерно-геологическая зональность Урала, с. 247
- Губарьков А.А., Окунев С.Н., Лесковский Н.М.* Инженерно-геологические изыскания железной дороги Полуночное-Обская, с. 254

- Губин В.Н. Космический литомониторинг при освоении минеральных ресурсов в Республике Беларусь, с. 538
- Гуман О.М., см. Котович А.А., с. 418
- Гусев А.П. Техногенная трансформация рельефа: ландшафтно-экологические эффекты, с. 388
- Гусев Ю.В., Акинфеев Н.Н., Лисенков А.Б. Применение термодинамического моделирования для прогнозирования карстообразования, с. 258
- Гусева Т.М., см. Мажайский Ю.А., с. 438
- Гуслева Л.А., см. Кофф Г.Л., с. 290
- Дашко Р.Э., Алексеев И.В. Микробиота богатых железных руд Яковлевского месторождения как антропогенно-генетический фактор формирования инженерно-геологических условий, с. 392
- Дашко Р.Э., Коробко А.А. Генетические особенности формирования и изменения физико-механических свойств нижнекембрийских глин в разрезе Санкт-Петербургского региона, с. 23
- Джураев Н.М., см. Туйчиева М.А., с. 336
- Дзегания Е.В., Крыленко И.В. К вопросу определения расчетного коэффициента селеактивности, с. 543
- Дмитриев В.В. Таксономические аспекты классификации грунтов, с. 181
- Дорожко А.Л., Макеев В.М. Геодинамически активные зоны Москвы и их геоэкологическое значение, с. 263
- Дорожко А.Л., см. Макеев В.М., с. 590
- Дубровин В.А., см. Крицук Л.Н., с. 423
- Дудлер И.В., см. Лярский С.П., с. 585
- Дьяконов П.Ю. Коэффициент динамичности в расчетах песчаных и камне-набросных плотин на сейсмические воздействия, с. 29
- Евтюхин В.Ф., см. Мажайский Ю.А., с. 438
- Егоров Ю.К. О классификации глинистых грунтов по набуханию и усадке, с. 186
- Егоров Ю.М., см. Макеева Т.Г., с. 57
- Ёдгоров Ш.И., см. Туйчиева М.А., с. 336
- Ерёмина О.Н., см. Козлякова И.В., с. 403
- Жаркова Н.И., Латыпов А.И. Закономерности формирования склоновых процессов на территории горнолыжного комплекса «Казань», с. 269
- Жигалин А.Д., см. Богословский В.А., с. 372
- Жигалин А.Д., см. Попова О.Г., с. 621
- Жильцова М.Е., см. Пендин В.В., с. 614

Заиканов В.Г., Минакова Т.Б. Геоэкологические исследования для обоснования эффективного проектирования, с. 546

Заиканов В.Г., см. Осипов В.И., с. 312

Закиров М.М., см. Мирасланов М.М., с. 448

Зверев В.П., Мамаев Ю.А. Гидрогеохимические методы стабилизации процесса развития карста, с. 274

Здобин Д.Ю. Современное положение грунтоведения, с. 33

Золотарев Д.Р. Прогнозирование образования карстопоявлений и их морфометрии на основе данных линеаментной тектоники, с. 551

Иванов П.В., см. Козлякова И.В., с. 403

Казеев А.И., см. Постоев Г.П., с. 324

Казначеев П.А., см. Волкова Е.Н., с. 528

Каковкина А.Ю., см. Грибанова Л.П., с. 385

Какулия З.Г., см. Церцвадзе Л.А., с. 512

Калинин Э.В., Панасьян Л.Л. Решение инженерно-геологических задач расчетными методами, с. 398

Кальбергенов Р.Г. см. Хмелевцов А.А., с. 145

Камалов В.Г., см. Травкин А.И., с. 502

Камшилин А.Н., см. Волкова Е.Н., с. 528

Канаева Л.В., см. Мамаев Ю.А., с. 304

Каримов Ф.Х. Динамические свойства вязкопластических грунтов, с. 36

Карпенко Ф.С., см. Хмелевцов А.А., с. 145

Карфидова Е.А. Классификация объектов геоэкологического картографирования в свете разработки инфраструктуры пространственных данных, с. 556

Карфидова Е.А., см. Макеев В.М., с. 590

Клебанюк Д.Н., Шведовский П.В. О некоторых аспектах теории сжимаемости и прочности грунтов при динамических воздействиях, с. 38

Климшин А.В., см. Микляев П.С., с. 443

Климшин А.В., см. Петрова Т.Б., с. 459

Кожаринов С.В., см. Ларионов В.И., с. 575

Кожевникова И.А., см. Козлякова И.В., с. 403

Кожобаев К.А. Некоторые методические вопросы гидроэкологических исследований, с. 562

Кожобаев К.А., Молдобеков Б.Д., Усунаев Ш.Э. Краткая история, состояние, проблемы и перспективы развития гидро-, инженерной и экологической геологии в Кыргызстане, с. 565

