



РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК

СЕРГЕЕВСКИЕ ЧТЕНИЯ

Выпуск 27

Геоэкологические исследования
для рационального природопользования

Материалы годичной сессии Научного совета РАН
по проблемам геоэкологии, инженерной геологии и гидрогеологии
(2–3 апреля 2026 г.)

Москва
Издательство «Геоинфо»
2026

РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК
МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Научный совет РАН по проблемам геоэкологии, инженерной
геологии и гидрогеологии
Институт геоэкологии им. Е.М. Сергеева РАН

СЕРГЕЕВСКИЕ ЧТЕНИЯ

***Геоэкологические исследования
для рационального природопользования***

Выпуск 27

**Материалы годичной сессии Научного совета РАН
по проблемам геоэкологии, инженерной геологии и гидрогеологии
(2–3 апреля 2026 г.)**



Москва
Издательство «Геоинфо»
2026

УДК: 504,06 : 624,131 : 556

ББК: 26.82; 26.3; 20.1

О64

Сергеевские чтения. Геоэкологические исследования для рационального природопользования. Выпуск 27. Материалы годичной сессии Научного совета РАН по проблемам геоэкологии, инженерной геологии и гидрогеологии (2-3 апреля 2026 г.). Москва: Издательство «Геоинфо», 2026. — стр. 361

ISBN 978-5-6051759-1-9

В сборнике опубликованы доклады, представленные на двадцать седьмую ежегодную конференцию «Сергеевские чтения» памяти академика Е.М. Сергеева – годичную сессию Научного совета РАН по проблемам геоэкологии, инженерной геологии и гидрогеологии, организованную Институтом геоэкологии им. Е.М.Сергеева РАН в г. Москве 2-3 апреля 2026 г. Чтения были посвящены обсуждению проблем геоэкологических исследований в целях рационального природопользования. В соответствии с обсуждавшимися на конференции темами, сборник состоит из следующих разделов: теоретико-методологические основы геоэкологии; изучение опасных природных процессов для решения геоэкологических задач; геоэкология и изменение климата: адаптация и устойчивые решения; рациональное использование геологических ресурсов и управление отходами; инженерно-геологические изыскания и геоэкологические исследования на урбанизированных территориях и в горнопромышленных районах; развитие методов исследований и моделирование в геоэкологии. Для специалистов, студентов и аспирантов в области инженерной геологии, гидрогеологии и геоэкологии.

Редакционная коллегия:

В.И. Осипов (главный редактор), Е.А. Вознесенский (зам. главного редактора),
Е.В. Булдакова (отв.секретарь), Ф.К. Буфеев, А.С. Викторов, О.Н. Еремина,
В.Г. Заиканов, Ф.С. Карпенко, И.А. Костикова, Н.Г. Мавлянова,
П.С. Микляев, Г.П. Постоев, Д.О. Сергеев.

© Научный совет РАН по проблемам геоэкологии, инженерной геологии и гидрогеологии, 2026

© Изд-во «Геоинфо», 2026



Академик
Евгений Михайлович СЕРГЕЕВ
(1914 – 1997)

ПРЕДИСЛОВИЕ

В сборник докладов XXVII Сергеевских чтений включено 75 работ, посвященных разным аспектам геоэкологических исследований, проводимых в целях рационального природопользования. Основной целью этой конференции по замыслу ее организаторов было создание рабочей площадки для специализированного обсуждения геоэкологии как науки или области знания с рассмотрением ее объекта, предмета, научного метода и выявленных на сегодняшний день законов. Это те существенные и необходимые признаки, которыми должна обладать любая самостоятельная наука.

Вместе с тем, среди специалистов, занимающихся экологическими, эколого-геологическими, инженерно-геологическими и близкими к ним по содержанию исследованиями не сложилось общепризнанного мнения ни по содержанию перечисленных выше основных атрибутов геоэкологии, ни по вопросу, какие же все-таки исследования следует относить к собственно «геоэкологическим». Это приводит, с одной стороны, к спорам по поводу соответствующей терминологии и к появлению в публикациях псевдонаучных сущностей, противоречащих научной логике, с другой.

Главная причина существующих противоречий кроется, по всей видимости, в том, что основным содержанием геоэкологии выступает изучение закономерностей влияния абиотических сфер Земли – литосферы, гидросферы и атмосферы – в их взаимодействии на живое. Именно необходимость анализа этого взаимодействия сфер планеты делает научный метод геоэкологии весьма сложным и часто сливающимся с методами соответствующих наук, изучающих отдельные оболочки Земли – геологии, гидрологии, физики атмосферы. Это поднимает вопрос о содержании и роли собственно геоэкологических исследований и об их методике.

Разрешение таких спорных моментов возможно, по всей видимости, только на основании достаточно широкого и подробного обсуждения конкретных ситуаций и примеров реализованных решений, вместо чисто теоретических построений. Организаторы конференции надеются, что некоторые из поднятых в рамках её тематики вопросов станут более понятны как участникам этого научного мероприятия в ходе обсуждения представленных докладов, так и читателям этого сборника.

*Сопредседатель Оргкомитета конференции
Член-корреспондент РАН
Е.А. Вознесенский*

1. ТЕОРЕТИКО-МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ГЕОЭКОЛОГИИ

ГЕОЭКОЛОГИЯ КАК МЕЖДИСЦИПЛИНАРНАЯ ПЛАТФОРМА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЙ ГРЯЗЕВОГО ВУЛКАНИЗМА

В.В. Ершов

Институт морской геологии и геофизики ДВО РАН, 693022, Россия, г. Южно-Сахалинск, ул. Науки, д. 1Б
E-mail: valery_ershov@mail.ru

Опасные природные явления по своей природе требуют междисциплинарного подхода к их исследованию. Ни в отечественной, ни в англоязычной научной традиции не существует одной общей дисциплины, охватывающей все природные угрозы. Вопросы опасных природных процессов распределены между разными дисциплинами в рамках наук о Земле и об окружающей среде: оценкой сейсмической опасности занимаются сейсмологи в геофизике, вулканической опасности – вулканологи, гидрометеорологических рисков – климатологи и гидрологи и т.д.

В англоязычной науке сформировалось поле исследований Natural Hazards (природные опасности) и Disaster Risk Reduction (снижение риска бедствий). Это скорее область исследований и практики, объединяющая геологов, геофизиков, метеорологов, гидрологов, географов, инженеров и др., чем строго обособленная научная дисциплина со своим названием. Тем не менее, можно говорить о наличии институциональных признаков этого направления. Издаются специальные журналы, например, Natural Hazards, Natural Hazards and Earth System Sciences, Risk Analysis, посвященные всем аспектам природных опасностей – мониторингу, моделированию и прогнозу катастрофических событий, управлению рисками, стратегиям снижения ущерба и т.д. Существуют профессиональные сообщества (например, Natural Hazards Center и Society for Risk Analysis) и исследовательские программы (например, Integrated Research on Disaster Risk), направленные на решение проблем, связанных с природными катастрофами, смягчением их последствий и совершенствование механизмов принятия политических и управленческих решений. Регулярно проводятся специализированные научно-практические конференции (например, Natural Hazards Workshop), на которых происходит обсуждение и обмен современными подходами к оценке природных опасностей и снижению риска бедствий.

В России не наблюдается прямого структурного аналога описанного выше подхода: соответствующая проблематика распределена между различными геонауками (академические исследования опасных природных процессов), инженерными дисциплинами (защита территорий и объектов) и практико-ориентированными ведомственными структурами в системе МЧС (снижение риска чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера). Наиболее полно схожую нишу в российской науке охватывает геоэкология, поскольку она объединяет и естественнонаучный анализ опасных природных процессов, и оценку их воздействия на среду и человека, и вопросы прогнозирования и минимизации негативных эффектов. Это достаточно молодая научная дисциплина, которая окончательно оформилась только к концу XX века. При этом для геоэкологии характерна дефиниционная неопределенность, т.е. отсутствие одного общепринятого, четкого и устойчивого определения – в научной литературе сосуществуют несколько конкурирующих дефиниций, по-разному задающих объект, предмет, содержание и границы этой науки [1-7]. Существует, например, географическая трактовка, где геоэкология понимается как экологическая география (ландшафтная экология), изучающая взаимодействие природы и общества, экологические аспекты природопользования и территориальную дифференциацию окружающей среды. Есть геологическая трактовка, в которой геоэкология фактически эквивалентна экологической геологии, изучающей состав, строение и эволюцию геосферных оболочек Земли, их взаимодействие с биосферой и техносферой.

Помимо расхождения трактовок геоэкологии на уровне методологического самоопределения научной дисциплины, можно говорить о разделении на уровне типологии геоэкологических исследований. Здесь можно выделить два больших блока работ, взаимно противоположных по исходной точке анализа и направлению причинно-следственной связи. Первый блок ориентирован на изучение опасных природных и природно-техногенных процессов и их воздействия на геосистемы,

инфраструктуру и население. Второй – фокусируется на изучении антропогенного воздействия на природную среду, его последствиях и мерах природоохранной и рекультивационной направленности.

Существующая множественность трактовок в значительной степени учтена в паспорте научной специальности ВАК 1.6.21 «Геоэкология», где в одном списке вместе соседствуют и геологически, и географически, и инженерно-экологически ориентированные направления исследований. Тем самым на уровне официальной номенклатуры признается право различных научных школ работать под общим названием с общим проблемным ядром (пересекающимся кругом задач) даже при наличии собственных смысловых ответвлений на периферии исследовательского поля.

Несмотря на разницу подходов к пониманию геоэкологии, можно выделить несколько общих признаков, характеризующих ее как особую область научного знания. Геоэкология повсеместно характеризуется как междисциплинарное научное направление, интегрирующее знания в области наук о Земле (география, геология, геофизика, геохимия, экология, природопользование и др.) в целостную систему представлений об исследуемом объекте или явлении. Общим остается и опора на системно-иерархический подход, при котором геосистемы рассматриваются в своей многоуровневой организации, а их части и свойства анализируются не по отдельности, а в рамках целостной структуры с ее внутренними и внешними связями. Геоэкология всегда ориентирована на изучение геосфер и геосистем как экологической среды человека, которая обеспечивает условия его жизнедеятельности. Геоэкология при разных ее толкованиях характеризуется направленностью на осмысление опасностей и рисков, связанных с трансформацией окружающей среды, и на выработку на этой основе научно обоснованных подходов к мониторингу, картированию и прогнозу для управления территориями и снижению их уязвимости.

Если отвлечься от собственно теоретико-философских вопросов науки, то для понимания геоэкологии важны не столько терминологические нюансы, сколько описанный выше устойчивый набор ее содержательных признаков. В силу этих ключевых признаков геоэкология обладает существенными эпистемологическими и методологическими преимуществами при анализе геосистем со сложной иерархической организацией, многокомпонентной структурой, нелинейной динамикой, развитой системой прямых и обратных связей. Эпистемологическое преимущество проявляется в получении более целостного и интегрального знания, обладающего высокой объяснительной и прогностической силой, а методологическое – в возможности сочетать в единой рамке широкий набор методов, средств и исследовательских процедур. Есть природные явления, для которых не сформировалась собственная специализированная научная дисциплина, тогда как их исследование требует одновременного учета геологических, геофизических, геохимических, биологических, социально-экономических и прочих аспектов. В частности, к ним относится грязевой вулканизм, который в настоящее время не имеет и вряд ли в обозримой перспективе получит свою монодисциплинарную нишу.

Грязевой (осадочный) вулканизм представляет собой фокусированную разгрузку подземных флюидов (вод, газов, разжиженного глинистого материала – сопочной брекчии) по разломным зонам в земной коре, главным образом в пределах мощных осадочных бассейнов и складчатых областей [8]. Эта разгрузка имеет циклический характер, с повторяющимися длительными фазами накопления давления и фазами быстрой интенсивной разрядки (извержения). В настоящее время насчитывается около 2500 наземных и подводных грязевых вулканов, расположенных в разных частях света [9]. Эта оценка является консервативной – по более смелым расчетам общее число грязевых вулканов не меньше 10 тысяч [10]. Таким образом, грязевой вулканизм следует рассматривать как явление планетарного масштаба.

Уже из базовых представлений о характере грязевулканических извержений можно констатировать, что выбросы больших объемов сопочной брекчии потенциально приводят к разрушению или повреждению зданий, дорог, инженерных сетей и представляют прямую угрозу для населения. Здесь следует добавить, что многие грязевые вулканы располагаются на шельфе, поэтому даже слабые извержения могут вызывать разрушения прибрежной инфраструктуры (кабельных каналов связи, нефтегазопроводов и др.), а также затруднять навигацию в прибрежных водах. Отдельные извержения сопровождаются самопроизвольным воспламенением выделяющихся газов и образованием устойчивых факелов, что формирует дополнительный пожаро- и взрывоопасный фактор. В зонах грязевого вулканизма разуплотненные газо- и водонасыщенные осадки способствуют развитию оползней, провалов и иных форм гравитационной неустойчивости, тогда как миграция и разгрузка флюидов вызывают подъемы и понижения земной поверхности, формируя сложный пространственно-временной деформационный режим. Потоки минерализованной водогрязевой смеси изменяют

физико-химические свойства почв и водной среды, вызывая их засоление и загрязнение тяжелыми металлами и углеводородами, что приводит к деградации прибрежно-морских и наземных экосистем (в том числе сельхозугодий). Грязевые вулканы являются значимыми природными источниками метана и, в меньшей степени, углекислого газа, внося вклад в глобальные парниковые выбросы, что необходимо учитывать при оценке углеродного баланса и связанных с ним климатических рисков. Все эти факторы грязевулканической опасности являются наиболее очевидными, тогда как, вероятно, спектр негативных последствий грязевого вулканизма и конкретные сценарии их реализации этим не исчерпываются, что обуславливает необходимость дальнейшего целенаправленного изучения.

В то же время в большинстве нормативных и проектных практик, связанных с территориальным планированием, а также размещением и эксплуатацией инженерной инфраструктуры и объектов недропользования, грязевой вулканизм, как правило, не рассматривается в качестве самостоятельного класса природной опасности. Это сильно контрастирует с уровнем регуляторной проработанности других опасных геологических процессов и явлений, таких как землетрясения, магматический вулканизм, оползни и др. В научной литературе показателен пример шеститомной монографии «Природные опасности России» – основополагающей работы, систематизирующей современный научный и прикладной опыт изучения опасных природных процессов и риск-анализа на территории страны. В этой монографии грязевой вулканизм сильно уступает по степени аналитической проработанности другим видам природных опасностей [11]. Если для ключевых направлений имеется развернутая формализация (количественные показатели, карты, методики расчета и прогноза, связка с нормативной и инженерной практикой), то грязевые вулканы остаются преимущественно на уровне общего краткого описания явления с минимальной параметризацией. Такая диспропорция не связана с недостатком внимания со стороны авторского коллектива, а отражает объективно невысокий пока современный уровень изученности грязевого вулканизма.

Специализированных отечественных исследований, непосредственно посвященных оценке опасности и рисков грязевого вулканизма, пока немного [12-14]. Хотя они представляют собой лучшую на сегодняшний день попытку анализа имеющихся сведений по рассматриваемой проблематике, эти работы содержат очень ограниченный объем конкретной информации, пригодной для непосредственного использования в инженерной и управленческой практике. Такая ситуация обусловлена объективно слабой эмпирической и теоретической базой: слабой статистикой, малым числом хорошо задокументированных извержений, дефицитом длительных наблюдений, отсутствием надежных моделей, существенными неопределенностями в понимании механизмов грязевого вулканизма и условий его активизации.

Современный риск-анализ использует развитый математический аппарат (статистические методы, сценарный анализ, байесовские подходы, имитационное моделирование, многокритериальные методы) и эффективные средства визуализации (детализированные цветовые карты, трехмерные модели, анимации). Это порождает соблазн вычислять риск при любых исходных данных и создает иллюзию точности и надежности таких расчетов, которые начинают восприниматься как достаточное основание для практических рекомендаций. Однако эти результаты неизбежно наследуют ограничения исходных данных, оставаясь методологически недостаточно обоснованными и потенциально неверными. Известно, что принцип GIGO (garbage in, garbage out) справедлив независимо от того, насколько модель продвинута или современна [15]. Указанная проблема дефицита и несопоставимости эмпирических данных, а также значительных модельных неопределенностей, в целом характерна для исследований природных опасностей и риска бедствий [16]. Однако в случае с грязевым вулканизмом эта проблема встает особенно остро из-за его слабой изученности.

Грязевой вулканизм включает в себя множество аспектов, каждый из которых рассматривается в рамках отдельной научной дисциплины. Геология определяет условия формирования и возраст грязевых вулканов, опираясь на литологию, стратиграфию и тектонику. Геохимия и минералогия исследуют источники и физико-химические условия образования грязевулканического вещества, его трансформацию при миграции из земных недр на поверхность. Микробиология и биогеохимия изучают роль микробных процессов в грязевых вулканах, таких как метаногенез, сульфатредукция, анаэробное окисление метана и др. Геофизика изучает внутреннее строение, питающие резервуары и архитектуру флюидоподводящих каналов. Геодинамика и сейсмология рассматривают связь грязевых вулканов с землетрясениями и региональными напряжениями. Геоморфология и инженерная геология изучают формы и устойчивость грязевулканических построек. Экология и ландшафтоведение анализируют

трансформацию ландшафтных комплексов и экосистем вокруг грязевых вулканов. И это лишь небольшая часть аспектов и научных дисциплин, вовлеченных в изучение этого феномена. При этом каждая дисциплина рассматривает грязевой вулкан с позиций собственной предметной области, со своим видением, логикой, языком описания. В итоге мы получаем фрагментированные знания – разрозненные факты и частные интерпретации, не встроенные в общую систему координат. Объединить эти фрагменты возможно только в рамках интегративной постановки задачи, где заранее задана общая цель, выходящая за пределы отдельной дисциплины – в частности, анализ грязевого вулканизма как опасного природного явления с социально значимыми последствиями. В этой ситуации геоэкология может взять на себя роль дисциплины, интегрирующей, организующей и стимулирующей исследования грязевого вулканизма. Таким образом, геоэкология является наиболее подходящей междисциплинарной платформой для исследований грязевого вулканизма. Она выступает не еще одной областью исследований наряду с другими, а рамочной дисциплиной, которая переводит изучение грязевого вулканизма из набора частных исследований в связную систему, ориентированную на понятный практический результат – оценку опасности и управление рисками.

Литература

1. Водянова М. А., Хабарова Е. И. Вариант унификации термина «геоэкология» // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2009. № 6. С. 222-225.
2. Заиканова И. Н. Наука «геоэкология» как пример имитации эпистемологического единства при расхождении: объектов, субъектов, проблем // Геоэкология. Инженерная геология. Гидрогеология. Геокриология. 2022. № 4. С. 81-91.
3. Осипов В.И. Геоэкология – междисциплинарная наука о экологических проблемах геосфер // Геоэкология. Инженерная геология. Гидрогеология. Геокриология. 1993. № 1. С. 4-18.
4. Рыбаков Д. С. Геоэкология – единство наук геологического и географического направлений // Труды Карельского научного центра Российской академии наук. Серия: Геология докембрия. 2020. № 2. С. 55-65.
5. Семячков А. И. Геоэкология – наука о взаимодействии литосферы и биосферы с учетом социально-экономической деятельности человека // Литосфера. 2010. № 6. С. 120-125.
6. Трофимов В. Т. О ряде позиций теоретических оснований нового содержания геоэкологии // Вестник Московского университета. Серия 4: Геология. 2021. № 6. С. 3-9.
7. Трофимов В. Т., Барабошкина Т. А., Харьковина М. А., Жигалин А. Д. Эволюция термина «геоэкология» в геологии // Бюллетень Московского общества испытателей природы. Отдел геологический. 2017. Т. 92. Вып. 3. С. 3-11.
8. Mazzini A., Etiope G. Mud volcanism: An updated review // Earth-Science Reviews. 2017. Vol. 168. P. 81-112.
9. Алиев Ад.А., Гулиев И.С., Дадашев Ф.Г., Рахманов Р.Р. Атлас грязевых вулканов мира. Баку: Nefta-Press, 2015. 322 с.
10. Milkov A.V. Worldwide distribution of submarine mud volcanoes and associated gas hydrates // Marine Geology. 2000. Vol. 167. P. 29-42.
11. Природные опасности России. Том 2. Сейсмические опасности / Под общ. ред. В.И. Осипова, С.К. Шойгу. Отв. ред. Г.А. Соболев. М.: КРЭК, 2000. 296 с.
12. Миронюк С.Г. Грязевые вулканы Азово-Черноморского бассейна и прилегающей территории и оценка их опасности для зданий и сооружений // Геориск. 2010. № 3. С. 20-28.
13. Миронюк С. Г. Грязевые вулканы Керченского пролива и предпроливных акваторий и некоторые приемы оценки их степени опасности // Экология. Экономика. Информатика. Серия: Системный анализ и моделирование экономических и экологических систем. 2024. Вып. 9. С. 67-71.
14. Овсяченко А.Н., Собисевич А.Л., Ларьков А.С., Сысолин А.И., Андреева Н.В., Лиходеев Д.В. К оценке опасности грязевого вулканизма для объектов капитального строительства // Природные и техногенные риски. Безопасность сооружений. 2023. № 2. С. 35-44.
15. Grossi P., Windeler D. Sources, Nature, and Impact of Uncertainties on Catastrophe Modeling // Grossi P., Kunreuther H. (eds.). Catastrophe Modeling: A New Approach to Managing Risk. New York: Springer, 2005. P. 69-91.
16. Cui P., Peng J., Shi P., Tang H., Ouyang C., Zou Q., Liu J., et al. Scientific challenges of research on natural hazards and disaster risk // Geography and Sustainability. 2021. Vol. 2. P. 216-223.

РОЛЬ АКАДЕМИКА Е.М.СЕРГЕЕВА В СТАНОВЛЕНИИ ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКОГО НАПРАВЛЕНИЯ В ИНЖЕНЕРНОЙ ГЕОЛОГИИ

В.И. Осипов, О.Н. Еремина

Институт геоэкологии им. Е.М. Сергеева РАН, г. Москва, Уланский пер. 13, с. 2
E-mail: osipov@geoenv.ru

Институт геоэкологии РАН с 2006 г. носит имя его основателя, академика Е.М.Сергеева, памяти которого посвящены ежегодные научные чтения. Академик Е.М.Сергеев – выдающийся советский ученый и организатор науки в области грунтоведения и инженерной геологии – по праву считается также и основоположником геоэкологического направления в этой науке.

Как известно, термин «геоэкология» был введен в 1939 г. немецким ученым К.Троллем для обозначения раздела классической экологии, изучающей экологию ландшафтов. В рамках наук геологического цикла становление геоэкологических представлений в нашей стране основывалось на идеях В.И. Вернадского, А.Е. Ферсмана, А.В. Сидоренко. Академик А.В.Сидоренко в 1967 г. в работе «Человек, техника, Земля» писал, что в современных условиях нельзя «сводить геологию только к задаче выявления минерально-сырьевых ресурсов или к инженерно-геологическому обоснованию строительства. Минерально-сырьевое направление в геологии следует дополнить изучением земной коры как среды обитания и деятельности человека» [8]. Эта идея была подхвачена и развита Е.М. Сергеевым, который считал, что из всех наук геологического цикла именно инженерная геология как наука о геологической среде наиболее подготовлена к решению задач ее рационального использования и охраны. Академик Е.М. Сергеев еще в начале 1960-х гг. впервые связал инженерную геологию с понятием «ноосферы» В.И. Вернадского [3]. Позже он ввел определение инженерной геологии как науки о геологической среде, ее свойствах и динамике, рациональном использовании и охране в связи инженерно-хозяйственной, прежде всего – инженерно-строительной деятельностью человека [6,9].

Таким образом, академик Е.М. Сергеев, не используя тогда термин «геоэкология», ввел понятие «охрана и рациональное использование геологической среды» как направление инженерной геологии, которое по сути явилось прообразом геоэкологического направления в инженерной геологии. Евгений Михайлович считал 1980-е годы рубежом в развитии инженерной геологии, характеризующим начало нового ее исторического этапа, на котором одной из основных задач инженерной геологии как науки, комплексно изучающей геологическую среду, стало рациональное использование и охрана геологической среды [7].

Эти теоретические идеи Е.М. Сергеева нашли практическое воплощение и отразились на структуре учебно-научных подразделений геологического факультета МГУ. Так в 1977 г. на геологическом факультете начала работать «Проблемная лаборатория охраны геологической среды» (ПЛОГС), заведующим которой был назначен ученик Е.М. Сергеева – Ю.Б. Осипов. В 1986 г. возглавляемая академиком Е.М. Сергеевым кафедра грунтоведения и инженерной геологии была переименована в кафедру инженерной геологии и охраны геологической среды, и в том же году кафедра произвела первый выпуск студентов по специальности «Охрана геологической среды» [2]. Под таким названием кафедра просуществовала 12 лет до 1998 г., когда она была переименована в кафедру инженерной и экологической геологии [2].

Занимая ведущие посты в Международной ассоциации по инженерной геологии (МАИГ), Е.М. Сергеев активно продвигал идею вовлечения природоохранного направления в круг задач инженерной геологии на международной арене. Впервые эта мысль была озвучена им в 1974 г. в Москве с трибуны Международной конференции МАИГ «Генетические основы инженерно-геологического изучения горных пород». В приветственном слове председателя оргкомитета при открытии конференции Е.М. Сергеев привлек внимание международных участников к тому, что в поле зрения инженерной геологии должны попадать вопросы, касающиеся долговременных прогнозов трансформации геологической среды под техногенным воздействием с целью планирования ее охраны [11]. Самостоятельно природоохранная тематика была впервые вынесена на крупный научный геоло-

гический форум спустя 2 года, в 1976 г., когда в Ленинграде под руководством В.Д. Ломтадзе была организована Всесоюзная конференция по инженерной геологии под названием «Проблемы инженерной геологии в связи с рациональным использованием геологической среды», в которой приняли участие ведущие зарубежные ученые – лидеры МАИГ [10]. А в 1980 г., Генеральная Ассамблея МАИГ, проходившая во время 26-го Международного геологического конгресса в Париже, единогласно приняла «Декларацию МАИГ об участии в решении проблем окружающей среды» [7, 10], которую внесла на рассмотрение советская делегация под руководством Е.М. Сергеева, занимавшего в то время пост Президента этой международной ассоциации. В декларации говорилось, что инженерно-геологическая наука принимает на себя ответственность за разработку вопросов, связанных с геологической средой, и Генеральная ассамблея МАИГ обращается ко всем ученым и специалистам инженерам-геологам с призывом строить свою работу, исходя из этого положения.

Спустя 17 лет, на заседании Совета МАИГ в Афинах в 1997 г. в год ухода из жизни академика Е.М. Сергеева было принято решение о переименовании МАИГ в Международную ассоциацию по инженерной геологии и окружающей среде. Переименовываемая Ассоциацию, руководство МАИГ отметило, что эта идея принадлежала Е.М. Сергееву. Почетный президент МАИГ М. Арну в речи, посвященной памяти его друга и коллеги Е.М. Сергеева, так отметил его роль в развитии этой инициативы: «...является замечательным, что именно он в самом Советском Союзе, в ЮНЕСКО и МАИГ очень рано и заблаговременно выделяет направление охраны окружающей среды. ...Мы должны воздать ему должное за то, что он при любой возможности поддерживал это направление охраны геологической среды дополнительно, а не в противоречии с развитием строительства и крупных проектов. Он справедливо считал, что инженерная геология среди всех наук о Земле занимает наиболее ответственное положение для решения этих задач.» (дословный перевод В.С. Шибаковой) [1,10].

Одним из главных научно-организационных устремлений Е.М. Сергеева, к реализации которого он приложил много усилий на протяжении десятилетий своей жизни, было вовлечение инженерной геологии и созданного им нового направления – охраны геологической среды – в сферу академической науки. В 1966 г. ему удалось учредить Научный совет по инженерной геологии и грунтоведению при АН СССР, в 1978 г. по его инициативе в издательстве «Наука» был открыт академический журнал «Инженерная геология». В 1979 г. по инициативе и под руководством академика Е.М. Сергеева был создан сектор геологии окружающей среды в Институте литосферы АН СССР (ИЛСАН), позже (в 1988 г. трансформированный в отдел инженерной геологии и охраны окружающей среды, который возглавил ближайший ученик Е.М. Сергеева, к тому времени член-корреспондент АН СССР, В.И. Осипов).

Однако главной целью оставалась организация самостоятельного научного учреждения в системе Академии наук. Среди архивных документов конца 1980-х гг. сохранились копии писем, направленные Е.М. Сергеевым в Политбюро ЦК КПСС, лично Генеральному секретарю ЦК КПСС М.С. Горбачеву. В этих обращениях, подписанных вице-президентом АН СССР академиком А.Л. Яншиным, академиком-секретарем ОГГГН АН СССР академиком Б.С. Соколовым, Председателем Научного совета АН СССР по инженерной геологии и гидрогеологии академиком Е.М. Сергеевым на основании указаний на ошибки и промахи в крупных инженерных проектах, повлекших большой ущерб государству (таких как Северо-Муйский тоннель, Атоммаш и г. Волго-донск, неудачно выбранные места для строительства некоторых АЭС) обосновывается необходимость создания в Академии наук института инженерно-геологических проблем. В письмах говорится, в частности, «что широкое развитие подтопления городов и сельскохозяйственных угодий, возникновение катастрофических геологических процессов природного и техногенного характера в известной степени связаны с тем, что в стране недостаточно разрабатываются фундаментальные проблемы инженерной геологии – науки, которая берет на себя ответственность за охрану и рациональное использование геологической среды».

Е.М. Сергеев допускал создание института двойного подчинения – на основе объединения ПНИИИСа с лабораториями инженерно-геологического профиля Института литосферы АН СССР. При этом, к этому времени уже стало понятным, что для включения создаваемого нового научного направления в фундаментальную академическую науку, необходимо расширить круг решаемых задач и создать научный институт, способный обеспечить комплексный подход к решению проблем предотвращения и минимизации последствий опасных природных и техногенных процессов. В

письмах того периода Е.М. Сергеев отмечал, что современная инженерная геология тесно связана с экологией. Он называл новое направление, «которое должно объединить инженерную геологию, мерзлотоведение и некоторые разделы других наук, и которое изучает поверхностную часть земной коры как геологическую среду, где осуществляется строительная и другая инженерно-хозяйственная деятельность человека» – «геологией окружающей среды» и «геоэкологией».

Усилия ученых увенчались успехом и в 1991 г. в системе АН СССР был открыт Инженерно-геологический и геоэкологический центр (ИГЦ РАН), на правах института на базе подразделений инженерно-геологического профиля ИЛСАН, директором которого стал академик В.И. Осипов, а заместителем директора по научной работе – В.М. Кутепов. Первоначально в ИГЦ РАН было образовано 6 научных лабораторий: «Грунтоведения и механики грунтов», «Экзогенной геодинамики», «Эндогенной геодинамики и новейшей тектоники», «Сейсмического микрорайонирования», «Геоэкологии Москвы и городских агломераций» и «Техногенного изменения подземных вод». Спустя 5 лет, 25 мая 1996 г. на базе объединения Инженерно-геологического и геоэкологического научного центра (ИГЦ РАН), Научно-инженерного сейсмологического центра и Комплексной лаборатории гидрогеологии и природосберегающих технологий РАН и Госкомвуза РФ (г. Санкт-Петербург) был создан Институт геоэкологии РАН.

Необходимо отметить, что большую поддержку Е.М. Сергееву и В.И. Осипову в создании самостоятельного научного института оказал вице-президент РАН академик Н.П. Лаверов. Первоначально Е.М. Сергеев хотел, чтобы инженерная геология сохранилась в названии института, однако академик Н.П. Лаверов настоял на более широком наименовании, мотивируя это тем, что большинство академических институтов занимаются комплексными проблемами и охватывают ряд научных направлений, возглавляя их. Он справедливо считал, что академический институт не должен быть похожим на отраслевое научное учреждение, а обязан заниматься изучением крупных фундаментальных проблем. Наукой, направленной на изучение процессов в абиотических компонентах окружающей среды, возникающих в результате хозяйственной (техногенной) деятельности людей, он считал геоэкологию. При таком подходе в компетенцию института наряду с решением традиционных задач инженерной геологии должны входить и вопросы общенаучной значимости, связанные прежде всего с экологической безопасностью, оценкой природного и природно-техногенного риска, загрязнением природной среды [5]. Так появилось название института – Институт геоэкологии.

Несмотря на то, что само понятие геоэкологии до сих пор по-разному трактуется разными специалистами, все исследователи единодушны в том, что конечной целью геоэкологии является создание разумного паритета между дальнейшим развитием человеческой цивилизации и экологически устойчивым состоянием недр нашей планеты [4].

ИГЭ РАН, 30-летие которого отмечается в текущем, 2026 г., функционирует сейчас как многопрофильный научный институт, научная деятельность которого охватывает практически весь спектр важнейших проблем в сфере геоэкологии, инженерной геологии и гидрогеологии в соответствии с приоритетным направлением развития науки и техники РФ «Рациональное природопользование». Е.М. Сергеев застал при своей жизни образование института, что было исполнением его заветной цели и принесло ему большую радость и удовлетворение. А спустя 10 лет после образования ИГЭ РАН, в 2006 г. Президиум РАН принял постановление о присвоении Институту геоэкологии имени Евгения Михайловича Сергеева. Коллектив института хранит добрую память об этом человеке, который был учителем многих сотрудников ИГЭ РАН, и передает ее молодому поколению коллег.

Литература

1. *Воспоминания об академике Е.М.Сергееве (к 100-летию со дня рождения). Под ред. В.И.Осипова. М., РУДН, 2015, 178 с.*
2. *История и итоги развития инженерно-геологического образования и исследований в Московском государственном университете / Под ред. В.Т.Трофимова, В.А.Королева. М.: ООО «СамПолиграфист», 2022. 440 с.)*
3. *Мельникова К.П., Сергеев Е.М. Идеи В.И. Вернадского о ноосфере и дальнейшее развитие инженерной геологии// Вестник МГУ: сер.4. Геология, 1963, №1, с.43-47*
4. *Осипов В.И. Геоэкология - междисциплинарная наука об экологических проблемах геосфер// Геоэкология, 1993, №1, стр. 4-18*

5. Осипов В.И. О фундаментальных потерях инженерной геологии// *Геоэкология*, 2019, №5, с.89-91
6. Сергеев Е.М. Инженерная геология - наука о геологической среде// *Инженерная геология*, 1979, №1, стр. 3-19.
7. Сергеев Е.М. Проблемы инженерной геологии в связи с задачами рационального использования и охраны геологической среды/ В сб. *Проблемы рационального использования геологической среды* . М., Наука, 1988,с. 5-21
8. Сидоренко А.В. Человек, техника, Земля. М., Недра, 1967, 57 с.
9. Теоретические основы инженерной геологии. Геологические основы. Под ред. академика Е.М.Сергеева. М., Недра, 1985, 332 с.
10. Шубакова В.С.Инженерная геология. События и люди. М., ООО «Геомаркетинг», 2014 г., 159 с.
11. Sergeev E.M. Opening address by the chairman of the organizing committee of the conference [«Genetic principles of engineering-geological study of soils and rocks»] // *Bulletin of the International Association of Engineering Geology*,1975, no.11, pp.3-4

О ПРОБЛЕМЕ ЕДИНОЙ УНИФИЦИРОВАННОЙ КЛАССИФИКАЦИИ ОПОЛЗНЕЙ (ЕУКО) В ОПОЛЗНЕВЕДЕНИИ

Н.Ф. Петров

Чувашский государственный университет имени И.Н. Ульянова, Россия, г. Чебоксары, Московский проспект, 15,
кафедра физической географии и геоморфологии
E-mail: petrovnf@gmail.com

Введение

Факт множественности классификаций оползней, её причины волновали не одно поколение специалистов. Действительно, среди десятков направлений в науках о Земле ни одно другое направление не страдает так остро подобной болезнью, и ни в одной науке геологического цикла нам не известна подобная вакханалия с классификациями своих объектов и предметов, несмотря на успехи в теоретических исследованиях основ инженерной геологии и инженерной геодинамики (Г.К. Бондарик, В.Д. Ломтадзе, В.Т. Трофимов и др.). Из истории оползневедения известно, что исследованием этой проблемы и необходимости разработки ЕУКО (единой унифицированной, но никак не универсальной, по Е.П. Емельяновой [11, с.120]), занимались не только в наши дни, но и в прошлом веке. При этом, ряд исследователей обратили внимание, наряду с другими аргументами (сложность и разнообразие объекта), на такой феномен как классификационное невежество. В этом отношении вызывает интерес статья В.В. Кюнтцеля и Г.Р. Хоциташвили [3] о принципах классифицирования гравитационных процессов («Проблемы классифицирования...», 1985, с.42-48), в которой анализируются положительные и отрицательные стороны субъективного фактора в разработке, признании и внедрении в науках новых теорий, направлений, в том числе и классификаций оползней, особенно в условиях множества других – традиционных, старых, но функционирующих несмотря на то, что ни одна из них не соответствует принципам естественной таксономии (теории классификации), требованиям логики (Емельянова, 1985) [11, с.56, 120]. В таких случаях чаще срывает, по мнению Ю.А.Воронина (1981, [1]), «классификационная невежественность» большинства специалистов, работающих в данной области знаний, благодаря чему они чаще отказываются от более совершенной разработки, допустим, новой классификации, в пользу старых, привычных, почти родных, и тем более связанных с именами авторитетных ученых.

Эти рассуждения касаются состояния оползневедения 40-летней давности. Изменилось ли это состояние в наши дни? По крайней мере, мысли о роли классификационного невежества в состоянии оползневедения приходит на ум, вслед за Ю.А. Ворониным (см. выше), каждый раз, когда начинаешь осмысливать почти 40-летний период функционирования созданной нами в 1978-1983 гг. классификации, которая, как сегодня выясняется, единственная могла претендовать на роль ЕУКО еще тогда, до 90-ых годов прошлого века [7,8]. Все эти годы наша схема с качествами ЕУКО действительно пребывала в одиночестве, но «по загадочным обстоятельствам» не замечалась у нас в России разработчиками послеперестроечных нормативных документов, ни в 1997 году (СП-105-97, 2000), когда еще работали авторы наиболее близких к нашей классификации известных почти равноценных схем – Рзаева, Кюнтцель [5], Тихвинский [15], ни в 2018 году (СП 420.1325800. 2018, [13]), когда упомянутых теоретиков уже не стало, а действующие ныне специалисты (Зеркаль, Казеев, Маций, Осиюк, Постоев, Стром, Фоменко, Кропоткин и др.) предпочли придерживаться своих и традиционных взглядов.

Материалы и дискуссия

Данная актуальная тема далеко не нова и не могла остаться незамеченной исследователями, действительно заинтересованными в судьбе оползневедения. В этой группе заинтересованных очутились и мы в 70-ых годах прошлого века, когда по иронии судьбы оказались в богатой не только виноградом, но и оползнями Молдавии, в гуще проблем борьбы с ними в созидательных целях, а, следовательно, и проблем таксономии оползневых систем, их классификации, без которой (это

было и остается для нас аксиомой!) было наивно рассчитывать на успешное решение поставленных задач по освоению оползневых склонов.

Оказавшись по воле случая руководителем и исполнителем масштабных для Республики и абсолютно новых для меня инженерно-геологических исследований по освоению сотен гектар склоновых массивов под многолетние насаждения и не обнаружив среди десятков имеющихся схем приемлемого для инженерно-геологической службы института «Молдвинсадпроект» варианта, создание подобной схемы с соблюдением требований логики стало для нас в сущности исполнением долга чести, подтверждения недавно полученной (1969 г.) степени к.г.-м.н. за успешное решение не менее сложной геологической задачи – биостратиграфии ордовика Урала, связанной с изучением фауны и корреляцией разрезов разновозрастных толщ не только Урала, Мугоджар и Новой Земли, но и более десятка других регионов мира – Прибалтики, Скандинавии, Великобритании и Чехии в Европе, Восточной Сибири, Таймыра и Казахстана в Азии, с регионами Северной Америки и др. Не будет излишним заметить, что в процессе ознакомления с состоянием таксономических проблем в оползневедении нас поразило прежде всего дружное игнорирование авторами схем важных правил логики и составления классификаций, в том числе, например, синонимикой, вольное обращение с рангами таксонов, их иерархической зависимостью, с понятиями объект и предмет оползневедения.

Одновременно появились у нас (у профессионального горного инженера-геолога с 10-тилетним стажем полевых работ по изучению стратиграфии верхнего докембрия и нижнего палеозоя Урала [16, С.1100] и 8-ю годами непрерывного изучения сотен гектар оползневых склонов уже здесь в Молдавии) раздумья о причинах множества классификаций оползней по сравнению с классификациями объектов и предметов в других науках о Земле (в минералогии, литологии, петрографии, палеонтологии и др.), и отсутствии среди них ЕУКО, т.е. той единственной схемы, которая удовлетворила бы нужды специализированного проектного института по освоению оползневых склонов. И к 1983 году нам удалось создать подобную схему [7], а после публикации наших монографий в 1987 и 1988 годах [8,9] по обоснованию данной классификации, судя по современным солидным справочникам [12] (В.Т. Трофимов, О.В. Зеркаль, 2022), она уже тогда была единственной и действительно могла претендовать на роль ЕУКО.

Аналогичной точки зрения стали придерживаться в личных беседах и наши коллеги и оппоненты, ведущие ученые по проблеме, почти мои ровесники – Гулакян, Кюнтцель, Тихвинский, Постоев, Шешеня, Леваднюк, Науменко, Ниязов и др. Только стечение обстоятельств, разрушительные для СССР, его науки и экономики события периода «перестройки» (в 1990-2000 гг. было не до науки – занимались выживанием), помешали тогда узаконить наши разработки путем публичной защиты диссертации в ВСЕГИНГЕО (Москва), куда были направлены документы из института МолдГИИНТИЗ (Кишинев, 1989 г.).

Дальнейшие шаги по «узакониванию» наших достижений путем защиты докторской уже в Чебоксарский период нашей деятельности (с 2000 г.) неоправданно затянулись, а их причины заслуживают отдельного рассмотрения. Положительный исход наших разработок подтверждается рядом последующих высказываний в печати специалистов о ценности нашей классификации. Вот мнение Н.В. Манаевой (2008) [4, с.160]: «На основе анализа современных публикаций было выяснено, что наиболее приемлема Единая унифицированная классификация оползней (ЕУКО), разработанная Н.Ф.Петровым [2006], где детально проанализированы теоретические основы классификации и прикладные проблемы таксономии оползней». В обстоятельной монографии МГУ по опасным геологическим процессам профессор Э.В. Калинин (2013) [2, с.220] выразился так: «Сложной, но выдержанной с позиций формальной логики является классификация оползней Н.Ф. Петрова (1987), приведенная на рис. 14.4.». И далее здесь же: «В классификацию вошли все виды оползней, представленных в предыдущих классификациях». Составленную нами [9] первую в мировой практике классификацию сложных оползней (1988) он назвал «более сложной», очевидно, по сравнению с неизвестной нам какой-то другой схемой. Правда, здесь же ниже Э.В. Калинин отметил, что «наиболее полной и исчерпывающей является классификация В.В. Кюнтцеля, предложенная им в 1980 г.». Но уже в процессе работы над моими книгами (1986-1987 гг.) В.В. Кюнтцель, их главный редактор, не предлагал свою классификацию в качестве ЕУКО и фактически благословил на эту роль нашу [8,9]. Можно предположить, что, обнаружив в нашей классификации полноту и логичность, Э.В. Калинин фактически признал за ней эту роль, так как другие схемы таких характеристик не удосуживались. Ведь логичность

построения и полнота – основные требования, предъявляемые к научно корректным классификациям. Именно эти качества отсутствуют у других классификаций как в России, так и за рубежом, лишая их возможности баллотироваться на ЕУКО.

В своей монографии (2015) В.В. Пендин и И.К. Фоменко выразили свое отношение к нашей классификации таким образом [6, с.52]; Н.Ф. Петровым «разработана наиболее полная и выдержанная с позиций формальной логики естественная классификация оползней. В классификацию вошли все виды оползней, представленные в предыдущих классификациях. Одной из немногих удачных попыток классификаций сложных оползней является классификация Н.Ф. Петрова». Таким образом, здесь отечественными компетентными учеными положительно оценена наша классификация не только простых оползней, но и сложных. Однако органы экспертизы, проектно-изыскательские организации руководствуются не новыми разработками, а требованиями СП 420.1325800.2018, взявшие за основу неполную схему Тихвинского, почти однозначную с схемами Рзаевой, Гулакяна, Кюнтцеля и в какой-то мере и Г.С. Золотарева, отражающими состояние науки прошлого века, которые до сих пор никем к ЕУКО не относились [11, с.123]. В результате наша новая методология не может открыто применяться в практике проектно-изыскательских работ, и этим наносится значительный ущерб стране за счет осуществления недостаточно обоснованных проектных решений по составу ПОМ. Все это доказывается многочисленными примерами из практики.

Наша научно-практическая деятельность в 1970-1990 гг. происходила в общении с когортой известных теоретиков и практиков оползневедения страны (Гулакян, Кюнтцель, Ломтадзе, Науменко, Ниязов, Постоев, Тихвинский, Тер-Степанян, Шешеня, Леваднюк, Осюк и др.), а с 2002 года, после значительного перерыва (в 1992-2002 годы выживания в Чебоксарах), – в общении с представителями столичной науки (Петрова-Ясюнас, Трофимов, Калинин, Фоменко, Кропоткин, Стром, Зеркаль, Шешеня и др.). Приведенная выше оценка нашей работы Манаевой, Фоменко (полнота, логичность) разделялась в 1983-1992 гг. (Кишиневский период) при личных беседах почти всеми известными оползневедами, перечисленными выше. Многие из них ушли из жизни накануне или в годы перестройки, значительная часть оказалась за границей, оголив и осиротив нашу науку. Все это отрицательно повлияло на научный уровень отечественного послеперестроечного оползневедения. Кстати, за рубежом оно никогда не возвышалось над российской. Недаром англосаксы, как, впрочем, и некоторые наши специалисты, например, Г.П. Постоев, все разнообразие оползней пытаются втиснуть в три группы движений: скольжение (slids, механизм сдвига у Постоева), выдавливание («lateral spreads, механизм сжатия») и течение (flows – течение, но никак не разжижение: Г.П. Постоев здесь не прав), выделяя разновидности уже по типам грунтов (а не по механизмам), нарушая правила классификации. В России этот перечень по механизму (в схемах Золотарева, Рзаевой, Кюнтцеля, Тихвинского) всегда был полнее, разнообразнее и достигал 9-и, 10-и типов за счёт добавления к этим же трем типам, правда с нарушением правил логики, новых типов (просадочные, выплывания, суффозионные, разжижения, карстовые) и выделения не совсем корректно разновидностей течения – оплывины, сплывы, потоки. Можно сказать, что советское оползневедение, не успев поддержать официально наши разработки ЕУКО и перейти от стадии накопления фактов к стадии их научного обобщения, все-таки теоретически всегда было выше западной и вплотную приблизилась к созданию ЕУКО еще в доперестроечные годы.

Наши разработки ЕУКО произошли в Молдавии накануне ущербных для науки перестроечных годов, а период их внедрения совпал с еще более страшными годами перестройки. Возможно, по этой причине, официальное оползневедение почти не заметило их, несмотря на наличие публикаций [8,9], и оно продолжает функционировать в старом теоретическом облачении, чему, очевидно, и способствует живучесть классификационного невежества, лучшей иллюстрацией которого является монография [11]. В упомянутой выше статье [3, с.48] из этой монографии Кюнтцель и Хоситашвили считают насущным требованием «поиск правильных классификаций из числа существующих или создание новых, удовлетворяющих уровню современной науки и практики», не дожидаясь создания теории классификации, о которой мечтал Ю.А. Воронин. Именно почти по этому совету (создание новой, не дожидаясь теории) и по этой причине (насущное требование) мы взяли в свое время за разработку ЕУКО на фоне безусловного господства классификационного невежества и, надеемся, создали её. Но игнорирование ее сегодня опять-таки объясняется, по-видимому, в основном тем же господством классификационного невежества, открытого Ю.А. Ворониным.

Заключение

Промелькнувшие почти четыре десятилетия с момента появления нашей классификации оползней (1983-1988) убедительно доказали, по мнению Э.В. Калинина, Н.В. Манаевой, И.К. Фоменко, ее преимущества перед другими характеризуются полнотой, логичностью, соблюдением правил таксономии, и она может быть рекомендована в качестве основы для построения долгожданной Единой Унифицированной Классификации Оползней по механизму и разработки основанной на данном ЕУКО методологии картирования оползневых систем и составления корректных расчетных моделей.