- Козловский С.В., см. Осипов В.И., с. 312*
- Козлякова И.В., Анисимова Н.Г., Ерёмина О.Н., Кожевникова И.А., Иванов П.В.* Предварительная оценка инженерно-геологических условий территории строительства Кожуховской линии метрополитена в Москве, с. 403
- Козлякова И.В., см. Осипов В.И., с. 312*
- Козырева Е.А., Мазаева О.А., Рыбченко А.А.* Исследование эрозии временных водотоков в Улан-Баторском бассейне (Монголия), с. 278
- Комарова Н.Г.* Индустриальное наследие в ландшафте и культуре Российскойского Севера» (геоэкологический анализ), с. 282
- Кондратьев В.Г., Кондратьев С.В.* Геокриологические проблемы федеральной автодороги «Амур» Чита – Хабаровск, с. 407
- Кондратьев С.В., см. Кондратьев В.Г., с. 407*
- Коробко А.А., см. Дашко Р.Э., с. 23*
- Коробова И.В., см. Макеев В.М., с. 590*
- Королёв В.А.* Развитие представлений Е.М. Сергеева о геологической среде и ее роли в решении экологических проблем, с. 412
- Коряшкина Л.С., см. Мокрицкая Т.П., с. 82*
- Котович А.А., Гуман О.М., Антонова И.А., Макаров А.Б.* Опыт инженерно-экологических изысканий в районе месторождения Балта-Тау, с. 418
- Кофф Г.Л., Кубай И.В., Балан В.А., Кушнир Л.Г., Борсукова О.В., Чеснокова И.В.* Результаты картирования цунамиопасности побережий островов и материковой части Хасанского района Приморского края, с. 285
- Кофф Г.Л., Кушнир Л.Г., Борсукова О.В., Гуслева Л.А., Чеснокова И.В.* Анализ и прогноз наводнений и затопления территории городов Ростовской области и Краснодарского края, с. 290
- Крестин Б.М., Мальнева И.В.* Активность оползневых и селевых процессов на территории Большого Сочи и ее изменения в начале XXI века, с. 295
- Крицук Л.Н., Дубровин В.А.* Изучение криогенных процессов Ямала дистанционными методами, с. 423
- Крутиков В.А., Малышков С.Ю., Гордеев В.Ф., Малышков Ю.П.* Картирование активных геодинамических структур методом ЕИЭМПЗ, с. 570
- Крыленко И.В., см. Дзаганя Е.В., с. 543*
- Кубай И.В., см. Кофф Г.Л., с. 285*
- Кузьменко И.Ю., см. Тихонова Т.М., с. 123*
- Кукушкин С.Ю., см. Опекунов А.Ю., с. 599*
- Курбанов Н.Т.* Особенности гидрогеологических и инженерно-геологических условий золоторудной месторождении Кокпатас, с. 428

- Кутепов Ю.И., Кутепова Н.А., Сергина Е.В.* Изменение напряженного состояния и физико-механических свойств намывных пород при формировании горных природно-технических систем, с. 434
- Кутепова Н.А., см. Кутепов Ю.И., с. 434*
- Кутергин В.Н., см. Хмелевцов А.А., с. 145*
- Кушнир Л.Г., см. Кофф Г.Л., с. 285*
- Кушнир Л.Г., см. Кофф Г.Л., с. 290*
- Ладыгин В.М.* Петрогенетические закономерности формирования и изменения свойств четвертичных эффузивов основного-среднего состава, с. 43
- Лапоухов А.С., см. Чертовских Е.О., с. 516*
- Лапочкин Б.К., см. Постоев Г.П., с. 324*
- Ларионов В.И., Фролова Н.И., Угаров А.Н., Кожаринов С.В.* Оценка сейсмического риска г. Б.Сочи, с. 575
- Ларионова Н.А.* Использование фосфогипса в строительстве, с. 48
- Латыпов А.И., см. Жаркова Н.И., с. 269*
- Леденев В.Н., см. Макеев В.М., с. 590*
- Лесковский Н.М., см. Губарьков А.А., с. 254*
- Лехов М.В.* О состоянии гидрогеологических исследований в изысканиях в строительстве, с. 580
- Лисенков А.Б., см. Гусев Ю.В., с. 258*
- Любимова Т.В., см. Семенчук А.В., с. 477*
- Лярский С.П., Дудлер И.В., Патрикеев П.А.* Методология создания инженерно-геологических моделей основания строительных объектов с использованием данных глубокого статического зондирования (на примере Димитровградских АЭС), с. 585
- Мавлянов Г.Н.* Усиление барьерной роли зоны аэрации лессовых пород на орошаемых территориях на примере Ташкентской области Узбекистана, с. 54
- Мажайский Ю.А., Евтюхин В.Ф., Гусева Т.М.* Влияние загрязнения тяжелыми металлами почвы на ее свойства и экологические показатели, с. 438
- Мазаева О.А., см. Козырева Е.А., с. 278*
- Макаров А.Б., Котович А.А., с. 418*
- Макарова Н.В., Григорьева С.В.* Районирование новой территории Москвы на основе геоморфологического анализа, с. 300
- Макарова Н.В., см. Макеев В.М., с. 590*
- Макеев В.М., Макарова Н.В., Дорожко А.Л., Суханова Н.В., Коробова И.В., Карфидова Е.А., Леденев В.Н.* Основы концепции геодинамической безопасности особо ответственных сооружений, с. 590

- Макеев В.М., см. Дорожко А.Л., с. 263*
- Макеев В.М., см. Микляев П.С., с. 443*
- Макеева Т.Г., Егоров Ю.М. Прочностные свойства цементных композитов на основе грунтов разного генезиса, с. 57*
- Максимович Н.Г., Хмурчик В.Т. Теоретические и методические аспекты микробиологических исследований грунтов, с. 62*
- Мальшиков С.Ю., см. Крутиков В.А., с. 570*
- Мальшиков Ю.П., см. Крутиков В.А., с. 570*
- Мальнева И.В., см. Крестин Б.М., с. 295*
- Мамаджанова Г.Ф., см. Туйчиева М.А., с. 336*
- Мамаев Ю.А., см. Зверев В.П., с. 274*
- Мамаев Ю.А., Ястребов А.А., Канаева Л.В. Развитие идей академика Е.М. Сергеева в области инженерно-геологического картографирования на примере карстоопасной территории Пермского края, с. 304*
- Маргарян В.Г. Влияние геологического и гидрогеологического строения на формирование речного стока в республике Армения, с. 308*
- Маций С.И., см. Безуглова Е.В., с. 362*
- Микляев П.С., Петрова Т.Б., Климишин А.В., Макеев В.М. К вопросу о причинах формирования радоновых аномалий в Москве, с. 443*
- Микляев П.С., см. Петрова Т.Б., с. 459*
- Минакова Т.Б., см. Заиканов В.Г., с. 546*
- Мирасланов М.М., Закиров М.М. Инженерно-геологическая и гидрогеологическая изученность месторождений твердых полезных ископаемых в республике Узбекистан и достигнутые результаты, с. 448*
- Миронов О.К. О концепции базы знаний в фондах геологической информации, с. 595*
- Миронов О.К., см. Осипов В.И., с. 312*
- Миронюк С.Г. Особенности грунтовых условий абиссальной равнины Черного моря, с. 66*
- Михайлов В.В., Чернышев С.Н. Грунтовый массив – среда и основание инженерных сооружений, с. 189*
- Могилевцева Д.И. Оценка эффективного модуля общей деформации песчаного массива, усиленного методом «Геокомпозит», с. 72*
- Мокрицкая Т.П., Рященко Т.Г., Акулова В.В., Самойлич К.А. Сравнительный анализ микроструктуры лессовых отложений Среднего Приднепровья и Приангарья, с. 78*
- Мокрицкая Т.П., Шестопалов В.М., Коряшкина Л.С. Индуктивная модель просадочных свойств массива, с. 82*