Литература

1. Воронин Ю.А. О механизме смены классификаций: Надо ли критиковать старые классификации и строить новые? –Геология и разведка, 1981, №3, с.28-35.
2. Инженерная геология России: Том 2. Инженерная геодинамика территории России: / Под ред. В.Т. Трофимова, Э.В. Калинина. - М.: КДУ, 2013. 816 с.
3. Кюнцель В.В., Хоситашивили Г.Р. Основные принципы классифицирования гравитационных процессов / Проблемы классифицирования склоновых гравитационных процессов. -М. «НАУКА», 1985. С.42-48.
4. Манаева Н.В. Обзор современного состояния классификаций оползневых процессов в условиях подмыва склонов руслами рек. Двадцать третье пленар. межвузов. координац. совещан. по проблеме эрозион. руслов. и устьев. процессов (г. Калуга, 8-10 октября 2008г.): Доклады и краткие сообщения. – Калуга: КГПУ им. К.Э. Циолковского, 2008. –с.160-162,
5. Опасные экзогенные процессы / В.И. Осипов, В.М.Кутепов, В.П.Зверев и др. / Под ред. В.И. Осипова. – М.: ГЕОС, 1999. 290 с.
6. Пендин В.В., Фоменко И.К. Методология оценки и прогноза оползневой опасности. - М.: ЛЕНАНД, 2015. 320 с.
7. Петров Н.Ф. Классификация оползней по механизму развития с целью их освоения // Воспроизводство плодородия малопродуктивных почв. – Кишинев: Тимпул, 1983. С. 79 – 90.
8. Петров Н.Ф. Оползневые системы. Простые оползни. – Кишинев: Штиинца, 1987. 164 с.
9. Петров Н.Ф. Оползневые системы. Сложные оползни. – Кишинев: Штиинца, 1988. 226 с.
10. Петров Н.Ф. Характеристика номенклатурных таксонов оползневых систем / Эколого-геоморфологические исследования (Арчиковские чтения): мат-лы конф. – Чебоксары: ЦНС «Интерактив плюс», 2015. С. 46-65.
11. Проблемы классифицирования склоновых гравитационных процессов / Под ред. М.В. Чуринова, Е.А.Толстых. - М.: Наука, 1985. – 204с.
12. Склоновые геологические процессы: / [монография]. О.В. Зеркаль, Э.В. Калинин, О.С. Барыкина и др.; Под редакцией В.Т. Трофимова, О.В. Зеркаля. - М.: Изд-во «Перо», 2022. 724 с.
13. СП 420.1325800. 2018. Инженерные изыскания для строительства в районах развития оползневых процессов. Общие требования. – М.: 2018. 60с.
14. Стром А.Л. Каменные лавины Центральной Азии: особенности строения, закономерности формирования и катастрофические последствия: автореф. дис. на соискание ученой степени докт. геол.-мин, наук. М.: МГУ. 2022. 42с.
15. Тихвинский И.О. Опасности, обусловленные склоновыми гравитационными процессами // Природные опасности России. Монография в 6 томах под редакцией В.И. Осипова и С.К. Шойгу. Том 3. Глава 4. Экзогенные геологические процессы. / Под ред. В.М. Кутепова, А.И. Шеко. – М.:КРУК, 2002. С. 263-288.
16. Гарань М.И., Петров Н.Ф., Моисеева В.П. Стратиграфия и тектоника докембрийских и нижнепалеозойских отложений западного склона Южного, Среднего и Северного Урала. Тома I, II и III, докембрий, кембрий и ордовик соответственно. Геол.фонды Уральского ТГУ, ВГФ. Свердловск, 1969. С.1100.

ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ ЦЕЛОСТНОГО ГЕОИНФОРМАЦИОННОГО ПРОСТРАНСТВА В ИНЖЕНЕРНОЙ ГЕОЛОГИИ

Н.Н. Ракитина¹, Ф.К. Буфеев^{2,3***}

¹ ГБУ «Мосгоргеотрест», 123040, г. Москва, Ленинградский проспект, д. 11, с.1

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

³ МГРИ им. С. Орджоникидзе, г. Москва, ул. Миклухо-Маклая, д. 23

* E-mail: nfrakitina@mggt.ru

*** E-mail: fbufeev@mail.ru

Современное градостроительство характеризуется увеличением нагрузок на геологическую среду вследствие возрастания сложности проектных решений при строительстве объектов, что диктует необходимость системного подхода к изучению инженерно-геологических условий (ИГУ) территорий. Такой подход предполагает комплексный анализ геологической среды, включающий последовательное рассмотрение данных на разных уровнях иерархии – от отдельных компонентов ИГУ [2] до формирования целостной инженерно-геологической модели исследуемой территории. Создание комплексной инженерно-геологической модели, являющейся основным результатом системного подхода, требует, прежде всего, чёткого определения и структурирования ее исходных компонентов. В этой связи ключевое значение приобретает разграничение следующих базовых понятий: **данные, информация, информационное пространство**.

До недавнего времени между терминами «инженерно-геологические данные» (ИГД) и «инженерно-геологическая информация» (ИГИН) не проводилось четкого разделения, и разные специалисты могли вкладывать в них различные смыслы и трактовки. Лишь со временем появилась необходимость дифференцировать эти понятия, придав каждому из них собственное уникальное значение. В рамках современной научной мысли произошло содержательное разделение категорий «данные» и «информация», основанное на различиях в их природе, генезисе и функциональном назначении. Детальный анализ данного вопроса, включая систематизацию основных характеристик этих понятий, представлен в работах О.В. Зеркала [5] и И.В. Архангельского [1]. На основе анализа существующих определений автором предлагаются следующие формулировки понятий ИГД и ИГИН:

Инженерно-геологические данные – первичные результаты измерений, наблюдений и лабораторных испытаний, представляют собой фактические сведения о грунтах, подземных водах и геологических процессах, полученные в ходе полевых и лабораторных работ. К инженерно-геологическим данным можно отнести, например, зафиксированные в процессе бурения глубины границ геологических тел, уровни появления и установления водоносных горизонтов, показания, снятые с лабораторных и полевых приборов. Будучи совместно обработаны, обобщены и проинтерпретированы применительно к решению конкретной прикладной задачи, данные порождают инженерно-геологическую информацию.

Инженерно-геологическая информация – структурированные и интерпретированные инженерно-геологические данные, позволяющие сделать выводы и прогнозы, а также обосновать конструктивные решения проектируемых объектов. Включают обработанные результаты полевых и лабораторных исследований, агрегированные показатели свойств грунтов по территории, прогнозы изменения инженерно-геологических условий, а также выводы и рекомендации. ИГИН является основой проектирования оснований и фундаментов.

Блок-схема соотношения ИГД и ИГИН представлена на рис. 1.

Правильное понятийное разделение «данных» и «информации» создаёт необходимую терминологическую основу для перехода к более сложной интеграционной категории. Ею выступает целостное *геоинформационное пространство* (ГИПР), которое можно определить как интегрированную структуру сбора, хранения, обработки и анализа пространственно-привязанных сведений, используемых для изучения ИГУ территорий. Эта система интегрирует разнородные ИГД и производную от них ИГИН в единую логически связанную среду. За счёт установления семан-

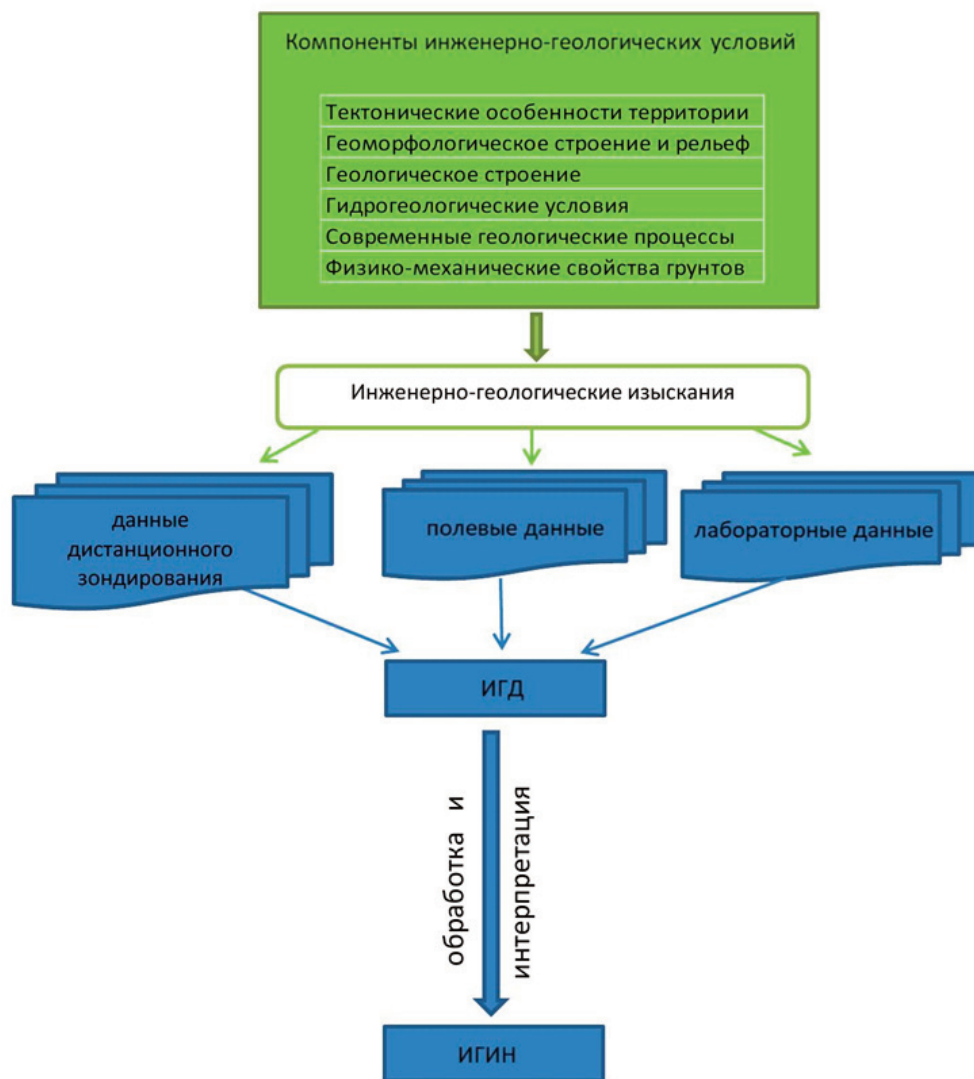


Рис. 1. Блок-схема соотношения ИГД и ИГИН

тических, пространственных и временных связей между всеми элементами, она обеспечивает повышение эффективности инженерно-геологических исследований и, как следствие, качества принимаемых по ним проектных решений.

Эффективная организация целостного геоинформационного пространства требует надежной технологической основы, которая должна обеспечивать структурированное хранение, защиту и взаимосвязь всех его элементов. Такой основой является база данных (БД) результатов инженерно-геологических изысканий (ИГИ), которая служит материальным ядром ГИПР.

Ключевую роль в формировании БД результатов ИГИ играет специализированное программное обеспечение – система управления базами данных (СУБД, которая обеспечивает [4]:

- организацию структуры БД, включая логическую организацию и индексирование, которое существенно повышает скорость и удобство поиска нужных сведений;
- интеграцию ИГД из различных источников и возможность их совместного анализа и обработки;
- централизованное хранение ИГД и ИГИН;
- безопасность хранения, обработки и выдачи ИГД и ИГИН, через механизмы контроля доступа, резервного копирования и восстановления;
- управление метаданными, позволяющими зафиксировать условия и обстоятельства получения данных, что повышает их достоверность и актуальность.

Первый этап проведения ИГИ – процесс сбора фондовых и архивных данных, комплексный анализ которых формирует предварительное понимание ИГУ площадки, позволяя оптимизировать программу будущих работ, избежав дублирования и экономия ресурсы. При этом особое внимание

уделяется верификации данных, поскольку от их качества напрямую зависит достоверность конечных результатов изысканий.

Основной массив ИГД формируется непосредственно на площадке изысканий в ходе полевого этапа. Для обеспечения целостности, достоверности и пригодности для последующей цифровой обработки, ИГД должны фиксироваться в электронном виде. Это включает и прямую цифровую регистрацию, такую как электронная привязка горных выработок и точек наблюдений, автоматический сбор данных с полевых приборов (статического/динамического зондирования, штампов, прессиометров), и перевод в электронный формат путем оцифровки и структурированного внесения в БД данных, изначально зафиксированных на бумажных носителях (например, описание обнажений и буровых журналов). Такой подход минимизирует ошибки ручного ввода, обеспечивает мгновенную доступность ИГД для анализа и создает надежную основу для их интеграции в единое ГИПР.

Полученные на полевом этапе образцы подвергаются исследованиям в лабораторных условиях, где результаты также должны фиксироваться в электронном формате. Это достигается за счёт прямой интеграции измерительного оборудования с лабораторной информационной системой, что исключает субъективные ошибки ручного ввода, обеспечивает прослеживаемость результатов от прибора до итогового отчёта и создаёт структурированный цифровой массив данных, готовый для дальнейшей обработки. Электронный формат лабораторных протоколов является неотъемлемой частью единой базы данных, позволяющей сопоставлять свойства грунтов и вод с конкретными точками отбора и геологическими слоями.

Далее необходимо проведение процесса обработки ИГД, включающего отбраковку, нормализацию и преобразование полевых и лабораторных данных.

Отбраковка данных – это первый этап обработки данных, направленный на выявление и исключение недостоверных или дефектных измерений. Например, если в ходе испытаний выявлено резкое отклонение какого-либо показателя от средних значений, оно подлежит проверке и, при необходимости, исключению из анализа. Основные критерии отбраковки включают выявление грубой погрешности, выявление аномалий и выявление систематических ошибок.

Нормализация данных – это процесс приведения данных к единой системе единиц измерения и форматам, что позволяет сопоставлять результаты, полученные из разных источников.

Преобразование данных – это комплексный процесс перевода разрозненных ИГД в структурированную, пригодную для анализа и моделирования форму.

Все полученные ИГД должны быть занесены в единую БД, структура которой строится как иерархическая реляционная модель [4].

Ключевыми логическими модулями БД являются:

- справочники и классификаторы (например, типы грунтов по ГОСТ [3], виды испытаний, единицы измерения и пр.), обеспечивающие стандартизацию и единообразие вводимой информации;
- пространственные данные, хранящиеся в геометрическом формате;
- атрибутивные данные – вся описательная и числовая информация, связанная с пространственными объектами через уникальные идентификаторы.

Такая организация позволяет не просто хранить разрозненные данные, а формировать целостное геоинформационное пространство, которое позволяет систематизировать и эффективно управлять большими объемами данных, обеспечивая их четкую организацию и логичную взаимосвязь, чтобы обеспечить максимальную доступность, целостность и удобство работы.

Блок-схема ГИПР представлена на рис. 2.

ГИПР предполагает три структурных уровня:

I. Базовый уровень: включает первичные полевые и лабораторные ИГД, а также архивные материалы ранее выполненных изысканий.

II. Промежуточный уровень (агрегированные данные): содержит обобщённую ИГИН – генерализованные описания слоёв грунта, усреднённые характеристики грунтов по территориям.

III. Верхний уровень (модели и прогнозы): представляет конечные продукты в форме карт инженерно-геологических условий, трёхмерных моделей геологического строения и прогнозных оценок развития инженерно-геологических процессов.

Примером эффективного использования ГИПР может служить исследование, выполненное в ГБУ «Мосгоргеотрест» [6]. В рамках этого исследования для участка территории Хорошевского района Москвы был проведен анализ инженерно-геологических условий, построена трехмерная

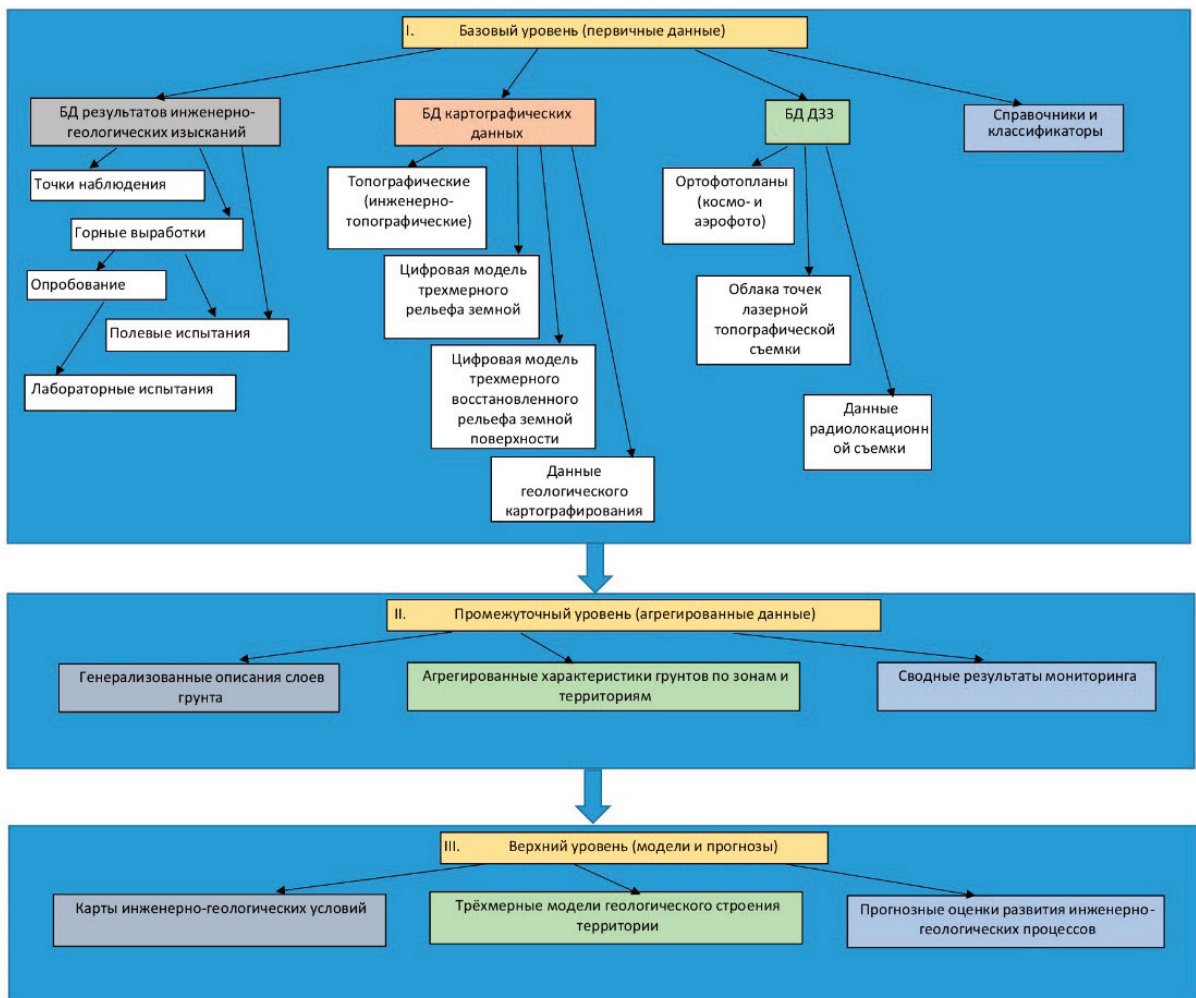


Рис. 2. Блок-схема ГИПР

геологическая модель геологического пространства, а также объединены и совместно обработаны накопленные в архиве лабораторные данные по физико-механическим свойствам отложений оксфордского и келловейского ярусов верхнего отдела юрской системы, представленные глинами. К рассмотрению были отобраны лабораторные данные, полученные в период с 2000 по 2020 годы. Все образцы грунтов имеют пространственную и временную привязку, что позволило проследить изменение свойств грунтов как во времени, так и в пространстве.

В ходе исследования был проведен статистический и корреляционный анализы показателей следующих пар свойств: пластичность – коэффициент пористости, сцепление – угол внутреннего трения, сцепление – абсолютная отметка, угол внутреннего трения – абсолютная отметка. Результаты показали, что величины показателей свойств исследованных грунтов практически не зависят от года проведения их исследований, а зависят, главным образом, от места и глубины отбора образцов. Данные выводы позволят более эффективно использовать архивную информацию при последующих изысканиях, что позволит оптимизировать объем полевых и лабораторных работ при сохранении их качества.

Это исследование наглядно демонстрирует преимущества подхода ГИПР: возможность выявлять устойчивые закономерности и переходить от разрозненных архивных данных к объективному цифровому описанию геологической среды, являющемуся надежной основой для прогнозных расчётов и проектных решений.

Литература

1. Архангельский И.В. Современные представления об инженерно-геологической информации [Электронный ресурс] // Независимый электронный журнал «ГеоИнфо» – URL: <https://geoinfo.ru/product/arhangelskij-igor-vsevolodovich/sovremennye-predstavleniya-ob-inzhenerno-geologicheskoy-informacii-43598.shtml?ysclid=md7ecfwl87408684788> (дата обращения: 09.08.2025).

2. Бондарик Г. К. *Инженерно-геологические изыскания учебник, для студентов высших учебных заведений, обучающихся по специальности «Поиск и разведка подземных вод и инженерно-геологические изыскания» направления подготовки «Прикладная геология» / Г.К. Бондарик, Л.А. Ярг; Рос. гос. геологоразведоч. ун-т им. Серго Орджоникидзе (РГГРУ). – 3-е изд. – Москва: КДУ, Книжный дом, 2011.*
3. ГОСТ 25100-2020 «Грунты. Классификация».
4. 4. Дудецкий В.Н. *Организация баз геологических данных: учебное пособие / Гос. образовательное учреждение высш. проф. образования «Российский гос. геолого-разведочный ун-т им. Серго Орджоникидзе» РГГУ. - Москва: ФЛИНТА, 2015.*
5. 5. Зеркаль О.В. *О содержании и соотношении понятий «данные», «информация» и «знания» в инженерной геологии // Инженерная геология. 2014. – № 6. – С. 18-31.*
6. 6. Ракитина Н.Н., Жидков Р.Ю., Буфеев Ф.К. *Актуальный взгляд на возможность использования материалов инженерно-геологических изысканий прошлых лет для оценки массивов грунтов на примере участка в г. Москве. / Сергеевские чтения. Массивы грунтов как жизнеобеспечивающий ресурс общества. Выпуск 26. Материалы годичной сессии Научного совета РАН по проблемам геоэкологии, инженерной геологии и гидрогеологии (27-28 марта 2025 г.). Москва: Издательство «Геоинфо», 2025. – с. 46-49.*

ИСТОРИЯ ПОЯВЛЕНИЯ ТЕРМИНА «ГЕОЭКОЛОГИЯ», ТЕРНИСТЫЙ ПУТЬ РАЗВИТИЯ ТЕОРЕТИКО- МЕТОДОЛОГИЧЕСКИХ ОСНОВ ГЕОЭКОЛОГИИ КАК НАУКИ, ОЦЕНКА ЕЕ СОВРЕМЕННОГО СОСТОЯНИЯ

В.Т. Трофимов

Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, 119234, Москва, Ленинские горы, 1
E-mail: trofimov@rector.msu.ru

О времени, причине введения и исходном содержании термина «геоэкология»

Термин «**геоэкология**» был введен в начале шестидесятых годов XX века немецким географом К. Троллем взамен им же предложенного в 1939 году термина «*ландшафтная экология*» для придания ландшафтоведению экологической направленности [13]. Позднее, в 1968 году К. Тролль «определил *ландшафтную экологию как изучение основных комплексов, обусловленных взаимоотношениями между живыми сообществами и их средой в данной части ландшафта* (курсив мой. – В.Т.). Ландшафтная экология и геоэкология, по К. Троллю, синонимы.

К. Тролль также решил, что биогеоценология В.Н. Сукачева, «**по-видимому**», идентична его ландшафтной экологии и «ввел термин «геоэкология» во избежание терминологической путаницы» (по И.Е. Тимашеву, [12, с. 11]) и улучшения взаимопонимания ученых из разных стран.

К. Тролль разработал свои построения применительно к **природным** комплексам и оставил открытым вопрос о месте человека и социума в структуре экосистем, хотя и назвал антропогенное влияние фактором их трансформации.

Термин «геоэкология» чрезвычайно быстро «завоевал» умы исследователей. Его новизна, красивое «звучание», возможность перевода на русский язык в разных по содержанию вариантах привлекли в СССР и новой России внимание не только географов-ландшафтоведов, но и географов других специальностей, геологов, представителей ряда технических специальностей. В высшей школе с 1994 года стала преподаваться дисциплина «геоэкология», к названиям ряда кафедр географических факультетов университетов страны был добавлен этот термин. С 2001 года в перечень специальностей Высшей аттестационной комиссии страны была введена «геоэкология», по которой стали защищаться кандидатские и докторские диссертации, причем не только по географическим наукам, но и геолого-минералогическим и техническим. В итоге появилось большое количество статей, учебных пособий «Введение в геоэкологию», учебных пособий и учебников «Геоэкология», в которых содержание геоэкологии рассматривалось по-разному, на основе принципиально разных концепций.

Это привело к «многоликости» понимания фундаментальных основ геоэкологии, термин «геоэкология» потерял исходное содержание, но не приобрел необходимую четкость. Он стал, по сути, термином свободного пользования, а геоэкология – «наукой наук». Только в публикациях геологов выделено не менее трех толкований этого термина – геобиосферное, литосферное и геосферное – и соответственно его применения. Часто геоэкологическими называли работы, не имевшие ни малейшей экологической направленности. *Этим обусловлены парадоксы современной геоэкологии, которые, строго говоря, ставят вопрос о возможности относить ее к новой, уже сформировавшейся науке.* Более того, М.И. Богдановым опубликована статья под названием «Геоэкология – наука, которой нет» [1]. В то же время Л.Л. Розановым опубликована работа под названием «Современное геоэкологоведение» [8]. Такая ситуация требует широкого научного обсуждения.

Научно-содержательные парадоксы современной геоэкологии

К настоящему времени в геоэкологии сформировалось большое количество спорных позиций, противоречий, несогласованных позиций, отсутствие теоретических общепринятых положений и понятий. Многие эти вопросы парадоксальны для науки.

К числу важнейших, фундаментальных по значению парадоксов современной геоэкологии, отнесены [14, 15, 16]:

- 1) «многоликость» понимания содержания геоэкологии, не свойственную сформировавшимся наукам;
- 2) многоликое понимание структуры геоэкологии как науки;
- 3) отсутствие четко определенных, а главное, общепризнанных теоретических задач геоэкологии;
- 4) неоднозначное отношение исследователей к необходимости изучения при геоэкологических работах влияния параметров абиотических сред на состояние биоты;
- 5) различные взгляды на проблему изучения воздействия природных и антропогенных факторов на экосистемы;
- 6) неразработанность вопроса о междисциплинарном характере геоэкологии как науки.