- Молдобеков Б.Д., см. Кожобаев К.А., с. 565*
- Морозов В.Н., см. Татаринов В.Н., с. 626*
- Мурый А.А., см. Вадачкория О.А., с. 235*
- Несмеянов С.А., см. Вадачкория О.А., с. 235*
- Николаева С.К., см. Огородникова Е.Н., с. 194*
- Никонорова И.В., см. Петров Н.Ф., с. 453*
- Огородникова Е.Н., Николаева С.К. Классификации техногенных грунтов, с. 194*
- Окунев С.Н., см. Губарьков А.А., с. 254*
- Ольховатенко В.Е. Генетические основы изучения природы прочности горных пород угленосных отложений Кузбасса, с. 87*
- Ольховатенко В.Е., Трофимова Г.И., Филимонова И.С. Инженерно-геологическая классификация горных пород угольных месторождений Кузбасса, с. 199*
- Олянский Ю.И., см. Тихонова Т.М., с. 123*
- Опекунов А.Ю., Опекунова М.Г., Кукушкин С.Ю. Оценивание результатов геоэкологических исследований на основе обобщенной функции желательности Харрингтона, с. 599*
- Опекунова М.Г., см. Опекунов А.Ю., с. 599*
- Орлов Т.В., Садков С.А. Сравнительный анализ возможностей дешифрирования карстовых форм рельефа с использованием аэрофотосъемки и лазерного сканирования сверхвысокого разрешения (на примере плато Лагонаки), с. 604*
- Осипов В.И. Предисловие, с. 5*
- Осипов В.И. Развитие идей Е.М. Сергеева в области грунтоведения, с. 7*
- Осипов В.И., Бурова В.Н., Заиканов В.Г., Козловский С.В., Козлякова И.В., Миронов О.К. Инженерно-геологическое районирование урбанизированных территорий для целей градостроительного обоснования, с. 312*
- Осипова М.А., см. Швецов Г.И., с. 159*
- Осипова Н.А., см. Таловская А.В., с. 497*
- Охунов Ф.А. Влияние некоторых негативных гидрогеологических процессов на окружающую среду (на примере Кашкадарьинской области), с. 316*
- Панасьян Л.Л., Сас И.Е., Булыгина Л.Г., Чернов М.С. Современный подход к оценке прочности скальных грунтов, с. 609*
- Панасьян Л.Л., см. Калинин Э.В., с. 398*
- Патрикеев П.А., см. Лярский С.П., с. 585*
- Пеллинен В.А. Районирование территории острова Ольхон по группам экзогенных геологических процессов, с. 319*

- Пендин В.В., Горобцов Д.Н., Жильцова М.Е.* К понятию инженерно-геологический аудит, с. 614
- Пендин В.В., Шубина Д.Д.* К вопросу оценки сложности инженерно-геологических условий в криолитозоне, с. 619
- Петриашвили Ж.Д., см. Церцвадзе Л.А., с. 512*
- Петриашвили Ш.Г., см. Церцвадзе Л.А., с. 512*
- Петров Н.Ф., Прокопьева Н.А., Никонорова И.В.* Об актуальности идей академика Е.М.Сергеева «о широкой геологизации грунтоведения и инженерной геологии» сегодня, с. 453
- Петрова Т.Б., Климишин А.В., Микляев П.С.* Исследования естественной радиоактивности геологической среды, с. 459
- Петрова Т.Б., см. Микляев П.С., с. 443*
- Петряков А.М., см. Гальперин А.М., с. 533*
- Пинкевич М.Н.* Изучение зон повышенной трещиноватости в пределах Енисейского кряжа для поисков подземных вод, с. 463
- Подлесных Н.П., см. Грибанова Л.П., с. 385*
- Попов В.В., см. Волкова Е.Н., с. 528*
- Попова О.Г., Жигалин А.Д., Аракелян Ф.О.* Изучение свойств и геодинамики среды с помощью сейсмического мониторинга, с. 621
- Постоев Г.П.* Критерии прочности и деформируемости грунтов в массиве, с. 92
- Постоев Г.П., Лапочкин Б.К., Казеев А.И.* Анализ возможных критических деформаций грунтового основания многофункционального комплекса (в районе Хорошево, Москва), с. 324
- Потапов И.А., см. Потапов А.Д., с. 97*
- Потапов А.Д., Потапов И.А.* Песчаные грунты и физико-химическая теория эффективных напряжений, с. 97
- Практика С.В.* Специфика инженерно-геологического и гидрогеологического изучения пород золоотвалов ТЭЦ, с. 103
- Прокопьева Н.А., см. Петров Н.Ф., с. 453*
- Пуневский С.А., см. Гальперин А.М., с. 533*
- Разгулина О.В., см. Чернов М.С., с. 154*
- Рафиков В.А.* Основные направления рационального использования природных ресурсов и пути предотвращения развития неблагоприятных антропогенных процессов и явлений, с. 329
- Рахманбердиева Н.Т.* Влияние эоценовых глин на инженерно-геологические условия северного Тамдытау, с. 333
- Рвачева М.Ю., см. Хансиварова Н.М., с. 205*

- Рокос С.И.* Особенности акустических и физико-механических свойств газосодержащих грунтов мелководного шельфа Печорского и Карского морей, с. 108
- Рыбников П.А., см. Рыбникова Л.С., с. 467*
- Рыбникова Л.С., Рыбников П.А.* Формирование ресурсов и качества подземных вод в районах ликвидируемых рудников Среднего Урала, с. 467
- Рыбченко А.А., см. Козырева Е.А., с. 278*
- Ряченко Т.Г.* Развитие генетического принципа при инженерно-геологическом изучении дисперсных грунтов Монголо-Сибирского региона (новые реальности), с. 113
- Ряченко Т.Г., см. Мокрицкая Т.П., с. 78*
- Савельева Е.Н.* Моделирование гидрогеохимических процессов в продуктивных пластах под воздействием заводнения на примере Мишкинского нефтяного месторождения, с. 473
- Садков С.А., см. Орлов Т.В., с. 604*
- Самойлич К.А., см. Мокрицкая Т.П., с. 78*
- Сас И.Е., см. Панасьян Л.Л., с. 609*
- Семенчук А.В., Любимова Т.В.* Оценка условий защищенности подземных вод Северо-Петербургской площади Карельского перешейка, с. 477
- Сергина Е.В., см. Кутепов Ю.И., с. 434*
- Скнарина Н.А., см. Хансиварова Н.М., с. 210*
- Соколов В.Н.* Генетический подход при изучении микроструктуры глинистых грунтов, с. 118
- Соколов В.Н., см. Чернов М.С., с. 154*
- Соколова Н.В.* Изучение изменений геоэкологических условий в системе непрерывных потоков вещества разного ранга, с. 483
- Сунгатуллин Р.Х., Хасанов Р.Р.* Экологические риски при освоении нетрадиционных энергетических ресурсов, с. 488
- Суханова Н.В., см. Макеев В.М., с. 590*
- Таловская А.В., Филимоненко Е.А., Осипова Н.А.* Экологические риски для здоровья населения по данным геохимического состава атмосферных аэрозолей (на примере г.Томска), с. 497
- Таловская А.В., Филимоненко Е.А., Язиков Е.Г.* Динамика загрязнения в окрестностях предприятия теплоэнергетики на основе химического анализа снегового покрова (на примере ГРЭС-2 г. Томск), с. 491
- Татаринов В.Н., Морозов В.Н., Татаринова Т.А.* Методологические аспекты спутниковых наблюдений за современными движениями земной коры, с. 626
- Татаринова Т.А., см. Татаринов В.Н., с. 626*

- Тихонова Т.М., Кузьменко И.Ю., Олянский Ю.И.* Изменение состава и свойств лессовых просадочных пород при замачивании и фильтрации воды, с. 123
- Торгоев И.А., см. Алёшин Ю.Г., с. 173*
- Травкин А.И., Камалов В.Г.* Инженерно-геологические исследования и противокарстовое усиление пород на участке древнего карстового провала (на примере строительства «тоннеля» в г. Уфе), с. 502
- Трофимов В.Т., Харькина М.А.* Идеология изучения процессов абиотических сфер Земли при геоэкологических исследованиях, с. 507
- Трофимова Г.И., см. Ольховатенко В.Е., с. 199*
- Туйчиева М.А., Джураев Н.М., Ёдгоров Ш.И., Хайдарова Б.Н., Мамаджанова Г.Ф.* Особенности развития опасных геологических и техногенных процессов и явлений на урбанизированных территориях Ферганской долины, с. 336
- Угаров А.Н., см. Ларионов В.И., с. 575*
- Умурзаков Р.К., см. Умурзакова З.Р., с. 630*
- Умурзакова З.Р., Умурзаков Р.К.* Изучение различных нарушений сплошности пород геофизическими методами в процессе исследования деформаций архитектурных памятников, с. 630
- Усупаев Ш.Э., см. Кожобаев К.А., с. 565*
- Федодеев В.И.* Некоторые методологические проблемы и пути их решения в инженерной геологии и смежных науках, с. 634
- Федяева Е.А.* Прогнозная модель неизотермического влагопереноса в дисперсных грунтах, с. 130
- Филимоненко Е.А., см. Таловская А.В., с. 491*
- Филимоненко Е.А., см. Таловская А.В., с. 497*
- Филимонова И.С., см. Ольховатенко В.Е., с. 199*
- Фролова Н.И., см. Ларионов В.И., с. 575*
- Фролова Ю.В.* Закономерности формирования грунтов гидротермально-метасоматического генезиса, с. 135
- Хайдарова Б.Н., см. Туйчиева М.А., с. 336*
- Хансиварова Н.М.* Микроорганизмы дисперсных пород как потенциальный источник угрозы здоровью человека, с. 140
- Хансиварова Н.М., Рвачева М.Ю., Шапошникова Д.С.* Районирование территории г. Таганрога по степени активности глинистой фракции грунтовых толщ, с. 205
- Хансиварова Н.М., Скнарина Н.А.* Построение расчетной геомеханической модели просадочных грунтов с учетом новых требований ГОСТ 25100-2011 «Грунты. Классификация», с. 210
- Харькина М.А., см. Трофимов В.Т., с. 507*

- Хасанов Р.Р., см. Сунгатуллин Р.Х., с. 488*
- Хмелевской В.К., см. Богословский В.А., с. 372*
- Хмелевцов А.А., Карпенко Ф.С., Кутергин В.Н., Кальбергенов Р.Г. Особенности строения и физико-химических свойств аргиллитоподобных глин сочинской свиты в связи с условиями их образования, с. 145*
- Хмурчик В.Т., см. Максимович Н.Г., с. 62*
- Церцвадзе Л.А., Гагошидзе М.В., Какулия З.Г., Петриаивили Ш.Г., Яшвили Т.Г., Петриаивили Ж.Д. Последствия изменения экологической среды при разработках рудных месторождения Грузии, с. 512*
- Чарыкова С.А. Влияние мелкодисперсного пирита на устойчивость к обводнению незасоленных сарматских глин, с. 150*
- Чернов М.С., Булыгина Л.Г., Разгулина О.В., Соколов В.Н., Юрковец Д.И. Новый метод анализа структуры грунтов комплексом РЭМ – мКТ, с. 154*
- Чернов М.С., см. Панасьян Л.Л., с. 609*
- Чернышев С.Н., см. Михайлов В.В., с. 189*
- Чертковских Е.О., Лапоухов А.С., Алексеев С.В. Глубокозалегающие пластовые воды венда и кембрия Верхнечонского нефтегазоконденсатного месторождения, с. 516*
- Ческидов В.В., см. Гальперин А.М., с. 533*
- Чеснокова И.В. Подходы к картографированию эколого-геокриологических опасностей и риска, с. 341*
- Чеснокова И.В., см. Кофф Г.Л., с. 285*
- Чеснокова И.В., см. Кофф Г.Л., с. 290*
- Шапошникова Д.С., см. Хансиварова Н.М., с. 205*
- Шведовский П.В., см. Клебанюк Д.Н., с. 38*
- Швецов Г.И., Осипова М.А. Структурная прочность как критерий оценки деформируемости лессовых грунтов Приобского плато, с. 159*
- Шереметьева Е.В. Неотектонические процессы и инженерно-геологические условия бассейна р. Оки на территории Калужской и Тульской областей (по данным линеаментного анализа), с. 347*
- Шерматов М.Ш., см. Абдурахманов Б.М., с. 168*
- Шестопалов В.М., см. Мокрицкая Т.П., с. 82*
- Шешеня Н.Л. Техногенные изменения свойств дисперсных грунтов разного минерального состава, с. 162*
- Шилова А.В. Оценка суффозионной устойчивости и классифицирование грунтов на примере промплощадки, с. 214*
- Широков В.Н. Систематизация методов изучения напряженного состояния массивов горных пород по информационному критерию, с. 639*