Содержание каждой из этих позиций, обсуждение и решение которых необходимы для разработки четкой теоретической базы геоэкологии, обсуждалось мной ранее в ряде публикаций. В доказательство лишь первой из этих позиций приведу данные, суммированные на рис. 1.

Организационно-ВАКовские парадоксы геоэкологии

В перечне специальностей Высшей аттестационной комиссии (ВАК) Российской Федерации, по которым защищаются кандидатские и докторские диссертации, «Геоэкология» включена в 2001 году. Паспорт научной специальности 25.00.36 – Геоэкология был утвержден приказом Минобрнауки России от 25 февраля 2009 г. № 59. В нем указывалось, что присваиваются ученые степени по геолого-минералогическим, географическим и техническим наукам.

Формула этой специальности была определена так: геоэкология – междисциплинарное научное направление, объединяющее исследования состава, строения, свойств, процессов, физических и геохимических полей геосфер Земли как среды обитания человека и других организмов. Основной задачей геоэкологии является изучение изменений жизнеобеспечивающих ресурсов геосферных оболочек под влиянием природных и антропогенных факторов, их охрана, рациональное использование и контроль с целью сохранения для нынешних и будущих поколений людей продуктивной природной среды.

В специальность «Геоэкология» включены такие области **исследований: науки о Земле, нефтегазовая отрасль, горно-перерабатывающая промышленность, металлургия, строительство и ЖКХ**. Сразу же возникает вопрос – не много ли? Разве ранее не решали экологически ориентированные проблемы и задачи названные технические науки до того, как их в таком виде «поместили» в паспорт названной научной специальности? А с другой стороны – вопрос, не мало ли? Разве другие области исследований, например, связанные с сельскохозяйственной и военной деятельностью, работой перерабатывающей промышленности, транспортной сети и других сфер деятельности не оказывают влияния на экосистемы?

Приведу еще мнение М.И. Богданова: «Ознакомившись с паспортом специальности, становится достаточно понятно, что «геоэкология» действительно практически объявлена наукой всех наук, включив в свои области исследования почти все возможные направления научной деятельности» [1, с. 125].

Можно ответить, что это придирка. Нет, это принципиальный вопрос по содержанию паспорта специальности, тем более что теоретическая общепринятая база геоэкологии до сих пор не разработана.

Такие же вопросы вызывает и список смежных специальностей паспорта научной специальности 25.00.36. Геоэкология: «03.02.08 – Экология; 05.05.06 – Горные машины; 05.16.07 – Металлургия техногенных и вторичных ресурсов; 05.26.01 – Охрана труда (по отраслям); 25.00.07 – Гидрогеология; 25.00.08 – Инженерная геология, мерзлотоведение и грунтоведение; 25.00.10 – Геофизика, геофизические методы поисков полезных ископаемых; 25.00.13 – Обогащение полезных ископаемых; 25.00.22 – Геотехнология (подземная, открытая и строительная); 25.00.23 – Физическая география и биогеография, география почв и геохимия ландшафтов; 25.00.25 – Геоморфология и эволюционная география; 25.00.26 – Землеустройство, кадастр и мониторинг земель; 25.00.27 – Гидрология суши, водные ресурсы, гидрохимия; 25.00.35 – Геоинформатика; 05.23.19 – Экологическая безопасность строительства и городского хозяйства».

Биологические аспекты	Географические аспекты	Геологические аспекты	Автор, год
геоэкология ↔			Братков В.В., Овдиенко Н.И., 2005, Голубев Г.Н., 1999, 2002, 2013, 2016, Горшков С.П., 1999, 2001, Григорьева И.Ю., 2013 Двуреченский В.Н., 2004, Козловский Е.А., 1989, Кочуров Б.И., 1999, Климанова О.А., 2014, Куриленко В.В., 2000, 2002, 2004, 2009, 2012, Малашевич Е.В., 1987, Прозоров Л.Л., Экзарьян В.Н., 2000, Розанов Л.Л., 2010, 2015, Смирнов Н.П., 2006, Трофимов В.Т., Зилинг Д.Г., 1995, 2002, Трофимов В.Т., Зилинг Д.Г., Аверкина Т.И., 1994, Трофимов В.Т., 2005, 2009, Ясаманов Н.А., 2007
морская геоэкология ↔			Емельянов В.А., 2003
аквагеоэкология ↔			Авиллов В.И., Авилова С.Д., 2008
геоэкология ↔			Айбулатов Н.А., 2001, Бачинский Г.А., 1989, Братков В.В., Овдиенко, 2006, Гродзинский М.Д., Шищенко П.Г., 1993, Жекулун В.С., 1989, Котляков В.М., Комарова А.И., 2007, Поздеев В.Б., 2004, Реймерс Н.Ф., 1990, Родзевич Н.Н., 2003, Соколов Б.С., 1995, Тимашев И.Е., 2008, Экологический..., 2002
геоэкология (экологическая география) ↔			Троль К., 1972, Егоренков Л.И., 1993, Исаченко А.Г., 1995, 2003, Емельянов А.Г., 2004, Кочуров Б.И., 2005, Петров К.М., 2004, Чибилёв А.А., 1998
	геоэкология ↔		Горшков С.П., 1992, Карлович И.А., 2005, Кофф Г.Л., 1996, Осилов В.И., 1993, 1996, 1997, Соловьев В.А., Соловьёва Л.П., 2008, Фролов Н.М., 1991
	гидрогеоэкология ↔		Орлов М.С., Питьева К.Е., 2013
	геоэкология ↔		Акимова, Хаскиц, 1998, Будько, 1977, Колесник, 1961, Мильков Ф.Н., 1997 Brown, 1995
	инженерная геоэкология ↔		Голыцын А.Н., 2007
		геоэкология ↔	Сычев К.И., 1991
↔		геоэкология ↔	Козловский Е.А., 1984, Клубов С.В., Прозоров Л.Л., 1994, Судо М.М., 1999

Рис. 1. Содержание объема понятия «геоэкология» у разных авторов (составили В.Т. Трофимов, М.А. Харьковина, В.В. Шанина [10])

Это список длинный, но критически не полный не только в отношении наук о Земле (геологии, климатологии, океанологии, почвоведения и др.). Нет и многих технических, а также медицинских, биологических наук.

Вызывают вопросы формулировки очень многих позиций во всех включенных в специальность технических наук. Приведу в доказательство этого цитату из критической статьи М.И. Богданова: «Имеет смысл отметить наиболее яркие из 60 (шестидесяти) областей исследования этого «междисциплинарного научного направления». В частности, «геоэкология» занимается **«междисциплинарными аспектами стратегии выживания человечества»** (включены ли сюда вопросы создания обитаемых поселений в космосе?), «научным обоснованием государственного нормирования и стандартов в области геоэкологических аспектов природопользования» (это при том, что неизвестно, что относится к геоэкологии!), «геоэкологическим обоснованием конструирования, проектирования и безопасного размещения инженерных сооружений нефтегазовой отрасли», **«теорией и методами создания экологически безопасных технологий, машин, оборудования и материалов**, подготовки и повышения качества продукции, утилизации и переработки промышленных отходов при разработке природных и техногенных месторождений и обогащении твердых полезных ископаемых», **«ресурсами металлов»**, **«ресурсами недр и океанического дна»**, «влиянием металлургии на климат», **«влиянием металлургии на величину озонового слоя»**, **«атмосферным и тропосферным озоном»**, «экологически чистым производством» (молочных продуктов, одежды или чего-нибудь еще?), «геоэкологическим моделированием природно-техногенных строительных систем» (все что угодно в строительной отрасли можно отнести к этому разделу), «геоинформационные системы и технологии в строительной деятельности и ЖКХ», «теория и методы геоэкологической оценки существующих и создаваемых технологий, конструкций и сооружений, режимов эксплуатации объектов и систем в области градостроительства, энергетического, гидротехнического, промышленного, транспортного, других видов строительства и эксплуатации ЖКХ». Выборка из перечня областей исследования этой «науки наук» достаточно наглядно показывает, что «геоэколог» имеет право заниматься практически всем в науке, поскольку все можно подвести под одну из скромных задач «междисциплинарных аспектов стратегии выживания человечества!» [1, с. 19].

Такая структура специальности «Геоэкология» часто вызывала и до сих пор вызывает вопросы при приеме диссертаций в диссертационных советах. В 2005 г. в ответах главного ученого секретаря Высшей аттестационной комиссии В.Н. Неволлина и начальника Управлений государственной аттестации научных и научно-педагогических работников Федеральной службы по надзору в сфере образования и науки В.Г. Выскуба на вопросы участников региональных совещаний было зафиксировано, что очень часто шифр диссертационных работ, которые защищаются в диссертационных советах определяется неправильно [7]. И это продолжается до сих пор. Иначе говоря, по специальности «Геоэкология» защищается немало работ, не имеющих геоэкологической направленности.

В паспорт специальности «Геоэкология» вносились изменения и дополнения. Но подавляющая часть вопросов сохранилась. Вывод: появление геоэкологии как научной специальности ВАК, – «науки наук» – произошло в 2001 году. *Она была создана заинтересованными лицами на базе существовавших специальностей ВАК рациональное использование и охрана окружающей среды и других путем включения вопросов, ранее решавшихся в традиционных естественных и технических науках. Этим был рожден организационно-ВАКовский парадокс геоэкологии, который до сих пор не преодолен.* Именно это часто приводит к неправильному определению шифра диссертационных работ, которые защищают в специализированных советах по специальности геоэкология.

Причины существования научно-содержательных и организационно-ВАКовских парадоксов современной геоэкологии

Научно-содержательные парадоксы геоэкологии обусловлены следующими причинами:

- 1) новизной термина «геоэкология»;
- 2) своеобразной яркостью термина, его необычностью и как следствие, привлекательностью;
- 3) возможностью придания разного содержания этому термину при переводе на русский язык;
- 4) незнанием истоков термина «геоэкология», сферы его применения, очерченной К. Троллем, и «свободное» применение в творчестве;

5) различным подходом исследователей, часто узкопрофессиональным («цеховым»), к определению содержания понятия «геоэкология»;

6) стремлением одних исследователей сохранить первоначально введенное содержание термина «геоэкология», а других – придать ему новое содержание, причем совершенно разное по объему;

7) различным отношением исследователей к биоте;

8) различным отношением исследователей к воздействующим на системы группам факторов, которые должны изучаться в ходе геоэкологических работ;

9) отсутствием до настоящего времени четкой формулировки теоретических основ геоэкологии, его новой терминологической базы как неперенного атрибута новой междисциплинарной науки [10, 15, 16].

Главной в содержательном отношении является девятая причина: неразработанность теоретических основ геоэкологии, отсутствие четкой формулировки ее понятийной базы. Именно это позволяет существовать широкому спектру взглядов на содержание геоэкологии. Именно поэтому высказываются представления, в которых объект этой междисциплинарной науки рассматривается от экосферы до геологической среды, структура и задачи формулируются совершенно по-разному, а отношение к необходимости оценивать влияние абиотических сред на биоту принципиально различается. Именно это часто приводит к неправильному определению шифра диссертационных работ, которые защищают в специализированных советах по специальности 25.00.36 – геоэкология [7].

Неразработанность рассматриваемой позиции четко выражается и в подходе к вопросу: какое же **учение** должно лежать в основе теории этой науки? А в этом и заключается важнейшая позиция науки, требующая широкого и *детального* обсуждения.

О причинах организационно-ВАКовских парадоксов геоэкологии. Эти парадоксы связаны с причинами, по крайней мере, четырех групп:

1) причинами существования научно-содержательных парадоксов геоэкологии, в первую очередь, не разработанностью теоретического базиса как науки, тем более как междисциплинарной;

2) организационно-идеологической обстановкой в стране после развала Советского Союза;

3) отсутствием в стране организации, которая была бы полностью ориентирована на разработку теоретического базиса геоэкологии как междисциплинарной науки;

4) отсутствие в стране главного теоретика и специалистов-теоретиков, разрабатывавших общепринятые теоретические основы геоэкологии как междисциплинарной науки.

Новое направление исследований (слова В.И. Осипова) и кусочно-блочная структура паспорта специальности «Геоэкология», утвержденная ВАК Российской Федерации, была сформирована в условиях дикого зарождавшегося капитализма. Эти условия и, по-видимому, малое время на создание этого документа побудили те организации и лица, которые разрабатывали экологически ориентированные направления в отдельных отраслях, вероятно, могли представить свои блоки. Кто успел, материалы тех были включены в паспорт, хотя содержание многих вопросов в блоках технических отраслей не несет экологически ориентированного содержания.

Четвертую позицию комментировать не буду. Ее формулировка ясна, она исходит из современного состояния геоэкологии.

О возможных путях преодоления современных парадоксов геоэкологии

Есть ли выход из создавшейся ситуации? (или говоря словами вечного русского вопроса – что делать?). С моей точки зрения, есть, по крайней мере, четыре теоретических выхода из парадоксальной ситуации: а) разработка теоретических основ геоэкологии как междисциплинарной науки; б) исключение из перечня ВАК специальности «25.00.36. Геоэкология» в том виде, как она была утверждена приказами Минобрнауки РФ; в) закрепить специальность геоэкология за географическими науками как рожденную в одной из ее наук [10, 16]; г) спокойно смотреть на дальнейшее развитие событий и ожидать, «что чуть... раньше или чуть-чуть позже понятие «геоэкология» вернется в небытие» [1, с. 20].

Третья из этих позиций, логически наиболее верная, реализована быть уже не может, поскольку специалисты самых разных областей знаний считают себя геоэкологами. Реализация *второй позиции* возможна лишь на основе мощного политического решения в системе ВАК и Минобрнауки РФ. Эти вопросы уже давно поднимаются в научных статьях. Рискну высказать такой прогноз: число таких публикаций будет возрастать и это должно заставить ВАК реагировать.

О содержании подходов и учений, которые должны лежать в основе теоретико-методологической базы геоэкологии

Этот вопрос на первых этапах становления геоэкологии в нашей стране наиболее интенсивно обсуждался в географической литературе. Геоэкологические работы геологов были менее широкими и часто шли не по пути, постулированном основателем геоэкологии. Интересны идеи, реализованные почвоведом [10, 16].

В **географической литературе** на первых этапах в большинстве работ геоэкология была представлена как наука эколого-географическая, интегральная, но очень близкая по своему содержанию к географии (особенно физической, что отмечалось А.Г. Исаченко [2], Ф.Н. Мильковым [4]), так как процессы и явления, происходящие на земной поверхности, развиваются по географическим закономерностям, то постепенно происходит расширение объектов и задач геоэкологии, идут острые дискуссии о ее содержании, которые продолжаются и в начале нового столетия.

Назову вопросы и направления, которые были разработаны или были только выдвинуты в географии: 1) развитие идей ландшафтной экологии; 2) исследования содержания экологической географии; 3) определение роли человека и социума в структуре геоэкологии; 4) доказательство необходимости изучения при геоэкологических работах не только природных географических систем, но и антропогенно-природных и антропогенных, и аналогичных процессов, их создавших и изменяющих; 5) определение содержания геоэкологии с использованием словосочетания «окружающая среда»; 6) предложение рассматривать геоэкологию как науку о комфортности географической среды и роли оптимизации ландшафта; 7) дискуссия об объеме содержания геоэкологии – это только географическая наука или наука междисциплинарная.

Геоэкология, как было показано ранее, постулирована географом К. Троллем как эколого-ландшафтная наука. В ходе ее развития в кругу географов возникла дискуссия: *ограничить ли его (развитие) внутригеографическими науками, или геоэкология имеет более широкое содержание*. Ф.Н. Мильков в 1997 г. по этому поводу писал: «Есть предложение трактовать геоэкологию как экологическую географию. Однако термин экологическая география мало удобен в семантическом отношении, содержит элемент двусмысленности и, самое главное, не снимает вопроса, так как ни «геоэкология» с несколько варьирующим содержанием употребляют не одни географы, но и геологи, и геохимики, и геофизики. Нельзя согласиться и с другим высказыванием – закрепить термин «геоэкология» за одной географией. Все науки, имеющие объектом изучения гео – Землю, могут в такой же мере претендовать на первородство с геоэкологией, что и география. Справедливее будет *рассматривать геоэкологию как междисциплинарную науку, синтезирующую законы экологии с закономерностями всех наук о Земле – географии (физической и экономической), геологии, геохимии, геофизики*» [4, с. 31].

В итоге геоэкология была признана междисциплинарной наукой. У Ф.Н. Милькова [4] читаем, что геоэкология как междисциплинарная наука должна синтезировать «законы экологии с закономерностями всех наук о Земле – географии, геологии, геохимии, геофизики». Б.И. Кочуров рассматривал геоэкологию как науку о пространственно-временных закономерностях взаимодействия сообществ с окружающей природной средой, которая «синтезирует современные достижения экологии человека, демо- и этнографии, социологии, культурологии, физической и экономической географии, преодолевая тем самым пространственную (территориальную) ограниченность и узость многих наук».

В то же время ряд географов настаивали на использовании термина геоэкология в узком содержании эколого-ландшафтной дисциплины. И.Е. Тимашев [11, 12] подчеркивал, что некоторые географы – сторонники этого направления геоэкологии определяли ее содержание очень широко «что вообще не вполне ясным предстают объект и предмет науки». Он предлагал в отношении геоэкологии придерживаться универсального правила, принятого «в мировой практике научного общения: не изменять произвольно, без крайне серьезных на то оснований, суть и название науки, которые установлены научным первоисточником».

Отмечу, что я до настоящего времени согласен с И.Е. Тимашевым, который писал: «Положение, сложившееся вокруг геоэкологии, трудно признать вполне нормальным. Оно дезориентирует многих, осложняет восприятие этой науки в обществе (в студенческой аудитории, в частности) и даже вызывает недостаточное взаимопонимание между специалистами-прироноведами. Порой оно слу-

жит основанием для возникновения стихийного представления о геоэкологии как о какой-то весьма расплывчатой, не совсем понятно что изучающей дисциплине. Все же ситуация, полагаем, не безнадежна» [12, с. 19].

В **геологической литературе** публикации с использованием термина «геоэкология» появились в конце семидесятых – начале восьмидесятых годов прошлого века. В итоге в разработках геологов обособилось три подхода: геобиосферный, литосферный и геосферный [15].

Первый из них – **геобиосферный** – связан с биологически ориентированным пониманием этого термина геологами. Его наиболее четко сформулировал Е.А. Козловский [3]: геоэкология – это новое научное направление, возникшее на стыке геологии и экологии и изучающее закономерные связи между живыми организмами (в том числе и человеком), техногенными сооружениями и геологической «средой». Объектом изучения геоэкологии при таком подходе является геоэкологическая система. Здесь речь идет об изучении не только абиотических сфер Земли, но и живого вещества через экосистемы различных уровней организации.

Второй подход связан с сугубо **литосферным** (геологическим) толкованием термина «геоэкология». К.И. Сычев писал: «Геоэкология – новое научное направление, возникшее в 80-х годах на стыке геологии и экологии. Это междисциплинарная и общепланетарная наука, изучающая в естественных и техногенно нарушенных природных условиях *закономерные изменения в литосфере* (курсив мой. – В.Т.), происходящие под действием внутренних (эндогенных) сил Земли и внешним влиянием атмосферы, гидросферы, биосферы и техносферы» [9]. Объектом изучения при реализации этого подхода является геологическая среда во взаимодействии с внешними средами, но основной акцент делается на изучение изменений геологической среды в связи с хозяйственной деятельностью человека.

Третий подход связан с **геосферным** толкованием термина «геоэкология». В наиболее полном и завершенном виде этот подход рассмотрен в публикациях В.И. Осипова [5, 6]. Он определял геоэкологию как междисциплинарную науку, изучающую *неживое (абиотическое) вещество геосферных оболочек Земли как компоненту окружающей среды и минеральную основу биосферы*. Объектом изучения являются все абиотические геосферные оболочки Земли, причем *в центре внимания находятся верхняя часть литосферы и процессы, происходящие под влиянием природных и техногенных факторов* (здесь и выше – курсив В.И. Осипова) [6, с. 5]. Биота, включая человека, при этом не рассматривается.

Геологами были предложены и **учения**, на базе которых рационально создать теоретические основы геоэкологии. Подчеркну, что такое (такие) учение должно конкретизироваться в разных разделах геоэкологии. Без этого в качестве такового могут постулироваться «учения», которые не имеют экологической направленности. Это было показано мной [15] на примере «геоэкологии верхней части литосферы», выделенной в структуре геоэкологии В.И. Осиповым в 1997 г. [6]. Учение, которое предлагалось использовать в качестве базового для этого структурного подразделения геоэкологии, названо **учением о геологической среде**.

Напомню, что понятие «геологическая среда» используется в геологических науках достаточно широко – и как термин свободного пользования, и как, казалось бы, строго определенное по содержанию понятие. Считается, что последнее обычно свойственно инженерной геологии, в терминологию которой это понятие ввел в 1979 г. Е.М. Сергеев. В наиболее общем виде в инженерной геологии под *геологической средой многие понимают верхнюю часть литосферы, которая рассматривается как многокомпонентная динамическая система, которая находится под воздействием инженерной деятельности человека и в свою очередь в известной степени определяет эту деятельность*. Однако один из крупнейших инженер-геологов второй половины XX в. В.Д. Ломтадзе выступал против такого понимания содержания этого понятия и считал *геологической средой окружающие нас геологические условия* и предлагал не путать понятия «геологическая среда» и «зона влияния инженерного сооружения».

В понятии «*геологическая среда*», в том числе и в том виде, в котором его вводил Е.М. Сергеев, *нет какой-либо экологической ориентации*. Это сугубо геологическое понятие, даже в наиболее общей формулировке оно ориентировано на использование лишь в инженерной геологии, одной из задач которой является оценка измененности региональных и локальных массивов горных пород под влиянием техногенеза и его воздействия на условия инженерно-хозяйственной деятельности. *Вопрос об оценке влияния этих изменений на биоту, условия жизни людей их авторы – Е.М. Сергеев и В.Д. Ломтадзе – прямо не ставили*.

Кроме того, мне неизвестны публикации, в которых были сформулированы основополагающие позиции учения о геологической среде. Оно было лишь постулировано, но не создано. И использовать в качестве «объединяющего начала» ни для «геоэкологии верхней части литосферы», ни для геоэкологии в целом, ни для экологической геологии тут просто нечего, кроме идеи и определения. И подобные ситуации, в отсутствие общей теоретической базы геоэкологии, есть и будут повторяться.

Иной подход и иная идея о содержании учения, на базе которого следует разрабатывать теоретико-методологические основы современной геоэкологии, были предложены В.Т. Трофимовым [10, 14, 16]. Это **учение об экологических функциях абиотических сфер Земли¹ и их влиянии на функционировании биоты**. Оно было создано сотрудниками кафедры инженерной и экологической геологии геологического факультета Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова. Содержание этих функций и их значение в структуре нового содержания геоэкологии рассматриваются в отдельном докладе.

В **заключении** сравню развитие геоэкологии с развитием многих природных геологических процессов. Например, очаг землетрясения расположен на глубине *n*-километров, на поверхности земли оно проявилось определенной интенсивностью и как следствие *каскадности* вызвало развитие целого ряда экзогенных геологических процессов, которые проявились на прилегающих территориях и вызвали бедствия и даже катастрофические экологические последствия.

Так произошло и с постулированием и дальнейшим развитием термина «геоэкология». Введенный К. Троллем как синоним термина «ландшафтная экология» для использования в ландшафтоведении, он в процессе обдуманного (а может быть и недодуманного) развития быстро перешел в нашем отечестве «границы» ландшафтоведения и «внедрил» с принципиально новым содержанием в географию, геологию, экологию и другие ранее устоявшиеся науки.

Современное состояние геоэкологии я сравнил с особенностями ряда осадочных пород. Первое, что пришло в голову и что (слово) широко используется в жизни – «конгломерат». Но это сравнение не подходит, так как конгломерат – порода сцементированных окатанных обломков, в большинстве случаев прочная и даже очень прочная. А структура паспорта этому не отвечает: содержание его блоков (отрасли) не могут рассматриваться в качестве «окатанных» с экологической точки зрения «обломков», да и «цемента» – общепринятой теоретической базы геоэкологии как междисциплинарной науки нет. Второе – «брекчия» – порода, состоящая из сцементированных неокатанных «обломков» горных пород, тоже не подходит. «Обломки» нужного типа есть, а «цемента» в названном содержании нет. Подходит «*щебнеподобная конструкция*» (щебень – порода, состоящая из несцементированных неокатанных обломков определенного размера). И это заставило меня предложить использовать второй из ранее названных подходов к выработке содержания и структуры геоэкологии и формулировке ее задач.

Литература

1. Богданов М.И. Геоэкология – наука, которой нет / Инженерные изыскания в строительстве – кризис саморегулирования. М.: Академическая наука, 2014. С. 122–128.
2. Исаченко А.Г. Введение в экологическую географию. Учеб. пособие. СПб: Изд-во СПб университета, 2003. 191 с.