Шубина Д.Д., см. Пендин В.В., с. 619

Щербаков С.В. Оценка активности и масштабов развития карста на территориях Пермского Предуралья по данным изучения их природного строения, с. 645

Щербакова М.Н., см. Григорьева И.Ю., с. 178

Экзарьян В.Н. Методологические основы геоэкологических исследований, с. 651

Юрковец Д.И., см. Чернов М.С., с. 154

Язиков Е.Г., см. Таловская А.В., с. 491

Яковлев А.В., Бусаргина Е.С. Изучение влияния напряженного состояния прибортовых массивов на устойчивость участков бортов Главного карьера Качканарского ГОКа, с. 352

Яковлев Е.А. Роль ассимиляционного потенциала геологической среды как ведущего показателя эколого-техногенной стойкости окружающей среды, с. 522

Ястребов А.А., см. Мамаев Ю.А., с. 304

Яшивили Т.Г., см. Церцвадзе Л.А., с. 512

СОДЕРЖАНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ (В.И. Осипов)	5
1. ГРУНТОВЕДЕНИЕ, МЕХАНИКА И ТЕХНИЧЕСКАЯ МЕЛИОРАЦИЯ ГРУНТОВ	7
<i>Осипов В.И.</i> Развитие идей Е.М. Сергеева в области грунтоведения.....	7
<i>Абрамова Т.Т.</i> Методы снижения динамического воздействия на грунты.....	14
<i>Болтенкова О.Е.</i> Синтез грунтового композита из техногенного грунта.....	20
<i>Дашко Р.Э., Коробко А.А.</i> Генетические особенности формирования и изменения физико-механических свойств нижнекембрийских глин в разрезе Санкт-Петербургского региона.....	23
<i>Дьяконов П.Ю.</i> Коэффициент динамичности в расчетах песчаных и камнеабросных плотин на сейсмические воздействия.....	29
<i>Здобин Д.Ю.</i> Современное положение грунтоведения.....	33
<i>Каримов Ф.Х.</i> Динамические свойства вязкопластических грунтов.....	36
<i>Клебанюк Д.Н., Шведовский П.В.</i> О некоторых аспектах теории сжимаемости и прочности грунтов при динамических воздействиях.....	38
<i>Ладыгин В.М.</i> Петрогенетические закономерности формирования и изменения свойств четвертичных эффузивов основного-среднего состава.....	43
<i>Ларионова Н.А.</i> Использование фосфогипса в строительстве.....	48
<i>Мавлянов Г.Н.</i> Усиление барьерной роли зоны аэрации лессовых пород на орошаемых территориях на примере Ташкентской области Узбекистана.....	54
<i>Макеева Т.Г., Егоров Ю.М.</i> Прочностные свойства цементных композитов на основе грунтов разного генезиса.....	57
<i>Максимович Н.Г., Хмурчик В.Т.</i> Теоретические и методические аспекты микробиологических исследований грунтов.....	62
<i>Миронюк С.Г.</i> Особенности грунтовых условий абиссальной равнины Черного моря.....	66
<i>Могилевцева Д.И.</i> Оценка эффективного модуля общей деформации песчаного массива, усиленного методом «Геокомпозит».....	72
<i>Мокрицкая Т.П., Ряценок Т.Г., Акулова В.В., Самойлич К.А.</i> Сравнительный анализ микроструктуры лессовых отложений Среднего Приднепровья и Приангарья.....	78
<i>Мокрицкая Т.П., Шестопалов В.М., Коряшкина Л.С.</i> Индуктивная модель просадочных свойств массива.....	82
<i>Ольховатенко В.Е.</i> Генетические основы изучения природы прочности горных пород угленосных отложений Кузбасса.....	87
<i>Постоев Г.П.</i> Критерии прочности и деформируемости грунтов в массиве.....	92

<i>Потапов А.Д., Потапов И.А.</i> Песчаные грунты и физико-химическая теория эффективных напряжений	97
<i>Практика С.В.</i> Специфика инженерно-геологического и гидрогеологического изучения пород золотоотвалов ТЭЦ	103
<i>Рокос С.И.</i> Особенности акустических и физико-механических свойств газосодержащих грунтов мелководного шельфа Печорского и Карского морей	108
<i>Рященко Т.Г.</i> Развитие генетического принципа при инженерно-геологическом изучении дисперсных грунтов Монголо-Сибирского региона (новые реальности)	113
<i>Соколов В.Н.</i> Генетический подход при изучении микроструктуры глинистых грунтов	118
<i>Тихонова Т.М., Кузьменко И.Ю., Олянский Ю.И.</i> Изменение состава и свойств лессовых просадочных пород при замачивании и фильтрации воды	123
<i>Федяева Е.А.</i> Прогнозная модель неизотермического влагопереноса в дисперсных грунтах	130
<i>Фролова Ю.В.</i> Закономерности формирования грунтов гидротермально-метасоматического генезиса	135
<i>Хансиварова Н.М.</i> Микроорганизмы дисперсных пород как потенциальный источник угрозы здоровью человека	140
<i>Хмелевцов А.А., Карпенко Ф.С., Кутергин В.Н., Кальберген Р.Г.</i> Особенности строения и физико-химических свойств аргиллитоподобных глин сочинской свиты в связи с условиями их образования	145
<i>Чарыкова С.А.</i> Влияние мелкодисперсного пирита на устойчивость к обводнению незасоленных сарматских глин	150
<i>Чернов М.С., Булыгина Л.Г., Разгулина О.В., Соколов В.Н., Юрковец Д.И.</i> Новый метод анализа структуры грунтов комплексом РЭМ – мКТ	154
<i>Швецов Г. И., Осипова М. А.</i> Структурная прочность как критерий оценки деформируемости лессовых грунтов Приобского плато	159
<i>Шешеня Н.Л.</i> Техногенные изменения свойств дисперсных грунтов разного минерального состава	162
2. ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ КЛАССИФИКАЦИИ ГРУНТОВ	168
<i>Абдурахманов Б.М., Шерматов М.Ш.</i> Закономерности формирования морфологии поверхности трещин в скальных породах некоторых районов Узбекистана	168
<i>Алёшин Ю.Г., Торгоев И.А.</i> Инженерно-геологическая классификация грунтов оползнеопасных склонов для экспресс-оценки их устойчивости по геофизическим признакам	173
<i>Григорьева И.Ю., Щербакова М.Н.</i> Опыт применения инженерно-геологической классификации микростроения лессовых пород при исследовании четвертичных отложений Таманского полуострова	178