¹Экологические функции абиотических компонентов ландшафта и экологические функции биоты ландшафта описаны А.Г. Исаченко (2003). В геологию представление об *экологических функциях литосферы* было введено в 1994 г. В.Т. Трофимовым и Д.Г. Зилингом. Систематика и характеристика этих функций рассмотрены в серии статей (Трофимов, Зилинг, 1994, 1995, 1997), монографий (Теория и методология экологической геологии, 1997; Экологические функции литосферы, 2000) и учебников. (В геологии и почвоведении разработка этих представлений позволила принципиально по-новому подойти к оценке экологической роли литосферы и педосферы соответственно). Экологические функции атмосферы были описаны Н.А. Ясамановым и Е.Д. Никитиным (2001). Позже эти разработки получили в Московском государственном университете имени М.В. Ломоносова комплексное развитие – в 2001-2002 гг. геологи, почвоведы, географы и физики объединили свои усилия в рамках межфакультетской темы «Экологические функции абиотических сфер Земли». Следует отметить, что представление об экологических функциях в науках о Земле рассматривалось в непосредственной взаимосвязи с развитием экосистем различных иерархических уровней вплоть до современного состояния биосферы. Литературные источники многих из этих авторов в связи с ограниченным объемом данной работы в ней не приведены. Они опубликованы в монографиях [10, 16].

3. Козловский Е.А. Геоэкология – новое научное направление // Геоэкологические исследования в СССР. М.: Наука, 1989. С. 9–18.
4. Мильков Ф.Н. Геоэкология и экогеография: их содержание и перспектива развития // Известия РАН. Сер. Географическая, 1997, №3. С. 31–39.
5. Осипов В.И. Геоэкология – междисциплинарная наука об экологических проблемах геосфер // Геоэкология, 1993, № 1. С. 4-18.
6. Осипов В.И. Геоэкология: понятие, задачи, приоритеты // Геоэкология, 1997, № 1. С. 3–11.
7. Ответы главного ученого секретаря Высшей аттестационной комиссии В.Н. Неволлина и начальника Управления государственной аттестации научных и научно-педагогических работников Федеральной службы по надзору в сфере образования и науки В.Г. Выскуба на вопросы участников региональных совещаний // Бюл. ВАК Министерства образования и науки Российской Федерации. 2005. № 5. С. 1–16.
8. Розанов Л.Л. Геоэкологическое ведение: итоги и перспективы // Вестник МГОУ. Серия «Естественные науки», 20156, № 3. С. 54–65.
9. Сычев К.И. Научное содержание и основные направления геоэкологии // Разведка и охрана недр. 1991. № 11. С. 2–6.
10. Теоретические основания геоэкологии как междисциплинарной науки на базе концепции экологических функций абиотических сфер Земли / под ред. В.Т. Трофимова. М.: Изд-во Моск. ун-та, 2022. 516 с.
11. Тимашев И.Е. Геоэкология: первоисточники, подходы, перспективы // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 5. География. 2000. № 5. С. 18–22.
12. Тимашев И.Е. Геоэкология и главный компонент земного ландшафта / Мир геоэкологии. М.: ГЕОС, 2008. С. 11–21.
13. К. Троль. Ландшафтная экология (геоэкология) и биогеоценология. Терминологическое исследование // Известия АН СССР. Серия географическая. 1972, № 3. С. 114–120.
14. Трофимов В.Т. Геоэкология: современное состояние, причины многоликости, постулаты формирования ее нового теоретического содержания // Изв. секции наук о Земле РАЕН. Вып. 13. 2005. С. 129–138.
15. Трофимов В.Т. Парадоксы современной геоэкологии // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 4. Геол. 2009. № 4. С. 3–13.
16. Трофимов В.Т. Теоретические аспекты геоэкологии. М.: КДУ, Университетская книга, 2020. 148 с.

ОБ ОБЪЕКТЕ, ЗАДАЧАХ, ТИПАХ И ВИДАХ ИССЛЕДОВАНИЙ И ДИНАМИКЕ ИЗМЕНЕНИЯ ЧИСЛА ЗНАЧИМЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ В ХОДЕ ВЫПОЛНЕНИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКИ ОРИЕНТИРОВАННЫХ РАБОТ

В.Т. Трофимов

Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, 119234, Москва, Ленинские горы, 1
E-mail: trofimov@rector.msu.ru

Содержание геоэкологии и ее объект

Геоэкология, в моем понимании, – междисциплинарная наука, изучающая экологические функции абиотических сфер Земли (экотоп экосистем), закономерности их формирования и пространственно-временного изменения под влиянием современных природных и антропогенных воздействий в связи с жизнью и деятельностью биоты, включая человека (биоценоз экосистем).

Объект геоэкологии как междисциплинарной науки так же, как ее содержание, неодинаково понимается разными авторами. В рамках развиваемой концепции объектом изучения геоэкологии следует признать экосистемы (рис. 1) различных иерархических уровней, экологические функции их абиотических сред – компонентов экотопа, сформированными природными процессами прошлых эпох и трансформированными современными природными и антропогенными воздействиями, обеспечивающими или осложняющими функционирование Живого – биоценоза экосистем.

В рамках развиваемой концепции под предметом изучения геоэкологии понимается система знаний об экологических функциях и свойствах абиотических сфер Земли экосистем разных иерархических уровней и оценка влияния (узкий подход) и взаимодействия (широкий подход) этих функций с Живым экосистем.

Экологические функции абиотических сфер Земли и их виды

Под экологическими функциями абиотических сфер Земли было предложено понимать все многообразие функций, определяющих и отражающих роль и значение этих геосфер, включая их состав, объем, динамику функционирования, геохимические и геофизические поля, в жизнеобеспечении биоты, в первую очередь человеческого сообщества [1, 2].

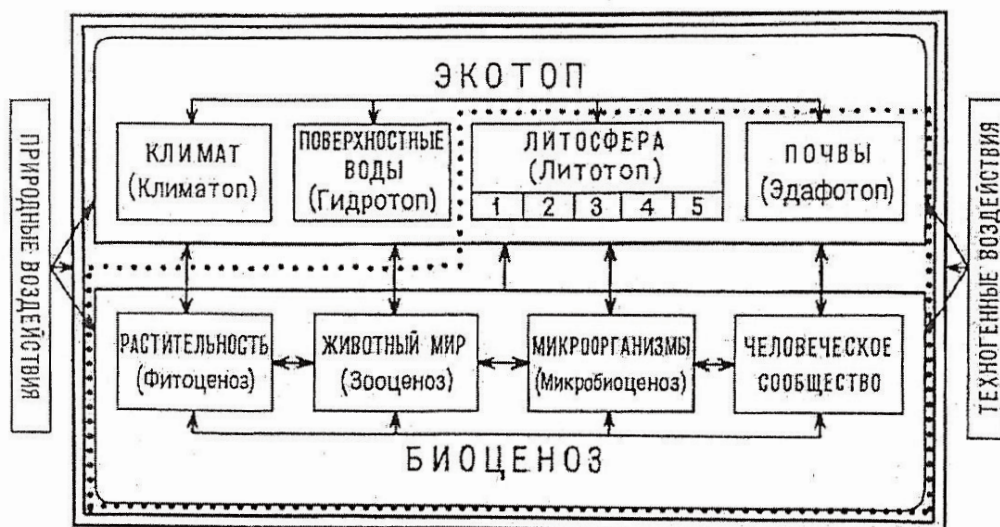


Рис. 1. Схема структуры экосистемы с учетом геологической составляющей и классов воздействия на нее.

Точками выделены границы эколого-геологической системы (по В.Т. Трофимову, 2009 [3])

1-5 – параметры литосферы: 1 – состав, строение, состояние и рельеф массивов горных пород; 2 – подземные воды; 3 – геохимические поля; 4 – геофизические поля; 5 – современные эндо- и экзогенные процессы

Подчеркнем, что это понятие опирается на философское определение функции (от лат. Functio) – «отношение двух (групп) объектов (в нашем случае компонентов абиотических сфер Земли и биоты), в котором изменение одного из них ведет к изменению другого»; либо «функция может рассматриваться с точки зрения следствий, вызываемых изменением одного параметра в других параметрах объекта» (в нашем случае изменение абиотических компонентов экосистемы и вызываемых ими изменений в ее биологической составляющей).

Основные экологические функции абиотических сфер Земли в целом и каждой из них в отдельности – ресурсная, геодинамическая, геохимическая и геофизическая (рис. 2). Их содержание определено следующим образом:

– *ресурсная экологическая функция абиотических сфер Земли* определяет роль минеральных, органико-минеральных и органических твердых, жидких и газообразных ресурсов литосферы, атмосферы, педосферы и поверхностной гидросферы, а также литосферного, атмосферного и гидросферного пространства для жизни и развития биоты в качестве как биогеоценоза, так и социальной структуры;

– *геодинамическая экологическая функция абиотических сфер Земли* отражает способность литосферы, педосферы, атмосферы и поверхностной гидросферы влиять на условия жизни биоты, ее состояние, безопасность и комфортность проживания человека через природные и антропогенные процессы и явления;

– *геохимическая экологическая функция абиотических сфер Земли* определяет свойства геохимических полей литосферы, педосферы, атмосферы и поверхностной гидросферы природного и техногенного происхождения влиять на условия жизни и состояние биоты в целом, включая здоровье человека;

– *геофизическая экологическая функция абиотических сфер Земли* отражает свойства геофизических полей литосферы, педосферы, атмосферы и поверхностной гидросферы природного и техногенного происхождения влиять на условия жизни биоты в целом, включая здоровье человека.

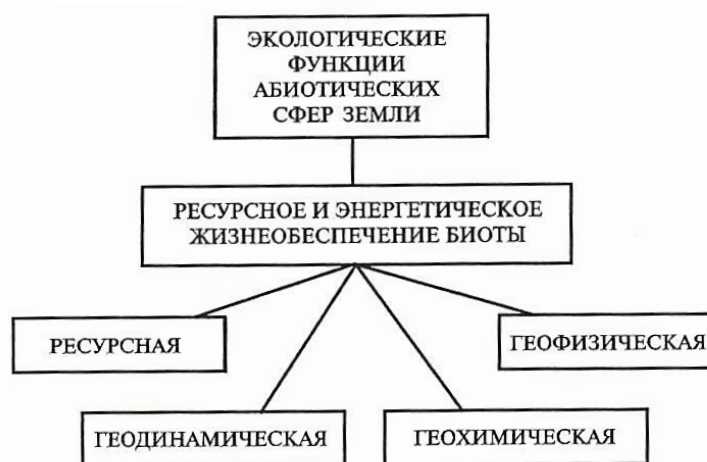


Рис. 2. Назначение и виды экологических функций абиотических сфер Земли (по В.Т. Трофимову [1, 2])

Составлены систематики всех названных функций. Как пример их содержания приведены систематики экологических функций литосферы (рис. 3) и атмосферы (рис. 4).

Экологические функции любой абиотической сферы Земли определяются определенной совокупностью *экологических свойств* этой сферы. Каждое из таких свойств – одна из сторон определенной сферы, ее специфический, экологически значимый атрибут, обусловленный природой ее вещественного состава, геодинамических, геохимических и геофизических полей и органически связанный с жизнеобеспечением биоты, условиями ее существования и эволюции. Их следует рассматривать как результат эволюционного развития и техногенного преобразования абиотических сфер Земли.

Отмечу и наличие понятия **экологические функции биотической компоненты экосистем**. В.В. Куриленко вслед за В.И. Вернадским понимал под этим понятием *роль и значение живого вещества в его эволюционном развитии от зарождения на Земле вплоть до формирования биосферы как экосистемы высшего иерархического уровня*. Экологические функции живого вещества способствуют сохранению

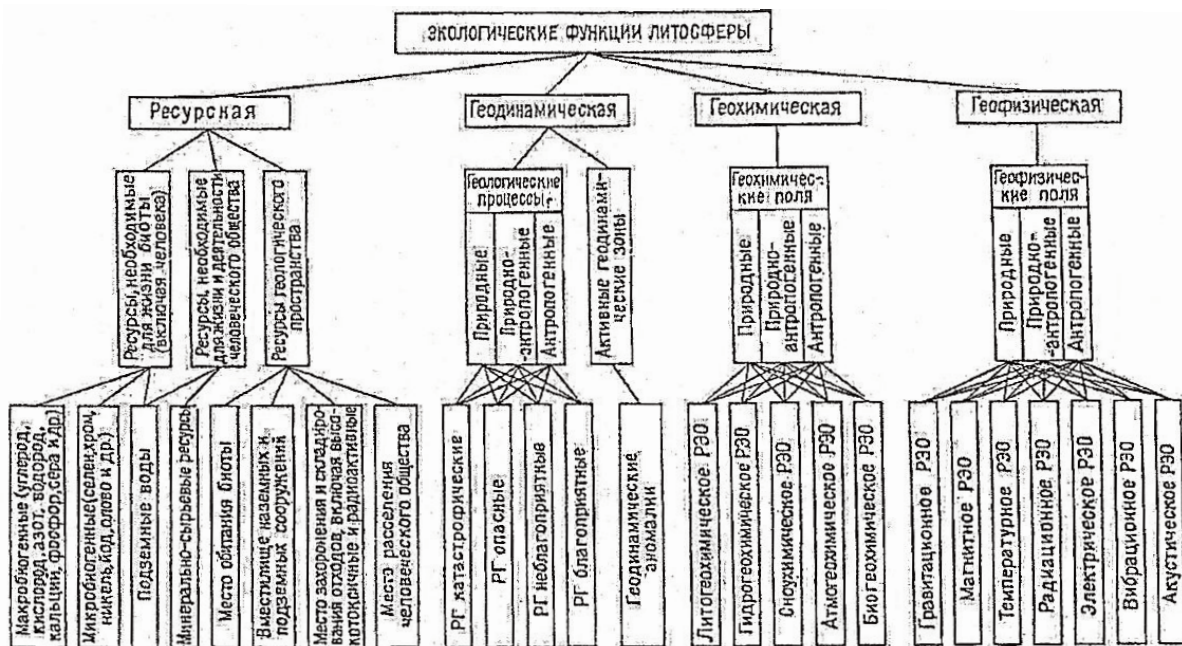


Рис. 3. Систематика экологических функций литосферы и их составляющих (по В.Т. Трофимову и Д.Г. Зилингу, с дополнениями). РГ – разного генезиса; РЭО – разной экологической опасности

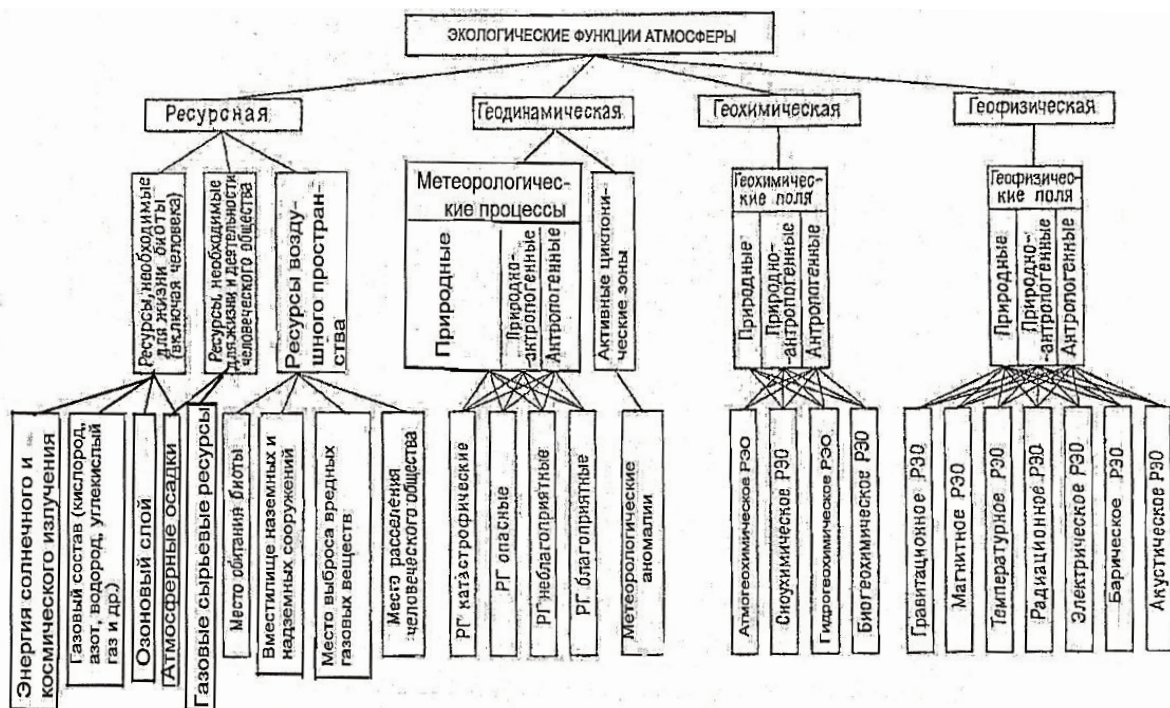


Рис. 4. Экологические функции атмосферы и их составляющие (составил В.Т. Трофимов). РГ – разного генезиса; РЭО – разной экологической опасности

устойчивой, безопасной и комфортной обстановки для существования биоты, включая человека, в пределах соответствующих геосферных оболочек Земли (атмо-, гидро-, литогенной сферы).

Об общих задачах исследования экологических функций абиотических сфер Земли

Эти задачи были сформулированы мной в 2006 году. В качестве таковых названы следующие:

1) создание классификаций экологических функций всех абиотических сфер Земли, построенных на едином теоретическом подходе;

- 2) характеристика современных морфологических особенностей экологических функций педосферы, атмосферы и поверхностной гидросферы в соответствии с позициями, заложенными в их классификации;
- 3) оценка глобального, регионального и локального влияния экологических функций каждой сферы Земли и их сочетания на биоту в целом и человеческое сообщество;
- 4) установление закономерностей современного развития экологических функций литосферы, педосферы, атмосферы и поверхностной гидросферы под совместным воздействием природных и антропогенных (техногенных) причин;
- 5) исследование действительной роли техногенеза в трансформации природно сформированных экологических функций каждой из абиотических сфер Земли;
- 6) естественнонаучное обоснование управляющих действий, направленных на уменьшение или ликвидацию воздействий, наносящих негативные последствия экологическим функциям и биоте.

Типы, группы и виды показателей, используемых для оценки геоэкологических условий

При оценке состояния геоэкологических условий используются показатели разных типов (рис. 5). Отмечу, что *индикаторные* (индикационные) *критерии* достаточно специфичны. В ресурсной группе они включают в себя остаточные запасы с учетом достигнутого уровня потребления (количество лет); для ресурсов, необходимых для жизни биоты, и ресурсов геологического пространства критерии оценки пока разработаны слабо. В геодинамических группах они включают в себя помимо площадных, объемных (энергетических) и динамических еще и медико-санитарные (для оценки воздействия катастрофических процессов), ботанические и зоологические. В геохимических группах критериев – это оценка степени загрязнения литосферы через геохимические и биохимические показатели (Z_c – суммарный показатель химического загрязнения; A_k – отношение содержания элемента в золе растений к его содержанию в горной породе), коэффициент техногенной нагрузки, избыток, недостаток или дисбаланс элементов в породах, почвах и растительности. В геофизической группе критерии оценки разработаны слабо, за исключением оценки уровня радиационного излучения, который гостирован. В этой ситуации используются нормативы физических воздействий.

Виды исследований, выполняемых при инженерно-экологических изысканиях, приведены в табл. 1.

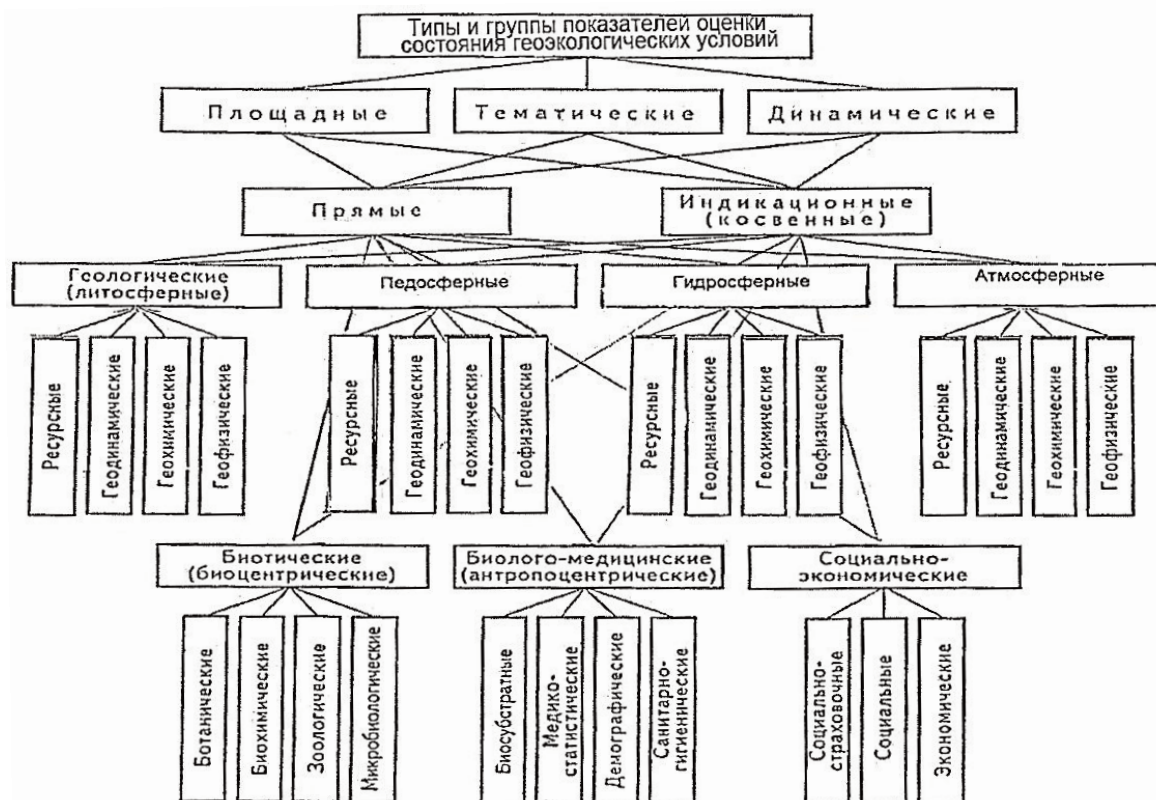


Рис. 5. Систематика показателей, используемых при оценке состояния геоэкологических условий (составил В.Т. Трофимов [1])

Таблица 1

Виды исследований при инженерно-экологических изысканиях (составила М.Н. Цымбал, 2016 г.)

Основные виды исследования	Дополнительные и специальные виды исследования в составе ИЭИ
	общие (для всех видов изысканий)
1) сбор, анализ и обобщение материалов инженерно-экологических изысканий прошлых лет, опубликованных и фондовых материалов и данных; 2) дешифрирование аэрокосмических материалов; 3) рекогносцировочное обследование территории; 4) маршрутные наблюдения; 5) исследования и оценка загрязнения атмосферного воздуха; 6) исследование и оценка загрязнения почв; 7) исследования и оценка загрязнения поверхностных вод; 8) исследования и оценка загрязнения подземных вод; 9) исследования и оценка загрязнения донных отложений в поверхностных водных объектах; 10) исследование и оценка радиационной обстановки; 11) исследование и оценка физических воздействий; 12) санитарно-эпидемиологические исследования; 13) газогеохимические исследования грунтов; 14) исследования социально-экономических условий; 15) эколого-ландшафтные исследования; 16) изучение растительности; 17) изучение животного мира; 18) изучение опасных природных и природно-антропогенных процессов экологического характера; 19) экологическое опробование отдельных компонентов окружающей среды (атмосферного воздуха, почв, грунтов, поверхностных и подземных вод, донных отложений) 20) лабораторные химико-аналитические исследования проб; 21) камеральная обработка материалов; 22) составление технического отчета; 23) медико-биологические исследования	1) составление задания; 2) составление предварительной программы; 3) получение (приобретение) недостающих исходных материалов и данных; 4) выдача промежуточных материалов и данных; 5) разработка специальных технических условий; 6) научное сопровождение инженерных изысканий на объектах повышенного уровня; 7) ответственности или на объектах нормального уровня ответственности в сложных природных условиях; 8) повышение точности измерений; 9) изготовление дополнительных экземпляров технических отчётов; 10) составление дополнительных приложений к техническому отчёту; 11) оформление результатов инженерных изысканий с пониженным ограничительным грифом; 12) передача результатов инженерных изысканий третьим лицам <p style="text-align: center;">В составе ИЭИ</p> 1) медико-биологические исследования; 2) гидробиологические исследования; 3) исследования объектов культурного наследия; 4) оценка фитопродуктивности растительных сообществ; 5) экологический мониторинг отдельных компонентов окружающей среды; 6) эколого-геохимические исследования с применением геофизических методов; 7) локальное обследование загрязнения грунтов и грунтовых вод; 8) инженерно-экологические работы при эксплуатации зданий и сооружений; 9) инженерно-экологические работы при сносе (демонтаже) зданий и сооружений

Динамика изменения числа показателей экологически значимых свойств абиотических сфер Земли и биоты, изучаемых в процессе инженерно-экологических изысканий

Динамика изменения числа названных в заглавии подраздела показателей приведена в табл. 2. Эти данные показывают, что во все времена новой России изучение этих показателей было обязательным при инженерно-экологических изысканиях. Наименьшее число пунктов содержалось в СП 47.13330.2012 – продукта периода актуализации наших «старых документов» и их «согласования с европейскими». В последующих сводах правил (СП) количество пунктов существенно возросло.

В заключение отмечу, что в литературе часто используется словосочетание «*геоэкологические исследования*», четкого, однозначно понимаемого определения, которого до настоящего времени нет. Это обусловлено многоликостью современной геоэкологии. Если понимать под геоэкологией, как предложил В.Т. Трофимов, междисциплинарную науку, изучающую экологические функции абиотических сфер Земли, закономерности их формирования и простран-

Таблица 2

Статистика по составу работ по изучению экологически значимых показателей сфер Земли в нормативных документах по инженерно-экологическим изысканиям (с обязательными и рекомендуемыми приложениями). Составила М.А. Харьковина

Сферы Земли и их компоненты		Количество пунктов, регламентирующих состав работ инженерно-экологических изысканий в нормативных документах			
		СП 11-102-97	СП 47.13330.2012	СП 47.13330.2016	СП ...2018 Инженерно-экологические изыскания... (проект, первая редакция)
Абиотические	Литосфера и ее компоненты (грунты, почвы, донные отложения, подземные воды, подземные газы, ландшафты, геологические процессы, радиационная обстановка, радоноопасность, вибрация, шум, тепловые поля)	52 пункта	17 пунктов	13 пунктов	180 пунктов
	Атмосфера и ее компоненты (воздух, электромагнитные излучения, шумы, инфра- и ультразвук, гидрометеорологические процессы)	18 пунктов	3 пункта	8 пунктов	54 пункта
	Поверхностная гидросфера и ее компоненты (поверхностные воды, гидрометеорологические процессы)	10 пунктов	7 пунктов	13 пунктов	62 пункта
Биотическая	Растительный и животный мир (растения, животные, птицы, рыбы, микроорганизмы, бактериопланктон, фитопланктон, зоопланктон, ихтиопланктон, макробентос)	15 пунктов	7 пунктов	9 пунктов	71 пункт
	Социум (санитарно-эпидемиологическая и медико-биологическая обстановки, заболевания населения)	14 пунктов	7 пунктов	3 пункта	36 пунктов
Все сферы Земли		Всего:109 пунктов	Всего:41 пункт	Всего:46 пунктов	Всего:403 пункта

ственно-временного изменения под влиянием природных и техногенных причин в связи с жизнью и деятельностью биоты и прежде всего – человека, то четко формулируется ее целевая установка – изучение морфологических, ретроспективных и прогнозных задач взаимодействия всех абиотических сред и биоты. Практическая часть этой целевой установки реализована в системе инженерно-экологических изысканий, при выполнении которых во всех выпусках нормативных документов регламентировано изучение литосферы, атмосферы, поверхностной гидросферы и живого. *Из этого следует вывод, что инженерно-экологические изыскания по своему содержанию представляют собой то, что следует понимать под прикладной частью так называемых «геоэкологических исследований». Позиция этого тезиса свидетельствует о том, что специалисты, принимавшие участие в создании нормативных документов, сформулировали более четкие позиции на содержание инженерно-экологических работ, чем представители научно-мирового сообщества разных специальностей, опубликовавшие огромное число работ по геоэкологии и*

так однозначно не определившие содержание широко используемого термина «геоэкологические исследования».

Литература

1. *Теоретические основания геоэкологии как междисциплинарной науки на базе концепции экологических функций абиотических сфер Земли. Под ред. В.Т. Трофимова. М.: Изд-во Моск. ун-та, 2022. 516 с.*
2. *Трофимов В.Т. Об экологических абиотических сферах Земли // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 4. Геология. 2005. № 2. С. 59–65.*
3. *Трофимов В.Т. Эколого-геологическая система, ее типы и положение в структуре экосистемы // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 4. Геология. 2009. № 2. С. 48–52.*

О СОДЕРЖАНИИ, СТРУКТУРЕ И ЗАДАЧАХ ГЕОЭКОЛОГИИ КАК МЕЖДИСЦИПЛИНАРНОЙ НАУКИ, ПОСТРОЕННОЙ НА БАЗЕ КОНЦЕПЦИИ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ФУНКЦИЙ АБИОТИЧЕСКИХ СФЕР ЗЕМЛИ

В.Т. Трофимов

Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, 119234, Москва, Ленинские горы, 1,
E-mail: trofimov@rector.msu.ru

Общие позиции содержания понятий «экологические функции абиотических сфер Земли», «экологические функции абиотической компоненты экосистем» и «экологические функции живой компоненты экосистем»

В ходе разработки первого из названных понятий – экологические функции абиотических сфер Земли – В.Т. Трофимовым был принят подход, ранее разработанный для обособления экологических функций литосферы [9, 14]. Им под *экологическими функциями абиотических сфер Земли* было предложено понимать все многообразие функций, определяющих и отражающих роль и значение этих геосфер, включая их состав, объем, динамику функционирования, геохимические и геофизические поля, в жизнеобеспечении биоты, в первую очередь человеческого сообщества.

Основные экологические функции абиотических сфер Земли в целом и каждой из них в отдельности – ресурсная, геодинамическая, геохимическая и геофизическая (рис. 1). Их содержание определено следующим образом:

– *ресурсная экологическая функция абиотических сфер Земли* определяет роль минеральных, органо-минеральных и органических твердых, жидких и газообразных ресурсов литосферы, атмосферы, педосферы и поверхностной гидросферы, а также литосферного, атмосферного и гидросферного пространства для жизни и развития биоты в качестве как биогеоценоза, так и социальной структуры;

– *геодинамическая экологическая функция абиотических сфер Земли* отражает способность литосферы, педосферы, атмосферы и поверхностной гидросферы влиять на условия жизни биоты, ее состояние, безопасность и комфортность проживания человека через природные и антропогенные процессы и явления;

– *геохимическая экологическая функция абиотических сфер Земли* определяет свойства геохимических полей литосферы, педосферы, атмосферы и поверхностной гидросферы природного и техногенного происхождения влиять на условия жизни и состояние биоты в целом, включая здоровье человека;

– *геофизическая экологическая функция абиотических сфер Земли* отражает свойства геофизических полей литосферы, педосферы, атмосферы и поверхностной гидросферы природного и техногенного происхождения влиять на условия жизни биоты в целом, включая здоровье человека [16].

Содержание всех этих функций и их систематика, выполненные с выделением трех уровней объектов для каждой из четырех абиотических сред, впервые были охарактеризованы в 2018 г. в монографии «Экологические функции абиотических сфер Земли» [16], а позже, в 2022 г. в монографии «Теоретические основания геоэкологии как междисциплинарной науки (на базе концепции экологических функций абиотических сфер Земли)» [8].

Под *экологическими функциями биотической компоненты экосистем* в планетарном аспекте В.В. Куриленко вслед за В.И. Вернадским¹ понимал *роль и значение живого вещества в его эво-*

¹Создав учение о биосфере, В.И. Вернадский выделил девять биогеохимических функций живого вещества. К ним были отнесены: а) газовая, б) кислородная, в) окислительная, г) кальциевая, д) восстановительная, е) концентрационная, ж) разрушения органических соединений, з) восстановительного разложения, и) функция метаболизма и дыхания организмов. Позже А.И. Перельман, А.В. Лапо, А.А. Ярошевский и другие авторы развили учение В.И. Вернадского о функциях живого вещества. К их числу были отнесены также энергетическая (А.В. Лапо) и продукционная (А.А. Ярошевский) функции. Весь набор результатов работы планетарной биоты С.П. Горшков назвал *экологическими функциями живого вещества*, поскольку все они так или иначе необходимы для поддержания и оптимизации его среды обитания. Им же описаны энергетическая, газовая, почвенно-элювиальная, водоочистительная, водорегулирующая, концентрационная, транспортная и деструкционная функции живого вещества.



Рис. 1. Назначение экологических функций абиотических сфер Земли (по В.Т. Трофимову [9])

люционном развитии от зарождения на Земле вплоть до формирования биосферы как экосистемы высшего иерархического уровня. Экологические функции живого вещества способствуют сохранению устойчивой, безопасной и комфортной обстановки для существования биоты, включая человека, в пределах соответствующих геосферных оболочек Земли (атмо-, гидро-, литогенной сферы).

Экологические функции любой абиотической сферы Земли определяются определенной совокупностью экологических свойств этой сферы. Каждое из таких свойств – одна из сторон определенной сферы, ее специфический, экологически значимый атрибут, обусловленный природой ее вещественного состава, геодинамических, геохимических и геофизических полей и органически связанный с жизнеобеспечением биоты, условиями ее существования и эволюции. Их следует рассматривать как результат эволюционного развития и техногенного преобразования абиотических сфер Земли.

Типы факторов, определяющих состояние экологических функций абиотической и биотической компонент экосистем

Все многообразие энергетического воздействия на параметры среды, определяющее состояние экологических функций абиотической и биотической компонент экосистем, может быть подразделено на две основные группы факторов – *внутренних (обязательных и формирующих) и внешних (контролирующих)* [4, 15]. *Обязательные внутренние факторы* определяются структурой и природой вещественного состава экосистемы, развивающей свои особенности при участии формирующих и контролирующих факторов (примером могут служить горные породы, природные воды, газ, живое вещество и т.д.). *Формирующие внутренние факторы* определяются энергетикой процессов и явлений, присущих самой экосистеме, без которых ее функционирование не может формироваться и развиваться (примером может служить физико-химическое взаимодействие в системе порода – вода – газ – живое вещество, обуславливающее, в частности, химический состав природных вод и определяющее соответствующие экологические свойства, например органолептические, этих вод). *Внешние контролирующие факторы* определяются проявлением энергетики таких процессов и явлений, которые развиваются вне экосистемы, но способствуют ее формированию и развитию (примером таких факторов могут служить особенности климатических и других условий).

Внешние стрессовые энергетические воздействия влияют на свойства экосистемы, сохраняя их в своей основе, но добавляют к этим свойствам новые дополнительные (часто негативные) и определяют тем самым переход экосистемы в ее новое состояние (рис. 2). В этом случае новое состояние экосистемы будет характеризоваться двумя составляющими – энергетикой свойств экосистемы до внешнего стрессового воздействия на нее и дополнительной энергетикой новых свойств, приобретенных экосистемой в процессе внешнего стрессового воздействия. Дополнительные свойства, определяемые интенсивностью энергетики внешних стрессовых воздействий, обычно являются



Рис. 2. Особенности формирования свойств экосистем, их состояния и экологических условий (по В.В. Куриленко)

временными. Скорость возвращения экосистемы в исходное положение, согласно принципам гомеостаза, будет определяться способностью экосистемы к самовосстановлению, т.е. ее ассимиляционным потенциалом.

Как при отсутствии, так и при наличии внешнего стрессового энергетического воздействия (как естественно-природного, так и аномально природного и природно-техногенного происхождения) свойства экосистем вместе с наложенными на них новыми свойствами, формирующими их новое состояние, будут определять *экологические условия* (см. рис. 3).

Основы нового содержания геоэкологии как междисциплинарной науки

Содержание понятия «геоэкология». Понимание содержания геоэкологии чрезвычайно многообразное: от междисциплинарной науки, изучающей «в естественных и техногенно нарушенных природных условиях закономерные изменения в литосфере» (К.И. Сычев [7]), науки, изучающей законы взаимодействия литосферы и биосферы (С.В. Клубов, Л.В. Прозоров [3]) и междисциплинарной науки об экологических проблемах геосфер (В.И. Осипов [5]) до междисциплинарной науки об экосфере (Г.Н. Голубев [1]), состоянии окружающей среды, сохранении ее жизнеобеспечивающих ресурсов (Л.Л. Розанов [6]) и междисциплинарной области знаний, рассматривающей «экологические последствия природных и антропогенных процессов, происходящих в геосферах Земли» (И.Ю. Григорьева [2]). Причины такой многоликости охарактеризованы в работах [8, 12]. Отметим также, что в последнее десятилетие содержание геоэкологии в публикациях принимается в основном в «широком» содержании.

Встав на эту позицию, я еще в 2005 г. [10] предложил принципиально по-новому определить теоретическое содержание геоэкологии (с учетом того, что в ее рамках решаются морфологические, ретроспективные и прогнозные задачи): *геоэкология – междисциплинарная наука, изучающая экологические функции абиотических сфер Земли, закономерности их формирования и пространственно-временного изменения под влиянием природных и техногенных причин в связи с жизнью и деятельностью биоты, и, прежде всего, человека.* В дальнейшем автор придерживался этой позиции.

Такая редакция определения содержания геоэкологии могла вызвать вопросы, поскольку в ней нет слова «экосистема». Это так. Но в ней содержатся две необходимых составляющих экосистемы: «экологические функции абиотических сфер Земли», характеризующие особенности экотопа экосистемы, и «биота, включая человека» – биоценоз экосистемы, а также типы воздействий на нее. Эти вопросы и пояснение свидетельствуют о необходимости корректировки этой редакции.

Уточненная формулировка содержания понятия «геоэкология» представляется в такой редакции: **геоэкология – междисциплинарная наука, изучающая экологические функции абиотических сфер Земли (экотоп экосистем), закономерности их формирования и пространственно-временного изменения под влиянием современных природных и антропогенных воздействий в связи с жизнью и деятельностью биоты, включая человека – (биоценоз экосистем).**

Соотношение предметных полей наук о жизни и об абиотических сферах Земли показано на рис. 3. На нем же оконтурен объем геоэкологии как междисциплинарной науки.

Объект и предмет геоэкологии. Объект геоэкологии как междисциплинарной науки, так же, как ее содержание, неодинаково понимается разными авторами. Диапазон объема этого понятия широк: от экосистемы до окружающей среды (Л.Л. Розанов [6]), экосферы (Г.Н. Голубев [1]) и экосистемы Земли «со всеми входящими ее компонентами» (И.Ю. Григорьева [2]). Чаще всего в качестве объекта геоэкологии называют экосистемы или геосистемы разных иерархических уровней.

В рамках развиваемой концепции **объектом изучения геоэкологии следует признать экосистемы различных иерархических уровней, экологические функции их абиотических сред – компонентов экотопа, сформированными природными процессами прошлых эпох и трансформированными современными природными и антропогенными воздействиями, обеспечивающими или осложняющими функционирование Живого – биоценоза экосистем.**

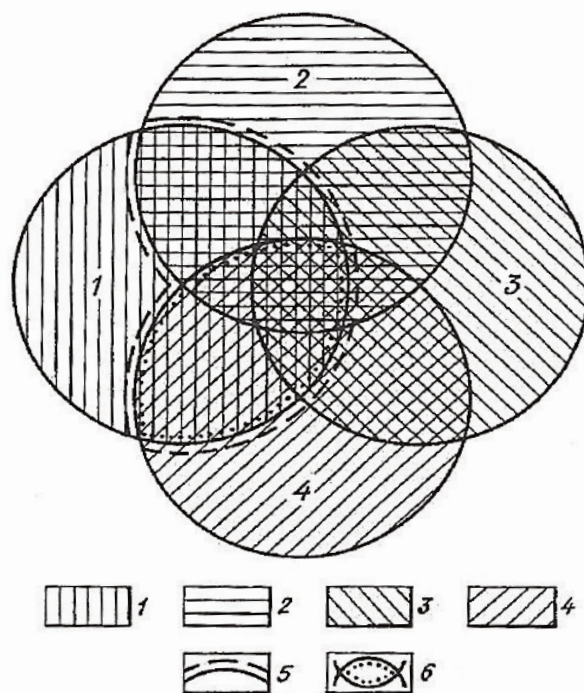


Рис. 3. Соотношение предметных полей наук о жизни и об абиотических сферах Земли и объем геоэкологии (по В.Т. Трофимову, [11, 13])

1 – науки о жизни, 2 – науки об атмосфере, 3 – науки о поверхностной гидросфере, 4 – науки о литосфере, 5 – граница совместных объектных и предметных полей наук о Земле и биологии, формирующая поле и содержание междисциплинарной науки – геоэкологии, 6 – граница области исследований экологической геологии и экологического почвоведения

Под предметом геоэкологии большинство авторов понимает систему знаний о структуре, динамике, состоянии экосистем (геосистем) и их реакции на природные и антропогенные воздействия. Но есть и иные воззрения. Так, Л.Л. Розанов [6] выдвинул идею, что предметом исследования геоэкологии должны рассматриваться *геоэкологические процессы* в окружающей среде, под которыми

автор идеи подразумевает, как я понимаю, «изменение здоровья людей и жизнедеятельности человека» и других изменений в живых организмах.

В другом месте встречаемся, по-существу с другой формулировкой обсуждаемого понятия: «В качестве предмета исследования геоэкологии рассматриваются *геоэкологические процессы – прямые и опосредованные воздействия* (выделено мной. – В.Т.) *изменяющейся окружающей среды* (взаимодействующей совокупности природных, техноплагенных и техногенных веществ, тел, условий, факторов) *на человека, растительные и животные организмы в пространственно-временной конкретности* (курсив мой. – В.Т.). Изучение геоэкологических процессов методологически оправданно в геоэкологическом пространстве» (Розанов [6, с. 37–38]). В данной редакции это процессы (воздействия) на живое, вызывающие определенные последствия, а не последствия этих воздействий, как указано ранее.

В рамках развиваемой концепции **под предметом изучения геоэкологии понимается система знаний об экологических функциях и свойствах абиотических сфер Земли экосистем разных иерархических уровней и оценка влияния (узкий подход) и взаимодействия (широкий подход) этих функций с Живым экосистем.**

О логической структуре геоэкологии. Одним из центральных аспектов любого естественно-научного знания является вопрос о логической структуре науки, включающей в себя основания науки, основные понятия, теории и идеи, законы. Исходя из представления о том, что геоэкология является междисциплинарной наукой, ее логическая структура должна формироваться как за счет ассимиляции определенных элементов логической структуры различных естественных наук, привлекаемых для решения экологических задач, так и своей собственной логической основы. Причем ассимиляция носит не механический характер, а подчинена вполне определенным закономерностям, логике экологического подхода. Следовательно, общее поле логической структуры геоэкологии включает в себя определенные по объему части поля логической структуры различных наук, прежде всего изучающих абиотические сферы Земли и биоту, и свою «собственную часть логической основы», тот стержень, который позволяет целенаправленно использовать привлекаемые идеи и материалы этих наук.

В схематическом виде такая трактовка вопроса отражена на рис. 4. Он свидетельствует о мозаичности поля логической структуры геоэкологии и дает представление о вкладе этих наук в ее логическую структуру.

По содержанию рис. 4 сделаем два замечания:

1) на этом рисунке среди наук, вносящих вклад своими идеями и материалами в логическую структуру геоэкологии и оцениваемые в ее рамках с экологических позиций, показаны уже сложившиеся действительно экологически ориентированные направления классических наук. Кроме того, сознательно помещены «чистые поля», очерченные эллипсоидным контуром: кто-то из исследователей сочтет возможным (нужным) заполнить части из них в настоящее время, а какие-то из них будут «заняты» позже вновь сформировавшимися экологически ориентированными научными направлениями (число таких полей при необходимости может быть увеличено);

2) объемы уже заполненных названиями конкретных наук полей, очерченных эллипсоидными контурами, «выдвинуты» в площадь поля логической структуры геоэкологии неодинаково. Этим приемом отражен уровень вклада данной науки в логическую структуру геоэкологии: чем больше «выдвинутость», тем выше вклад. С моей оценкой такого вклада названных наук ряд исследователей могут не согласиться, но очевидно, что наибольший вклад вносят экологические направления классических естественных наук, изучающие абиотические сферы Земли и биоту.

Научные содержательные задачи геоэкологии

Научные содержательные задачи геоэкологии, как и ее содержание, формулировались многими исследователями [1, 2, 3 и др.]. Их содержание менялось у авторов во времени (в том числе и у меня). Ряд выдвинутых предложений получил развитие. Однако общепризнанного перечня этих задач как не было, так и нет. Во многом это было обусловлено сложностью вопроса, но главное – отсутствием научной концепции, на базе которой можно было бы объединить разработки, проводившиеся в разных экологизированных направлениях классических естественных наук. В конце прошлого – начале текущего столетия в Московском государственном университете имени М.В. Ло-

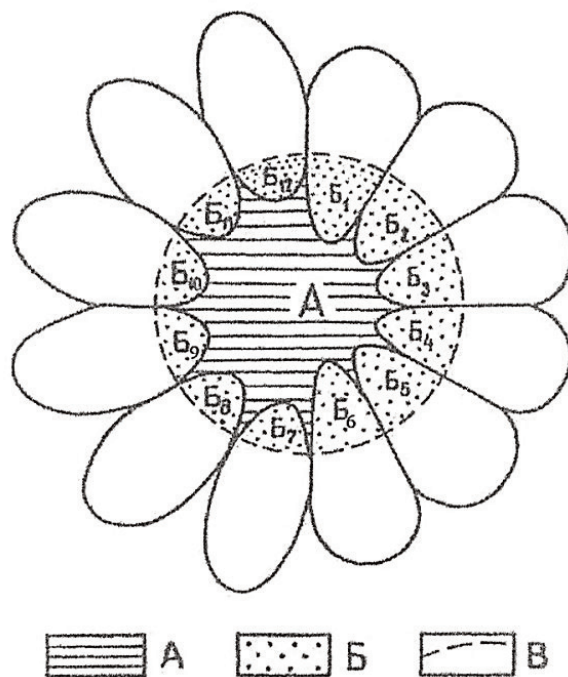


Рис. 4. Принципиальная схема строения общего поля логической структуры геоэкологии

А – «собственная часть» логической основы логической структуры геоэкологии; **Б** – части логической структуры экологически ориентированных наук, используемые в геоэкологии: **Б1** – экологическая геология, **Б2** – экологическая география, **Б3** – экологическое почвоведение, **Б4** – экологическая гидрология, **Б5** – экологическая океанология, **Б6** – экологическая «атмосферология», **Б7** – науки о Живом, **Б8** – экологическая физика, **Б9** – экологическая химия, **Б10** – экологическая медицина, **Б11** – ?, **Б12** – ?; **В** – контуры общего поля логической структуры геоэкологии

моносова такая концепция была разработана – это концепция экологических функций абиотических сфер Земли [16].

С учетом сказанного к числу актуальных содержательных задач геоэкологии были отнесены следующие:

1) разработка теоретических основ геоэкологии как междисциплинарной с четкой формулировкой всех необходимых атрибутов науки – содержания, терминологии, структуры, проблем и задач, определения места в системе наук о Земле и Жизни;

2) изучение морфологических особенностей экологических функций абиотических сфер Земли как экотопа экосистем, закономерностей их формирования под влиянием природных процессов в ходе геологического развития Земли и их роль в обеспечении жизнедеятельности биоты;

3) изучение трансформации морфологических особенностей экологических функций абиотических сфер Земли под влиянием природных и антропогенных воздействий в эпоху техногенеза и ее влияния на биоту, социум, экосистемы в целом;

4) разработка теории и методов оценки устойчивости экологических функций абиотических сфер Земли к техногенным воздействиям с точки зрения изменения ее экологических функций;

5) исследование глобальной роли экологических функций абиотических сфер Земли, последствий взаимодействия этих сфер между собой, техносферой и живым;

6) разработка методологических и методических вопросов геоэкологии;

7) участие в разработке теории и методов научного обоснования управления состоянием и свойствами литотопа экосистем (массивов приповерхностной части литосферы) с целью сохранения или улучшения их экологических функций;

8) разработка теории и методики геоэкологического обоснования инженерной защиты территорий, объектов и сооружений от природных и антропогенных геологических процессов, ухудшающих экологические условия.

Многие из этих задач были решены и опубликованы в [8, 11, 12, 13].



Рис. 5. Схема, иллюстрирующая положение геоэкологии в системе наук, изучающих биосферу

Добавлю, что этот перечень научных задач, достаточно широких по объему, должен быть конкретизирован в экологизированных направлениях классических естественных наук, которые исследуют абиотические сферы Земли и их влияние на функционирование биоты. Рационально увязать список этих задач с экологическими функциями конкретной абиотической сферы, которые выделены в их классификации.

О положении геоэкологии в системе наук о Земле и биосфере

Этот проблемный вопрос до настоящего времени не имеет общепризнанного решения. На рис. 5 приведена схема, составленная В.Т. Трофимовым и Д.Г. Зилингом и признанная ими в качестве наиболее адекватной из трех альтернативных [9].

Публикация этой схемы явно будет воспринята по-разному. Но и это надо считать положительно, поскольку иная логика в отношении к этому вопросу может привести к более прогрессивному его решению.

В заключение сформулирую три позиции. В **первой** из них подчеркну, что описанный подход – использование основ учения об экологических функциях абиотических сфер Земли позволил *по-новому определить содержание геоэкологии и ее объем как поле пересечения наук о жизни, атмосфере, поверхностной гидросфере и литосфере*. Исходя из этого во всех науках, изучающих такой объект, правомерно, что также отмечалось, развивать экологически ориентированные направления, которые следует называть с прилагательным «экологическая»: экологическая физика, экологическая география, экологическая геология, экологическая химия и т.п.