<i>Дмитриев В.В.</i> Таксономические аспекты классификации грунтов	181
<i>Егоров Ю. К.</i> О классификации глинистых грунтов по набуханию и усадке	186
<i>Михайлов В.В., Чернышев С.Н.</i> Грунтовый массив – среда и основание инженерных сооружений	189
<i>Огородникова Е.Н., Николаева С.К.</i> Классификации техногенных грунтов	194
<i>Ольховатенко В.Е., Трофимова Г.И., Филимонова И.С.</i> Инженерно-геологическая классификация горных пород угольных месторождений Кузбасса	199
<i>Хансиварова Н.М., Рвачева М.Ю., Шапошникова Д.С.</i> Районирование территории г. Таганрога по степени активности глинистой фракции грунтовых толщ	205
<i>Хансиварова Н.М., Скнарина Н.А.</i> Построение расчетной геомеханической модели просадочных грунтов с учетом новых требований ГОСТ 25100-2011 «Грунты. Классификация»	210
<i>Шилова А.В.</i> Оценка суффозионной устойчивости и классифицирование грунтов на примере промплощадки	214
3. РЕГИОНАЛЬНЫЕ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ, ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИЕ И ГЕОКРИОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ	219
<i>Абдуллаев Б.Д.</i> Научные приоритеты развития гидрогеологии, инженерной геологии и геоэкологии	219
<i>Аникеев А.В.</i> О роли карстового процесса в образовании карстово-суффозионных воронок	224
<i>Беляев В.Л.</i> Инженерно-геологическая оценка потенциала градостроительного использования подземного пространства Москвы	230
<i>Вадачкоря О.А., Воейкова О.А., Мурый А.А., Несмеянов С.А.</i> Формирование опасных геологических процессов на северном склоне хребта Аибга	235
<i>Вязкова О.Е.</i> Некоторые результаты инженерно-геологических исследований археологических памятников северо-западного Кавказа	240
<i>Гридневский А.В.</i> Методические аспекты геоэкологического картирования территории Ростовской области	243
<i>Грязнов О.Н.</i> Инженерно-геологическая зональность Урала	247
<i>Губарьков А.А., Окунев С.Н., Лесковский Н.М.</i> Инженерно-геологические изыскания железной дороги Полуночное-Обская	254
<i>Гусев Ю.В., Акинфеев Н.Н., Лисенков А.Б.</i> Применение термодинамического моделирования для прогнозирования карстообразования	258
<i>Дорожко А.Л., Макеев В.М.</i> Геодинамически активные зоны Москвы и их геоэкологическое значение	263
<i>Жаркова Н.И., Латыпов А.И.</i> Закономерности формирования склоновых процессов на территории горнолыжного комплекса «Казань»	269

<i>Зверев В.П., Мамаев Ю.А.</i> Гидрогеохимические методы стабилизации процесса развития карста	274
<i>Козырева Е.А., Мазаева О.А., Рыбченко А.А.</i> Исследование эрозии временных водотоков в Улан-Баторском бассейне (Монголия).....	278
<i>Комарова Н.Г.</i> Индустриальное наследие в ландшафте и культуре «Российского Севера» (геоэкологический анализ).....	282
<i>Кофф Г.Л., Кубай И.В., Балан В.А., Кушнир Л.Г., Борсукова О.В., Чеснокова И.В.</i> Результаты картирования цунамиопасности побережий островов и материковой части Хасанского района Приморского края.....	285
<i>Кофф Г.Л., Кушнир Л.Г., Борсукова О.В., Гуслева Л.А., Чеснокова И.В.</i> Анализ и прогноз наводнений и затопления территории городов Ростовской области и Краснодарского края.....	290
<i>Крестин Б.М., Мальнева И.В.</i> Активность оползневого и селевого процессов на территории Большого Сочи и ее изменения в начале XXI века.....	295
<i>Макарова Н.В., Григорьева С.В.</i> Районирование новой территории Москвы на основе геоморфологического анализа.....	300
<i>Мамаев Ю.А., Ястребов А.А., Канаева Л.В.</i> Развитие идей академика Е.М. Сергеева в области инженерно-геологического картографирования на примере карстоопасной территории Пермского края.....	304
<i>Маргарян В.Г.</i> Влияние геологического и гидрогеологического строения на формирование речного стока в республике Армения.....	308
<i>Осипов В.И., Бурова В.Н., Заиканов В.Г., Козловский С.В., Козлякова И.В., Миронов О.К.</i> Инженерно-геологическое районирование урбанизированных территорий для целей градостроительного обоснования.....	312
<i>Охунов Ф.А.</i> Влияние некоторых негативных гидрогеологических процессов на окружающую среду (на примере Кашкадарьинской области)	316
<i>Пеллинен В.А.</i> Районирование территории острова Ольхон по группам экзогенных геологических процессов	319
<i>Постоев Г.П., Лапочкин Б.К., Казеев А.И.</i> Анализ возможных критических деформаций грунтового основания многофункционального комплекса (в районе Хорошево, Москва)	324
<i>Рафиков В.А.</i> Основные направления рационального использования природных ресурсов и пути предотвращения развития неблагоприятных антропогенных процессов и явлений	329
<i>Рахманбердиева Н.Т.</i> Влияние эоценовых глин на инженерно-геологические условия северного Тамдытау.....	333
<i>Туйчиева М.А., Джураев Н.М., Ёдгоров Ш.И., Хайдарова Б.Н., Мамаджанова Г.Ф.</i> Особенности развития опасных геологических и техногенных процессов и явлений на урбанизированных территориях Ферганской долины	336

<i>Чеснокова И.В.</i> Подходы к картографированию эколого-геокриологических опасностей и риска	341
<i>Шереметьева Е.В.</i> Неотектонические процессы и инженерно-геологические условия бассейна р. Оки на территории Калужской и Тульской областей (по данным линеamentного анализа).....	347
<i>Яковлев А.В., Бусаргина Е.С.</i> Изучение влияния напряженного состояния прибортовых массивов на устойчивость участков бортов Главного карьера Качканарского ГОКа.....	352
4. КОМПЛЕКСНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ СРЕДЫ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКИХ ЗАДАЧ	357
<i>Абдрахманов Р.Ф.</i> Техногенная трансформация подземной гидросферы нефтедобывающих районов Урало-Поволжья.....	357
<i>Безуглова Е.В., Маций С.И.</i> Типизация взаимодействия оползней с транспортными природно-техническими системами в Краснодарском крае.....	362
<i>Белоусова А.П.</i> Подходы к суперрегиональному и региональному эколого-гидрогеологическому районированию.....	367
<i>Богословский В.А., Жигалин А.Д., Хмелевской В.К.</i> Развитие учения о геологической среде: экологическая геофизика	372
<i>Васютнич Л.А.</i> Особенности трансформации геологической среды южной криолитозоны (на примере г. Чита)	377
<i>Верхотуров А.Г.</i> Формирование горно-геологической среды в Забайкалье и ее влияние на экологию территории	381
<i>Грибанова Л.П., Каковкина А.Ю., Подлесных Н.П.</i> Инженерно-экологические исследования для разработки проекта строительства мусороперерабатывающего комплекса на полигоне ТБО «Хметьево» Московской области.....	385
<i>Гусев А.П.</i> Техногенная трансформация рельефа: ландшафтно-экологические эффекты	388
<i>Дашко Р.Э., Алексеев И.В.</i> Микробиота богатых железных руд Яковлевского месторождения как антропогенно-генетический фактор формирования инженерно-геологических условий	392
<i>Калинин Э.В., Панасьян Л.Л.</i> Решение инженерно-геологических задач расчетными методами	398
<i>Козлякова И.В., Анисимова Н.Г., Ерёмкина О.Н., Кожевникова И.А., Иванов П.В.</i> Предварительная оценка инженерно-геологических условий территории строительства Кожуховской линии метрополитена в Москве.....	403
<i>Кондратьев В.Г., Кондратьев С.В.</i> Геокриологические проблемы федеральной автодороги «Амур» Чита – Хабаровск	407
<i>Королёв В.А.</i> Развитие представлений Е.М.Сергеева о геологической среде и ее роли в решении экологических проблем	412

<i>Котович А.А., Гуман О.М., Антонова И.А., Макаров А.Б.</i> Опыт инженерно-экологических изысканий в районе месторождения БалтаГау	418
<i>Крицук Л.Н., Дубровин В.А.</i> Изучение криогенных процессов Ямала дистанционными методами	423
<i>Курбанов Н.Т.</i> Особенности гидрогеологических и инженерно-геологических условий золоторудной месторождения Кокпатас	428
<i>Кутепов Ю.И., Кутепова Н.А., Сергина Е.В.</i> Изменение напряженного состояния и физико-механических свойств намывных пород при формировании горных природно-технических систем	434
<i>Мажайский Ю.А., Евтюхин В.Ф., Гусева Т.М.</i> Влияние загрязнения тяжелыми металлами почвы на ее свойства и экологические показатели	438
<i>Микляев П.С., Петрова Т.Б., Климишин А.В., Макеев В.М.</i> К вопросу о причинах формирования радоновых аномалий в Москве	443
<i>Мирасланов М.М., Закиров М.М.</i> Инженерно-геологическая и гидрогеологическая изученность месторождений твердых полезных ископаемых в республике Узбекистан и достигнутые результаты	448
<i>Петров Н.Ф., Прокопьева Н.А., Никонорова И.В.</i> Об актуальности идей академика Е.М.Сергеева «о широкой геологизации грунтоведения и инженерной геологии» сегодня	453
<i>Петрова Т.Б., Климишин А.В., Микляев П.С.</i> Исследования естественной радиоактивности геологической среды	459
<i>Пинкевич М.Н.</i> Изучение зон повышенной трещиноватости в пределах Енисейского кряжа для поисков подземных вод	463
<i>Рыбникова Л.С., Рыбников П.А.</i> Формирование ресурсов и качества подземных вод в районах ликвидируемых рудников Среднего Урала	467
<i>Савельева Е.Н.</i> Моделирование гидрогеохимических процессов в продуктивных пластах под воздействием заводнения на примере Мишкинского нефтяного месторождения	473
<i>Семенчук А.В., Любимова Т.В.</i> Оценка условий защищенности подземных вод Северо-Петербургской площади Карельского перешейка	477
<i>Соколова Н.В.</i> Изучение изменений геоэкологических условий в системе непрерывных потоков вещества разного ранга	483
<i>Сунгатуллин Р.Х., Хасанов Р.Р.</i> Экологические риски при освоении нетрадиционных энергетических ресурсов	488
<i>Таловская А.В., Филимоненко Е.А., Язиков Е.Г.</i> Динамика загрязнения в окрестностях предприятия теплоэнергетики на основе химического анализа снегового покрова (на примере ГРЭС-2 г. Томск)	491
<i>Таловская А.В., Филимоненко Е.А., Осипова Н.А.</i> Экологические риски для здоровья населения по данным геохимического состава атмосферных аэрозолей (на примере г. Томска)	497
<i>Травкин А.И., Камалов В.Г.</i> Инженерно-геологические исследования и противокарстовое усиление пород на участке древнего карстового провала (на примере строительства «тоннеля» в г. Уфе)	502