Вторая позиция. *Изложенные положения позволили с единых теоретических позиций подойти к анализу экологической роли всех абиотических сфер Земли, к разработке классификаций экологических функций каждой из них и сформировать новую структуру геоэкологии как действительно междисциплинарной науки*. А это представляется автору чрезвычайно важным с общеметодологической точки зрения.

Третья позиция. При создании монографий и учебной литературы, реализующих в качестве теоретической базы основы учения об экологических функциях абиотических сфер Земли, в структуре произведений этого типа целесообразно выделять пять частей: 1) геоэкология, ее содержание, терминология, структура и место в системе наук о Земле и жизни; 2) экологические функции абиотических сфер Земли и их роль в обеспечении жизни биоты; 3) трансформация экологических функций абиотических сфер Земли под влиянием природных и антропогенных процессов в эпоху техногенеза и ее влияние на биоту; 4) глобальная роль экологических функций абиотических сфер Земли, последствий взаимодействия этих сфер между собой, техносферой и Живым; 5) методические вопросы геоэкологии. Содержание каждой части охарактеризовано автором в работах [8, 13].

Отмечу, что описанная идеология реализована сотрудниками кафедры инженерной и экологической геологии Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова в книгах для всех абиотических сфер Земли и достаточно полно для литосферы (геологического пространства). Первая позиция, по-видимому, впервые охарактеризована в книге «Экологические функции абиотических сфер Земли» [16].

Использование этой концепции как базы создания нового содержания геоэкологии охарактеризованы в монографиях В.Т. Трофимова «Теоретические аспекты геоэкологии» [12], «Основы нового содержания геоэкологии как междисциплинарной науки» [13] и коллективной монографии под его редакцией «Теоретические основания геоэкологии как междисциплинарной науки на базе концепции экологических сфер Земли» [8].

Литература

1. Голубев Г.Н. Геоэкология. Учебник. М.: ГЕОС. 1990. 338 с.
2. Григорьева И.Ю. Геоэкология. Учеб. пособие. М.: ИНФРА-М, 2013. 270 с.
3. Клубов С.В., Прозоров Л.В. Геоэкология: история, понятия, современное состояние. М.: ВНИИЗарубежгеология: Департамент геоэкологии, 1993. 161 с.
4. Куриленко В.В. Экологическая геология: ее роль в науках о Земле и место в структуре экологического знания. Школа экологической геологии и рационального недропользования: Материалы 5-й межвузовской молодёжной науч. конф. СПб: 2004. С. 45–61.
5. Осипов В.И. Геоэкология: понятие, задачи, приоритеты // Геоэкология, 1997, № 1. С. 3–11.
6. Розанов Л.Л. Геоэкологоведение: итоги и перспективы // Вестник МГОУ. Серия «Естественные науки», 20156, № 3. С. 54–65.
7. Сычев К.И. Научное содержание и основные направления геоэкологии // Разведка и охрана недр. 1991. № 11. С. 2–6.
8. Теоретические основания геоэкологии как междисциплинарной науки на базе концепции экологических функций абиотических сфер Земли / под ред. В.Т. Трофимова. М.: Изд-во Моск. ун-та, 2022. 516 с.
9. Теория и методология экологической геологии / под ред. В.Т. Трофимова. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1997. 368 с.
10. Трофимов В.Т. Геоэкология: современное состояние, причины многоликости, постулаты формирования ее нового теоретического содержания // Изв. секции наук о Земле РАЕН. Вып. 13. 2005. С. 129–138.
11. Трофимов В.Т. Новый теоретический подход к определению содержания и развития геоэкологии // Геоэкология. 20066. № 2. С. 216–225.
12. Трофимов В.Т. Теоретические аспекты геоэкологии. М.: «КДУ», «Университетская книга», 2020. 148 с.
13. Трофимов В.Т. Основы нового содержания геоэкологии как междисциплинарной науки. М.: «КДУ», «Университетская книга», 2021. 106 с.
14. Трофимов В.Т., Зилинг Д.Г. Экологическая геология. Учебник. М: Геоинформмарк, 2002. 415 с.
15. Трофимов В.Т., Куриленко В.В. Экологические функции абиотических сфер Земли: содержание и значение для становления нового теоретического базиса геоэкологии // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 4. Геология. 2015, № 2. С. 93–102.
16. Экологические функции абиотических сфер Земли / под ред. В.Т. Трофимова. М.: «КДУ», «Университетская книга», 2018. 608 с.

НООСФЕРНАЯ ИНЖЕНЕРНАЯ ГЕОНОМИЯ В РЕШЕНИИ ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКИХ ПРОБЛЕМ

**Ш.Э. Усупаев¹, Е.И. Лагутин², Ш.Ф. Валиев³, М.Б. Едигенов⁴,
Л.Э. Оролбаева⁵, П.Б. Туркбаев⁶**

¹ Центрально Азиатский институт прикладных исследований Земли, г. Бишкек,
720027 Кыргызская Республика, г. Бишкек, Тимура Фрунзе 73/2
E-mail: sh.usupaev@caiaig.kg

² Институт водных проблем и экологии,
080003 Республика Казахстан, г. Тараз Өулиеата, Жамбыла, 9а, 25
eliktz4065@mail.ru

³ Института геологии, сейсмостойкого строительства и сейсмологии. г. Душанбе,
734063 Республика Таджикистан ул. Айни 267
E-mail: valiev_sh63@mail.ru

⁴ Научно-производственная фирма «ГЕОЭКОС»
110000 Республика Казахстан, г. Костонай, ул. Алтынсарина 108
E-mail: edigenov@mail.ru

⁵ Кыргызский горнометаллургический институт им. акад. У. Асаналиева при КГТУ им. И. Разакова
720001 Кыргызская Республика, г. Бишкек, проспект Чуй, 215
E-mail: orolbaeval@mail.ru

⁶ Кыргызско-Российский Славянский университет имени Б.Н. Ельцина.
720000 Кыргызская Республика, г. Бишкек, ул. Киевская 44
E-mail: turkbaev63@mail.ru

Введение

Ноосферные исследования наиболее полное развитие получили в гуманитарно-социальных и общественных науках и, крайне скудно, представлены среди географо-геологических наук, что является актуальной до стагнации проблемой в развитии инженерной и экологической геологии, геоэкологии, катастрофологии, инженерной геологии и новых междисциплинарных направлений приоритетных наук о Земле [1-21].

Исследователи Лагутин Е.И. (Казахстан, 2015 г.), Валиев Ш.Ф. (Таджикистан, 2015 г.), Оролбаева Л.Э. (Кыргызстан, 2019 г.), Едигенов М.Б. (Казахстан, 2022 г.), Туркбаев П.Б. (Кыргызстан, 2025 г.) докторанты защитившие под моим консультанством диссертации по новым направлениям: геогеология, инженерно-рудничная геология, катастрофология, ноосферная инженерная геология. Вклад соавторов, представлены в монографиях, авторских свидетельствах, актах внедрения и учебных пособиях.

Методология

Использование классических методологий наук о «Земле-Воде-Жизни» оказалось недостаточно и для реализации идеи академика Е.М. Сергеева инженерная геология изначально «ноосферная», что весьма актуально, востребовала внедрения геонимической парадигмы [1-21].

При обосновании и анализе обсуждаемого материала, теоретические основы инженерной геологии (ТОИГ), оказались фундаментальными. В концепции ноосферной геологии академика Е.М. Сергеева, связующим знания междисциплинарного значения, является окружающее грунтоведение, в качестве внешнего ядра знаний – ТОИГ, что обосновывается нижеследующим.

Геонимия – уровень интеграции развития наук о Земле, которую Н.Я. Грот (1904 г.) определил в качестве синтеза географии, геологии, геофизики, геохимии, планетологии, экологии в единую науку о Земле [5, 20].

В развитие интегрального решения проблемы была И. Круть (1978 г.) в качестве теоретической базы геонимии, создана «Общая теория Земли» [8].

Геонимия прикладная наука по В.В. Белоусову (1963) есть синтез геологии, геофизики и геохимии позволяющие изучить состав, строение, состояние и свойства глубоких недр геосферы во взаимосвязи [1,2,6, 9-10,19-20].

Направление охраны окружающей геологической среды, на технологически высокоточном инженерном разумном обращении с грунтами Земли, развитая в трудах академика Е.М. Сергеевым (1973-1987 гг.), является фундаментом для зарождения основ ноосферной инженерной геонимии, методологически имеет междисциплинарную свободную для постоянного дополнения открытиями геобазу знаний в 4-х томах «Теоретических основ инженерной геологии», геозкологии, инженерной и экологической геологии.

В развитие первых основ и компонент ноосферной геологии академики Е.М. Сергеева и В.И. Осипов (1997-2025 гг.) создали научную школу прикладного обоснования геозкологии на примере «Москва. Геология и Город». Разработки инженерно-геонимической направленности представлены в научном труде «Динамическая неустойчивость грунтов» член-корр. РАН Е.А. Вознесенского (2025) [4, 11-13].

В инженерные изыскания и высшее образование, внедрены методологии инженерной экологической геологии и экологических функций литосферы В.Т. Трофимова, разработан подход «Очистка и восстановление геологической среды» В.А. Королевым (1997-2025), позволяющие найти переходы к синтезу наук о Земле, и их интеграции в геонимогенез [7, 18].

Результаты исследований

Геонимизация наук о Земле, поэтапный интегро-дифференциалпереход к ноосферным решениям проблем человечества и его инженерной и хозяйственной деятельности, они изначально содержатся в дисциплинах: Г – грунтоведение, ИГ – инженерная геология, ГГ – гидрогеология, ГК – геокриология, ГГ – геогидрология, ГН – геонимия, ИРГ – инженерно-рудничная геология, КСФ – катастрофование, НИГ – ноосферная инженерная геонимия (рис.1) [1-21].

Первый этап формирования инженерной геологии, представлен в центре левого верхнего рисунка. Там находится: Г – грунтоведение с компонентами Ж₁ – жидкой, Ж₂ – живой, Г – газовой, Т – твердой; которая генетически взаимосвязана и окружена самостоятельными направлениями инженерной геологии ИГД – инженерная геодинамика, РИГ – региональная инженерная геология, ИГМ – инженерная геология месторождений полезных ископаемых, ТМГ – техническая мелиорация грунтов, ИГ – интегрирующая схему инженерная и экологическая геология.

Этап второй. ТОИГ – средний рисунок иллюстрирует теоретические основы инженерной геологии, где в ядре дисциплин находится: Г – грунтоведение, окружено ММ – механико-математическими, ФХ – физико-химическими, СЭ – социально-экономическими и геологическими основами ИГ, что представляет структурно-логистическую схему теоретических основ инженерной геологии.

Третий этап. На правом верхнем рисунке в круговой схеме диаграммы представлена структура ИРГ – инженерно-рудничной геологии, которая в ядре состоит из ГР – грунтоведения рудничного, и окружена ГН – геонимией, ИГН – инженерной геонимией, НИГ – ноосферной инженерной геонимией (рис.1) [1-21].

Четвертый этап. На левой нижней круговой схеме-модели представлены в центре объединенные методологически: ГД – геодинамика. ГХ – геохимия, ГФ – геофизика, которые создают синтезированно ГН – геонимию.

В квадрате серым цветом показаны: Э – экология, КСВ – катастрофование, выше 4-мя цветами выделены: ИГ – инженерная геология, ГК – геокриология, ГГ – гидрогеология, ГЛ – геогидрология, выше находятся соответственно ИГН – инженерная и ноосферная геологии.

Этап пятый. На правом нижнем рисунке приведена круговая схема-модель НИГМ – ноосферная инженерная геонимия, где в ядре расположено Г – грунтоведение, затем последовательно ИГД – инженерная геодинамика, ИРГ – региональная инженерная геология, ИГМ – инженерная геология месторождений полезных ископаемых, ИРГ – инженерно-рудничная геология, ИГН – инженерная геонимия.

Представленные выше в круговых диаграмм-моделях 5 этапов интегро-дифференциальных путей трансформации и преобразования инженерной геологии и наук о «Земле-Воде-Жизни» в ноосферную геологию, отчетливо показывает, что грунтоведение находится в ядре и объединяет практически все дисциплины, при этом на уровне ГН – геонимии формируется Общая теория Земли, а на уровне знаний НИГ Единая теория наук о ноосфере Земли [1-21].

Вклад соавтора Е.И. Лагутина (2012) заключается в разработанной методологии составления инженерно-геонимической карты типизации и прогноза георисков антропо-техногенного характера

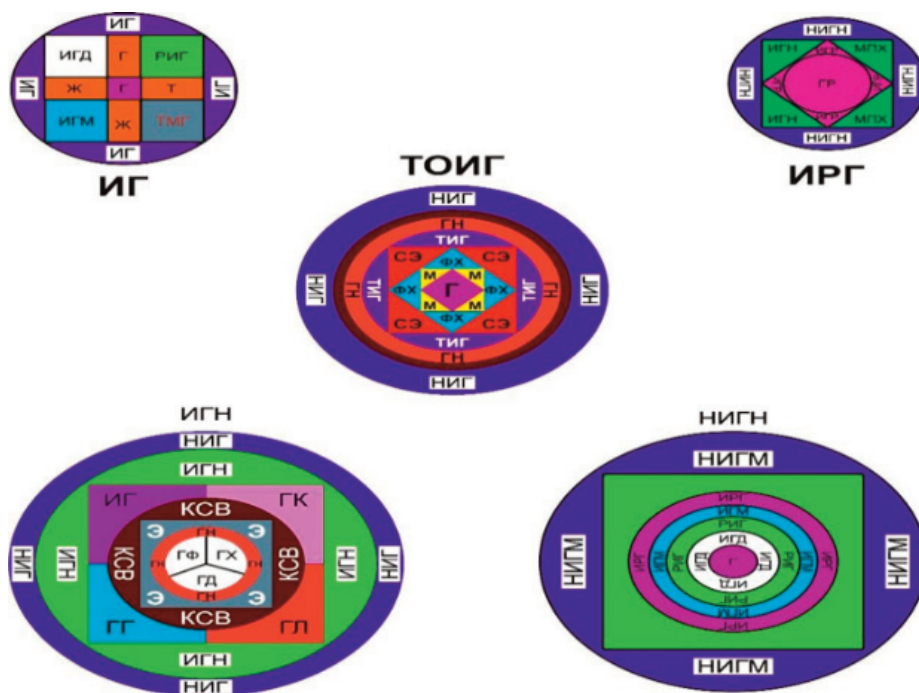


Рис. 1. Круговые диаграммы взаимосвязи междисциплинарных наук о «Земле-Воде-Жизни» позволяют выявить особенности формирования основ нового направления ноосферной инженерной геологии на геобазе знаний охраны окружающей геологической среды и теоретических основ инженерной геологии с их геоэкологизацией в Общую и геонимизацию в Единую теорию Земли

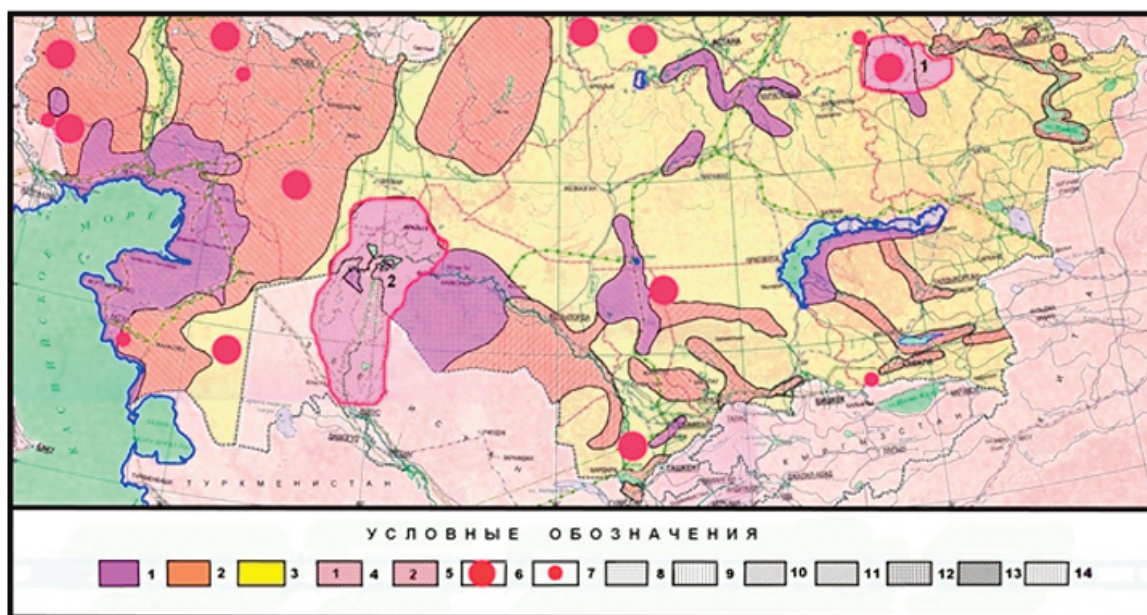


Рис. 2. Инженерно-геонимическая карта оценки и прогноза георисков антропогенного и техногенного характера на территории Республики Казахстан составлена (с дополнениями карты-схем Смоляра В. А. (2003)). Общая степень антропогенной деградации подземного стока: 1 - (А-П-3), 2 - (В-П-6), 3 - (С-VI-11). Катастрофические антропогенные воздействия: 4 - Семипалатинский ядерный полигон (А-П-4), 5 - экологическая система Аральского моря, (А-П-4); 6 - участки испытания ядерного оружия (А-I-1), 7 - места захоронения ядерных отходов (А-I-2). Изменения подземного стока: 8-в связи с колебаниями уровней озер, морей, водохранилищ, 9 - неконтролируемым водоотбором подземных вод, 10 - процессами техногенеза в горнодобывающих районах, 11 - изменениями стока рек при сельскохозяйственном производстве, 12 - высоким водозабором подземных вод при уменьшении питания в селитебных условиях, 13 - высоким водозабор подземных вод в промышленных районах, 14-высоким водозабором на фоне уменьшающегося стока рек в сельскохозяйственном производстве

на примере территории Республики Казахстан, взаимосвязанного с подземным стоком внутриконтинентальных орогенов Центральной Азии (рис.2) [9].

Впервые проведена геогидрологическая стратификация, выделено 7 типов систем и 18 факторов антропогенного воздействия, осуществлена оценка инженерно-геологических рисков бедствий [9].

Вклад соавтора Ш.Ф. Валиева (2015) состоит в инженерно-геономическом исследовании «Инженерно-геологических особенностей трансформации кровли литосферы горных стран (на примере Таджикистана). На рисунке 3 приведена составленная карта «Инженерно-геономической оценки, типизации и прогноза георисков на порайонном уровне для кровли литосферы территории Таджикистана» [2].

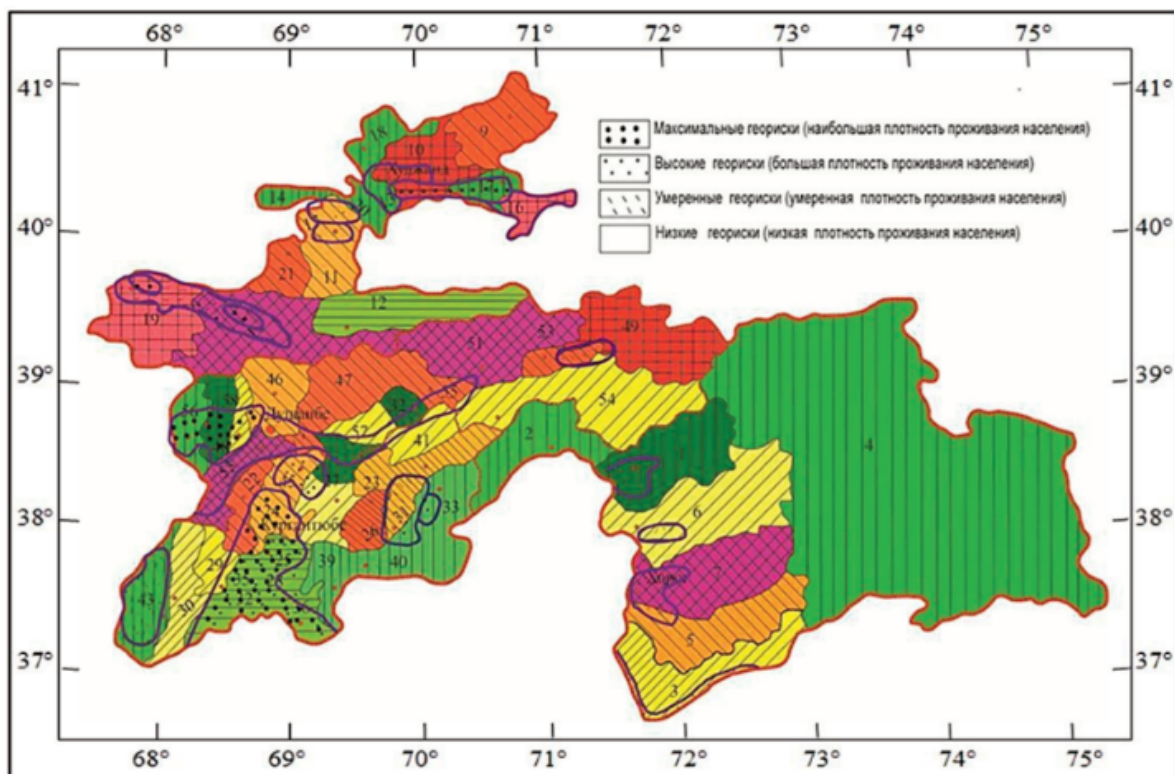


Рис. 3. Инженерно-геономическая карта оценки, типизации и прогноза георисков на порайонном уровне для кровле литосферы территории Таджикистана где: 1 - условия развития георисков природного характера, мало затронутая инженерно-хозяйственными нагрузками; 2 - геориски в условиях несистематической умеренной инженерно-хозяйственной нагрузки; 3 - геориски в условиях сильной инженерно-хозяйственной нагрузки; 4 - геориски в условиях интенсивной и систематической инженерно-хозяйственной нагрузки

Выявлена закономерность повысотного распределения геономов с интегрированными площадями по: 1. территориальности; 2. оледененности; 3. долинности, где при деградации ледников активизируются геориски в интервале высот 3 км до 6 км для территории Таджикистана. Максимальный пик геонома оледененности располагается на высоте 5,5 км [2].

Вклад соавтора М.Б. Едигенова, заключается в том, что впервые разработал методологию и составил серии карт инженерно-рудничной геологии и инженерной геономии, с геоном-моделями «Типизации георисков на примере месторождений Казахстана» (рис. 4, 5) [2]. На рисунке 8 представлена разработанная впервые «Региональная инженерно-руднично-геолого-геодинамическая карта типизации классов и формаций грунтов с ареалами размещения полезных ископаемых и георисков в приповерхностной части земной коры кровли литосферы Казахстана» [2].

Создана основа научного направления инженерно-рудничная геология. На рисунке 10 представлена инженерно-руднично-геологическая латеральная геоном-модель закономерности распространения, типизации и прогноза георисков трансформирующих кровлю литосферы на примере Казахстана [2].

На рисунках 4 и 5 представлена составленная карта «Интегрированная региональная инженерно-руднично-геолого-геономическая карта типизации георисков в различных классах и формациях грунтов и полезных ископаемых в регионах Казахстана где: **I скальные**: 1. интрузивные; 2. эффузивные; 3. метаморфические; 4. карбонатные; 5. терригенные формации; **II полускальные**: 6. терригенно-карбонатные, 7. кайнозойские песчаные; **III нескальные**: 8. рыхлые, пылеватые и глинистые фракции песков пустынь; 9. связные просадочные лессы; 10. районы развития карста; 11.