<i>Трофимов В.Т., Харькина М.А.</i> Идеология изучения процессов абиотических сфер Земли при геоэкологических исследованиях.....	507
<i>Церцвадзе Л.А., Гагошидзе М.В., З.Г. Какулия, Петриашвили Ш.Г., Яшвили Т.Г., Петриашвили Ж.Д.</i> Последствия изменения экологической среды при разработках рудных месторождения Грузии.....	512
<i>Чертовских Е.О., Лапоухов А.С., Алексеев С.В.</i> Глубокозалегающие пластовые воды венда и кембрия Верхнечонского нефтегазоконденсатного месторождения.....	516
<i>Яковлев Е.А.</i> Роль ассимиляционного потенциала геологической среды как ведущего показателя эколого-техногенной стойкости окружающей среды.....	522
5. МЕТОДОЛОГИЯ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ В ИНЖЕНЕРНОЙ ГЕОЛОГИИ И ГЕОЭКОЛОГИИ	528
<i>Волкова Е.Н., Камшилин А.Н., Казначеев П.А., Попов В.В.</i> Применение метода активного геоэлектрического мониторинга для отслеживания процессов подготовки провалов грунта: оценка возможностей метода и требований к аппаратуре.....	528
<i>Гальперин А.М., Пуневский С.А., Ческидов В.В., Петряков А.М.</i> Совершенствование мониторинга техногенных массивов горных предприятий с применением дистанционных методов.....	533
<i>Губин В.Н.</i> Космический литомониторинг при освоении минеральных ресурсов в Республике Беларусь.....	538
<i>Дзаганя Е.В., Крыленко И.В.</i> К вопросу определения расчетного коэффициента селеактивности.....	543
<i>Заиканов В.Г., Минакова Т.Б.</i> Геоэкологические исследования для обоснования эффективного проектирования.....	546
<i>Золотарев Д.Р.</i> Прогнозирование образования карстопроявлений и их морфометрии на основе данных линеаментной тектоники.....	551
<i>Карфидова Е.А.</i> Классификация объектов геоэкологического картографирования в свете разработки инфраструктуры пространственных данных.....	556
<i>Кожобаев К.А.</i> Некоторые методические вопросы гидроэкологических исследований.....	562
<i>Кожобаев К.А., Молдобеков Б.Д., Усупаев Ш.Э.</i> Краткая история, состояние, проблемы и перспективы развития гидро-, инженерной и экологической геологии в Кыргызстане.....	565
<i>Крутиков В.А., Малышков С.Ю., Гордеев В.Ф., Малышков Ю.П.</i> Картирование активных геодинамических структур методом ЕИЭМПЗ.....	570
<i>Ларионов В.И., Фролова Н.И., Угаров А.Н., Кожаринов С.В.</i> Оценка сейсмического риска г. Б.Сочи.....	575
<i>Лехов М.В.</i> О состоянии гидрогеологических исследований в изысканиях в строительстве.....	580

<i>Ляровский С.П., Дудлер И.В., Патрикеев П.А.</i> Методология создания инженерно-геологических моделей основания строительных объектов с использованием данных глубокого статического зондирования (на примере Димитровградских АЭС).....	585
<i>Макеев В.М., Макарова Н.В., Дорожко А.Л., Суханова Н.В., Коробова И.В., Карфидова Е.А., Леденев В.Н.</i> Основы концепции геодинамической безопасности особо ответственных сооружений.....	590
<i>Мионов О.К.</i> О концепции базы знаний в фондах геологической информации.....	595
<i>Опекунов А.Ю., Опекунова М.Г., Кукушкин С.Ю.</i> Оценивание результатов геоэкологических исследований на основе обобщенной функции желательности Харрингтона.....	599
<i>Орлов Т.В., Садков С.А.</i> Сравнительный анализ возможностей дешифрирования карстовых форм рельефа с использованием аэрофото съемки и лазерного сканирования сверхвысокого разрешения (на примере плато Лагонаки).....	604
<i>Панасьян Л.Л., Сас И.Е., Булыгина Л.Г., Чернов М.С.</i> Современный подход к оценке прочности скальных грунтов.....	609
<i>Пендин В.В., Горобцов Д.Н., Жильцова М.Е.</i> К понятию инженерно-геологический аудит.....	614
<i>Пендин В.В., Шубина Д.Д.</i> К вопросу оценки сложности инженерно-геологических условий в криолитозоне.....	619
<i>Попова О.Г., Жигалин А.Д., Аракелян Ф.О.</i> Изучение свойств и геодинамики среды с помощью сейсмического мониторинга.....	621
<i>Татаринов В.Н., Морозов В.Н., Татаринова Т.А.</i> Методологические аспекты спутниковых наблюдений за современными движениями земной коры.....	626
<i>Умурзакова З.Р., Умурзаков Р.К.</i> Изучение различных нарушений сплошности пород геофизическими методами в процессе исследования деформаций архитектурных памятников.....	630
<i>Федодеев В.И.</i> Некоторые методологические проблемы и пути их решения в инженерной геологии и смежных науках.....	634
<i>Широков В.Н.</i> Систематизация методов изучения напряженного состояния массивов горных пород по информационному критерию.....	639
<i>Щербаков С.В.</i> Оценка активности и масштабов развития карста на территориях Пермского Предуралья по данным изучения их природного строения.....	645
<i>Экзарьян В.Н.</i> Методологические основы геоэкологических исследований.....	651
УКАЗАТЕЛЬ АВТОРОВ	654

Научное издание

СЕРГЕЕВСКИЕ ЧТЕНИЯ

**Развитие научных идей
академика Е.М. Сергеева
на современном этапе**

Выпуск 16

*Юбилейная конференция, посвященная 100-летию
со дня рождения академика Е.М. Сергеева*

**Материалы годичной сессии
Научного совета РАН по проблемам геоэкологии,
инженерной геологии и гидрогеологии
(21 марта 2014 г.)**

Издание подготовлено в авторской редакции

Технический редактор *Н.А. Ясько*
Компьютерная верстка *М.Н. Заикина*
Дизайн обложки *М.В. Рогова*

Подписано в печать 0.02.14 г. Формат 70×100/16. Печать офсетная.
Усл. печ. л. 59,15. Тираж 320 экз. Заказ 93

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. 952-04-41