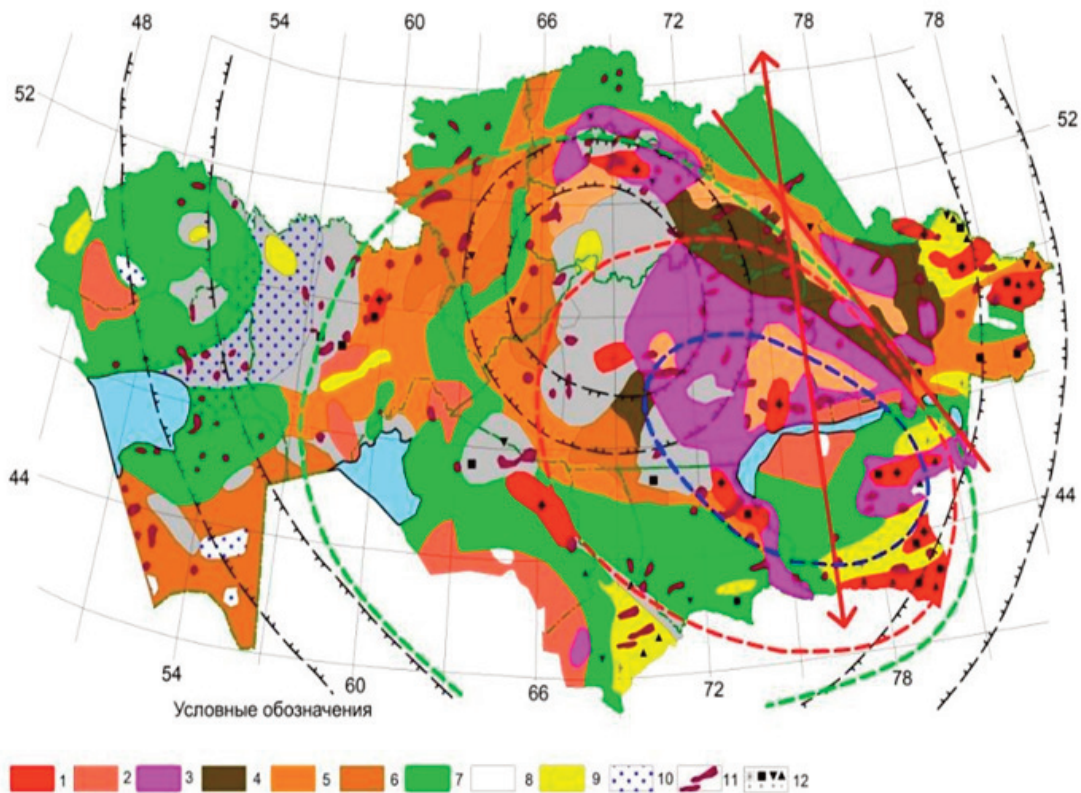


Рис. 4. Региональная инженерно-руднично-геолого-геодинамическая карта типизации классов и формаций грунтов с ареалами размещения полезных ископаемых и георисков в приповерхностной части земной коры кровли литосферы Казахстана, где: ИГО - инженерно-геологические образования (А – коренной основы, Б-поверхностные отложения); ИГН - инженерно-геономические геориски; ИГКГ - инженерно-геологические комплексы грунтов (I – скальные, II - полускальные, III - нескальные); ИГФ - инженерно-геологические формации (И - интрузивные, Э - эффузивные, Ме - метаморфические, К - карбонатные, ТК - терригенно-карбонатные, ГР - грубообломочные, ПС - песчаные, ГС - грунты связные; ИГГКГП - инженерно-геологические группы комплекса грунтов

ИГО	А					Б				ИГН
ИГКГ	I					II	III			I-III
ГТП	а		б			в				а-в
ИГФ	И	Э	Ме	К	Т	ТК	ГР	ПС	ГС	ИГФ
ИГГКГП	1	■	■	■	■	■				камнепад, карст
	2					■				осыпи, карст
	3						■			дефляция, засоление
	4							■		паводки, затопление
	5								■	просадки, оползни, сели
Класс	С К А Л Ь Н Ы Е					Д И С П Е Р С Н Ы Е				ГЕОРИСКИ

Рис. 5. Экспликация к регионально-инженерно-руднично-геологической карте: инженерно-руднично-геологическая обстановка и условия (ИГО-У), классов грунтов (ИГКГ), генетических типов пород (ГТП), инженерно-геологических формаций (ИГФ), инженерно-геологических групп комплекса горных пород (ИГГКГП) и инженерно-геономической типизации георисков

ареалы размещения месторождений полезных ископаемых; 12. геориски от: а. оползней, б. камнепадов, в. осыпей, г. селей.

Вклад соавтора Л.Э. Оролбаевой заключается в выявлении закономерности трансформации георисками гидрогеосферы горных стран, для прогноза георисков водного генезиса в регионе Центральной Азии. Созданы новые для горных условий геогеологические модели генетических структур потоков, для зоны активного водообмена и составлены карты инженерной геонии

гидрогеосферы контролируемой новейшими тектонически-вергентными структурами на примере Тянь-Шань-Джунгаро-Памирской складчатой горной территории (рис.6) [10].

На рисунке 6 представлена составленная «ИГН карта вергентного распределения и типизации трансформации гидрогеосферы Тянь-Шаня и Памиро-Алая» где: 1 – гидрогеосфера трансформированная: южно-моновергентными новейшими тектоническими движениями и структурами; 2 – северо-восточными моновергентными новейшими тектоническими движениями и структурами; 3 – северо-моновергентными новейшими тектоническими движениями и структурами; 4 – условия расположения артезианских бассейнов в межгорных впадинах, 4 – высокогорных; 5 – среднегорных; 6 – низкогорных; 7 – гидрогеосфера трансформированная новейшими тектоническими движениями и структурами: а. конвергентными, б. дивергентными; 8 – наиболее крупные естественные и искусственные водные объекты гидрогеосферы (озёра и водохранилища); 9 – границы Тянь-Шаньского орогена сопряженные с разломами и отделяющие от Памиро-Алая, Таримской платформы, Туранской плиты и Казахстанского щита; 10 – региональные разломы играющие важную роль в образовании геогеологических границ и в круговороте воды в гидрогеосфере по механизму ДО (дренажной оболочки); 11 – направления движения и падения горных масс новейших вергентных структур; 12 – инженерно-геономические границы раздела вергентных новейших движений; 13 – водораздельные хребты, являющиеся границами на картах гидрогеологического районирования; 14 – токсичные хвостохранилища; 15 – наиболее крупные водные объекты, трансформирующие гидрогеосферу; 16-18 водозаборы для питьевых и хозяйственных целей: 16 – хозяйственно-питьевого и промышленного водоснабжения; 17 – орошения; 18 – водоснабжения и орошения; 19 – номера месторождений подземных вод; 20 – римские цифры по возрастанию, это величина уменьшения объемов стока поверхностных в числителе, в знаменателе – подземных вод трансграничного характера; 21 – направление течения поверхностных и подземных вод; 22 – границы раздела крупных тектонических структур [10].

Вклад соавтора Ш.Э. Усупаева заключатся в подготовке кадров науки, анализе и обобщении представленных в 5 докторских диссертациях инновационных методологий в направлении развития основ инженерной геономии и катастрофоведения. Приведены доказательства подтверждения фундаментальности идеи ноосферной геологии академика Е.М. Сергеева. Впервые были построены и опубликованы серии планетарных, тематических региональных и страновых карт типизации и прогнозирования георисков, с преобразованием конечной карты считающейся в науках Мира конечным продуктом исследований, в новые информационные геоном-модели латеральной и вертикальной типизации и прогноза георисков исходящих для планеты и его субчастей от полипросадочности в лессовых формациях на суше и элизионной скачкообразной сжимаемости илово-пылеватых грунтов на дне океанов и морей,

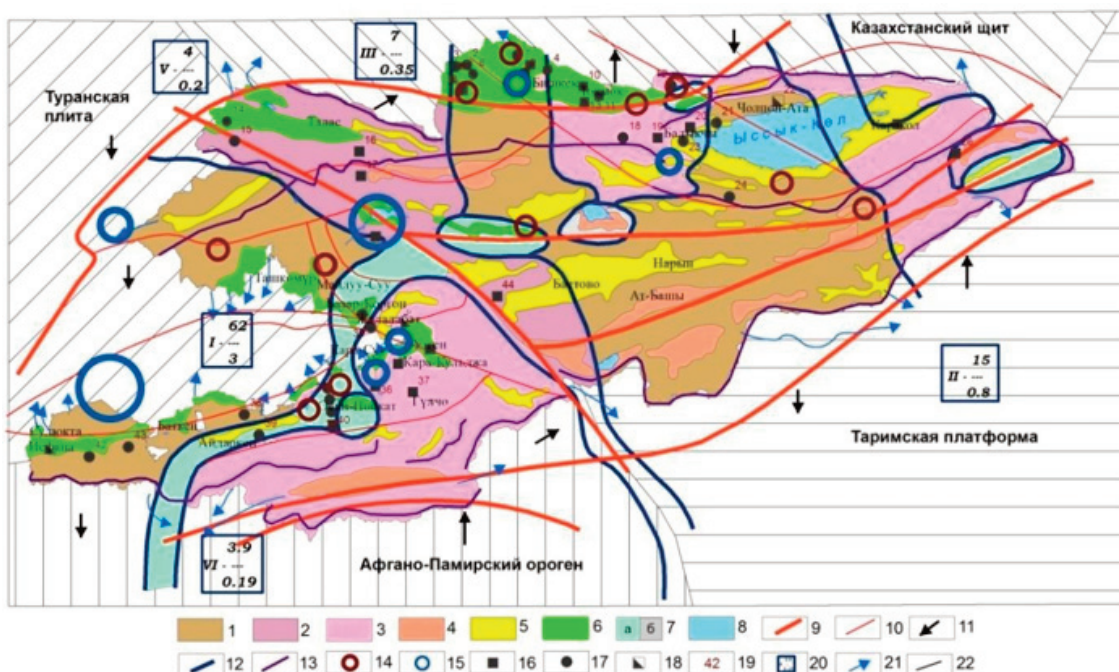


Рис. 6. Инженерно-геономическая карта вергентного распределения и типизации трансформации гидрогеосферы Тянь-Шаня и Памиро-Алая

предупреждения на Геоиде оползней и землетрясений, закономерностей опустынивания земель, что представляется необходимым и достаточным для геонимизации геоэкологии и ноосферной геологии.

Выводы

1. «Теоретические основы инженерной геологии», «Инженерная геология СССР», взаимосвязанные и взаимодействующие самостоятельные направления инженерной и экологической геологии, геоэкологии, охраны окружающей геологической среды, и междисциплинарные знания в области наук о Земле, созданные под руководством академика Е.М. Сергеева и его учеников в МГУ им. М.В. Ломоносова, Институте геоэкологии им. Е.М. Сергеева позволили реализовать в прикладном аспекте идею, о том что инженерная геология, это ноосферная геология.

2. Составлены в развитие ноосферной геологии серии интегрированных карт инженерной геонимии и одноименные модели для внутриконтинентальных орогенов Центральной Азии, на примере Казахстана, Кыргызстана, Таджикистана, где внедрены инновационные катастрофоведческая, геогидрологическая, инженерно-руднично-геонимическая методологии для решения геоэкологических проблем и создания основ ноосферной инженерной геонимии как основы Единой теории Земли.

2. Инновационные разработки позволяют повысить эффективность прогнозирования и снизить воздействия георисков на население и территории.

Литература

1. Белоусов В.В., Вихерт А.В. *Вопросы геонимии (Кора и верхняя мантия)*. - М.: Изд. МГУ, 1972. - 240 с
2. Валиев Ш.Ф. *Инженерно-хозяйственная трансформация кровли литосферы Таджикистана* Таджикский национальный университет. - Душанбе: Сино, 2014. – 219 с.
3. Вернадский В.И. *Биосфера и ноосфера*. М.: Наука, 1989.-261 с.
4. Вознесенский Е.А. *Динамическая неустойчивость грунтов* Изд. стереотип. 2025. 264 с.
5. Грот Н. Я. *К вопросу о классификации наук*. Типография А. С. Суворина, 1884. – 73 с.
6. Едигенов М.Б. «Горнорудничная гидрогеология и геориски на месторождениях Северного Казахстана». Бишкек, ИЦ «Техник» КГТУ, 2014, 378 с.
7. Королев В.А. *Очистка и восстановление геологической среды*. Изд. Сампринт, М: 2019- 430 с.
8. Круть И.В. *Введение в общую теорию Земли*. - М.: Мысль, 1978. - 368 с.
9. Лагутин Е.И. *Геогидрология Кыргызстана*. Бишкек: Изд. центр «Техник», 2013.- 276 с.
10. Оролбаева Л.Э. *Геогидрология горных стран (на примере Тянь-Шаня и Памиро-Алая)*. Бишкек: Изд. Центр, Техник, 2013 –185 с.
11. Осипов В.И., Шойгу С.К., Владимиров В.А., Воробьев Ю.Л. *Природные опасности и общество*. - М.: Изд. фирма «КРУК», 2002. 248 с. 80 с.
12. Осипов В.И., Медведев О.П., Адилов В.Б. и др; Москва. *Геология и город*. М.: Моск. Учеб. и картолитогр. 1997, 399 с.
13. Сергеев Е.М., Друянов В.А. *Человек и геологическая среда*. - М.: Сов. Россия, 1986. 80 с.
14. Сергеев Е.М. (под ред. академика). *Теоретические основы инженерной геологии. Социально-экономические аспекты*. 1985. 260 с.
15. Сергеев Е.М. (под ред. академика). *Теоретические основы инженерной геологии. Геологические основы*. Издание: Недра, Москва, 1985 г., 332 с.
16. Сергеев Е.М. (под ред. академика). *Теоретические основы инженерной геологии. Часть 2. Физико-химические основы*. Недра, Москва, 1985 г., 288 с.
17. Сергеев Е.М. (под ред. академика). *Теоретические основы инженерной геологии. Механико-математические основы*. 1985. 332 с.
18. Трофимов В.Т. «*Экологические функции литосферы*». М., 1997, 432 с.
19. Туркбаев П.Б. *Инженерно-геолого-геонимические условия типизации георисков для угольных месторождений Кыргызстана*. Научно-технический журнал №333(3). Материалы 2-го международного симпозиума, посвященно-го75-летию НАН КР. Бишкек, 2018. – С. 46-51

20. Усупаев Ш.Э. Единая теория поля палеопрочности системы «Земля - Небесные тела - Мироздание». Новые идеи и теоретические аспекты инженерной геологии / Труды Международной научной конференции (Москва, МГУ, 4 февраля 2021 г.) // Под редакцией В.Т. Трофимова и В.А. Королёва – М.: ООО «Сам Полиграфист», 2021. 334 с. С.155 – 165.
21. Усупаев Ш.Э. ГИДРОИНГЕО и биографо-научная связь между великими учеными «Ланге О.К. – Мавляновым Г.А. – Сергеевым Е.М.» в сфере изучения «подземных вод – инженерной геологии – и охраны окружающей геологической среды». Международная научно-практическая конференция «Современные проблемы и их решения в области гидрогеологии, инженерной геологии и геоэкологии», посвященная 65-летию со дня основания Государственного учреждения «Институт гидрогеологии и инженерной геологии». Ташкент. 2025. С. 191 – 195.

СПЕЦИФИКА ОЦЕНКИ ЭКЗОГЕННЫХ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ПРИ ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЯХ

М.А. Харькина, В.Т. Трофимов

Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, 119234, г. Москва, Ленинские горы, д. 1
E-mail: kharkina@mail.ru

Введение

Оценка экзогенных геологических процессов (ЭГП) при выполнении геоэкологических исследований с целью рационального природопользования отличается от изучения ЭГП при инженерно-геологическом изучении территории, основным назначением которого является определение устойчивости сооружений. Геоэкологические исследования ЭГП требуют определения экологических последствий проявления геологических процессов для всего живого. Целью написания статьи является выявления специфики геоэкологической оценки ЭГП, необходимой при ведении инженерно-экологических изысканий, в чем и заключается актуальность публикации.

Специфика геоэкологической оценки ЭГП. 1. Геоэкологические исследования ЭГП строятся на экологически ориентированной классификации геологических процессов. Применение систематики геологических процессов, построенной на основе генетического принципа и широко используемой в инженерно-геологических исследованиях, здесь бессмысленно. В данном случае *главная цель оценки ЭГП – определение экологических последствий их проявления*. Существует несколько систематик геологических процессов с учётом экологических последствий их проявления. К ним относятся систематики, разработанные С.М. Мягковым [3], Г.Л. Коффом [1], Л.Л. Прозоровым и В.Н. Экзарьяном [4], Н.С. Красиловой [2] и другие. Из них наиболее целенаправленной с геоэкологических позиций является систематика геологических и других природных процессов, предложенная Н.С. Красиловой. Она построена на основе учёта удельного веса негативного воздействия различных процессов на живое. Выделены и описаны две группы: процессы, представляющие непосредственную угрозу жизни (при описании названными катастрофическими), и процессы, изменяющие условия жизнедеятельности. Экологически ориентированная классификация геологических процессов регламентирована и в нормативно-технических документах, в частности в СП 502.1325800.2021 на инженерно-экологические изыскания, что является определенным достижением этого норматива [6].

2. Дальнейшие проработки учета тяжести экологических последствий проявления ЭГП показали, что требуется раздельный подход к определению состояния различных представителей биоты: человеческого сообщества, фитоценозов, зооценозов [9]. В **экологически ориентированной классификации ЭГП по характеру воздействия на социум** главным принципом построения является сохранность жизни при полномасштабном проявлении (рис. 1). В этой классификации выделяют четыре группы процессов: катастрофические, опасные, неблагоприятные и благоприятные. Группа *катастрофических процессов* представляют непосредственную угрозу жизни при максимальной интенсивности проявления и характеризуется трудной прогнозируемостью момента возникновения. Среди ЭГП к ней относят цунами, нагоны, наводнения, оползни, сели, обвалы, провалы и др. Непосредственная угроза жизни человека возникает только при максимальной интенсивности проявления процесса (скорости, амплитуде, высоте подъёма, радиусе действия и др.) на территориях с высокой плотностью населения в условиях отсутствия систем предупреждения. *Опасные процессы* (засуха, опустынивание, эрозия, карст и др.) оказывают непосредственное воздействие (механическое, химическое и др.) на абиотическую составляющую экосистемы и только опосредованно, через её изменение или разрушение, на флору, живые организмы и человека. Опасные процессы угрожают жизни, но их проявление растянуто во времени и сопоставимо с человеческой жизнью. *Неблагоприятные геологические процессы* (заболачивание, суффозия, термокарст, пучение, наледеобразование, морозобойное растрескивание и др.), не представляющие непосредственной угрозы для жизни. Неблагоприятные процессы негативно воздействуют на условия жизнедеятельности человека через деформацию и осложнение эксплуатации инженерных сооружений. Это процессы длительного дей-

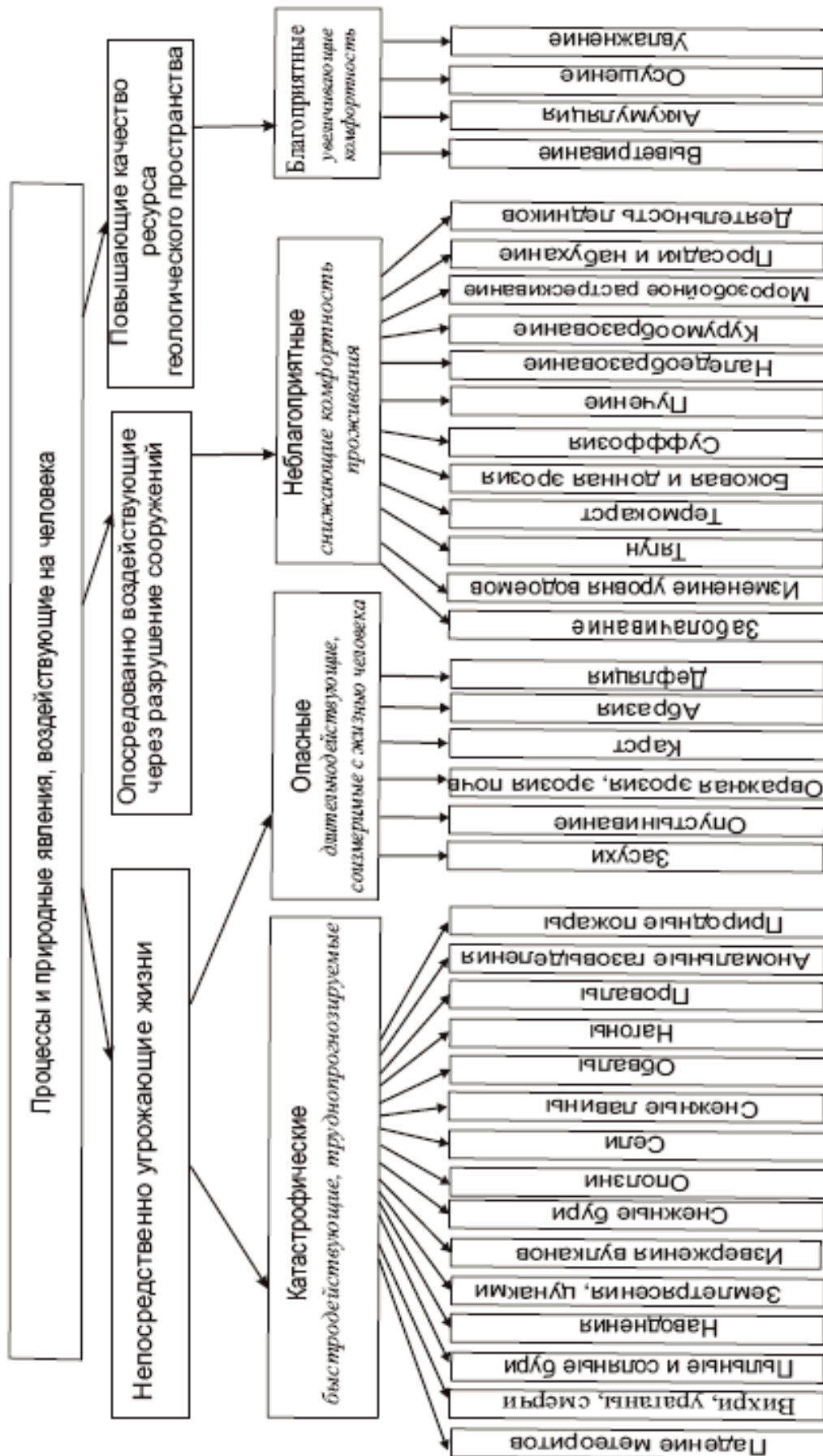


Рис. 1. Систематика природных процессов по характеру воздействия на социум

ствия, с продолжительным периодом подготовки, с отдаленными и опосредованными экологическими последствиями как для человека, так и всего живого. *Благоприятные процессы* (аккумуляция наносов в дельтах крупных рек, осушение) позитивно влияющие на условия на комфортность проживания человека за счёт увеличения ресурса геологического пространства для расселения.

В **экологически ориентированной классификации ЭГП по характеру воздействия на биоту**, исключая человека, главным принципом построения является сохранность почвы (рис.2). По сохранности почвы выделяются три группы: протекающие с уничтожением почвы, приводящие к её частичной деградации и способствующие её образованию. Процессы, протекающие по первому сценарию, по экологическим последствиям подразделяются на катастрофические и опасные.

Первые – катастрофические – представляют непосредственную угрозу существованию биоты. Эти процессы (засухи, градобитие, наводнения, пыльные и соляные бури и др.) характеризуются неопределённостью момента возникновения, высокой скоростью протекания и локальностью проявления. Отнесение в эту группу наводнений условное, поскольку они хотя и угрожают существованию растений и животных, но протекают не только с уничтожением, но и захоронением почвы. *Опасные геологические процессы* отличаются региональным характером проявления и более растянуты во времени. Они не несут прямой и быстрой угрозы для биоты, но могут привести к полной деградации природной экосистемы, кардинально изменив структуру и условия существования биоты вплоть до её гибели. К ним можно отнести такие природные процессы как опустынивание, вторичное засоление, дефляция, термокарст.

Неблагоприятные для существования растений и животных геологические процессы связаны с деградацией почвы. К ним относятся эрозия, подтопление, заболачивание, карст, а также с некоторой долей условности суффозия, пучение и некоторые другие. К *благоприятным* геологическим процессам относится выветривание, увлажнение, осушение. В процессе воздействия на горные породы воды, воздуха, температур и микроорганизмов образуется элювий, тесно связанный с образованием почвы. Унаследованные от горных пород почвенные минералы содержат элементы биофильного ряда, жизненно необходимые организмам. Процессы орошения (или осушения) позитивно воздействуют на формирование почвы, но только до определённых пределов. Существует угроза подтопления соседних с орошаемыми земель. Кроме того, использование для орошения засоленных вод приводит к вторичному засолению почв, к деградации почвенного покрова и ухудшению условий проживания биоты, вплоть до смены доминантов.

3. Еще одна специфика изучения ЭГП связана с **терминологической путаницей** [5]. Исследователи часто называют одинаковыми терминами и процессы и явления, которые этими процессами созданы, что в принципе – ошибка. Словосочетание «геологические процессы и явления» являются основополагающими в геологии. Из расположения слов в этом словосочетании ясно – процесс первичен, явление – вторично, первое – причина, второе – следствие. Неопределённости терминологии для карстового, обвального, осыпного и оползневых процессов рассмотрены в [5].

Любой *геологический процесс* – это изменение состава, свойств и структуры геологических объектов во времени. Например, карстовый процесс в классической геологии в работах Ф.П. Саваренского, И.В. Попова и Д.С. Соколова определяться как геологический процесс в основном химического взаимодействия растворимых горных пород и движущихся подземных и поверхностных вод.

Геологическое явление – конкретная форма проявления данного процесса на данной (или конечной) стадии развития. Результаты процесса могут быть выражены в рельефе массива и в строении массивов. Так, карстовый процесс порождает характерные геологические явления: 1) подземные формы – разнообразные каверны, полости, каналы и др.; 2) своеобразный рельеф – воронки, кары, поля и др.; 3) особые континентальные субтерральные накопления (остаточные, хемогенные, водно-механические и др.)

Заключение

Существует своя специфика оценки геологических процессов при геоэкологических исследованиях, требующая определения экологических последствий их проявления отдельно для человека и других представителей биоты. Другая особенность оценки ЭГП, общая и для экологически ориентированных исследований (геоэкологии), и для инженерной геодинамики, связана с неопределённостями терминологической базы этих дисциплин.

Исследование выполнено в рамках государственного задания МГУ имени М.В. Ломоносова.

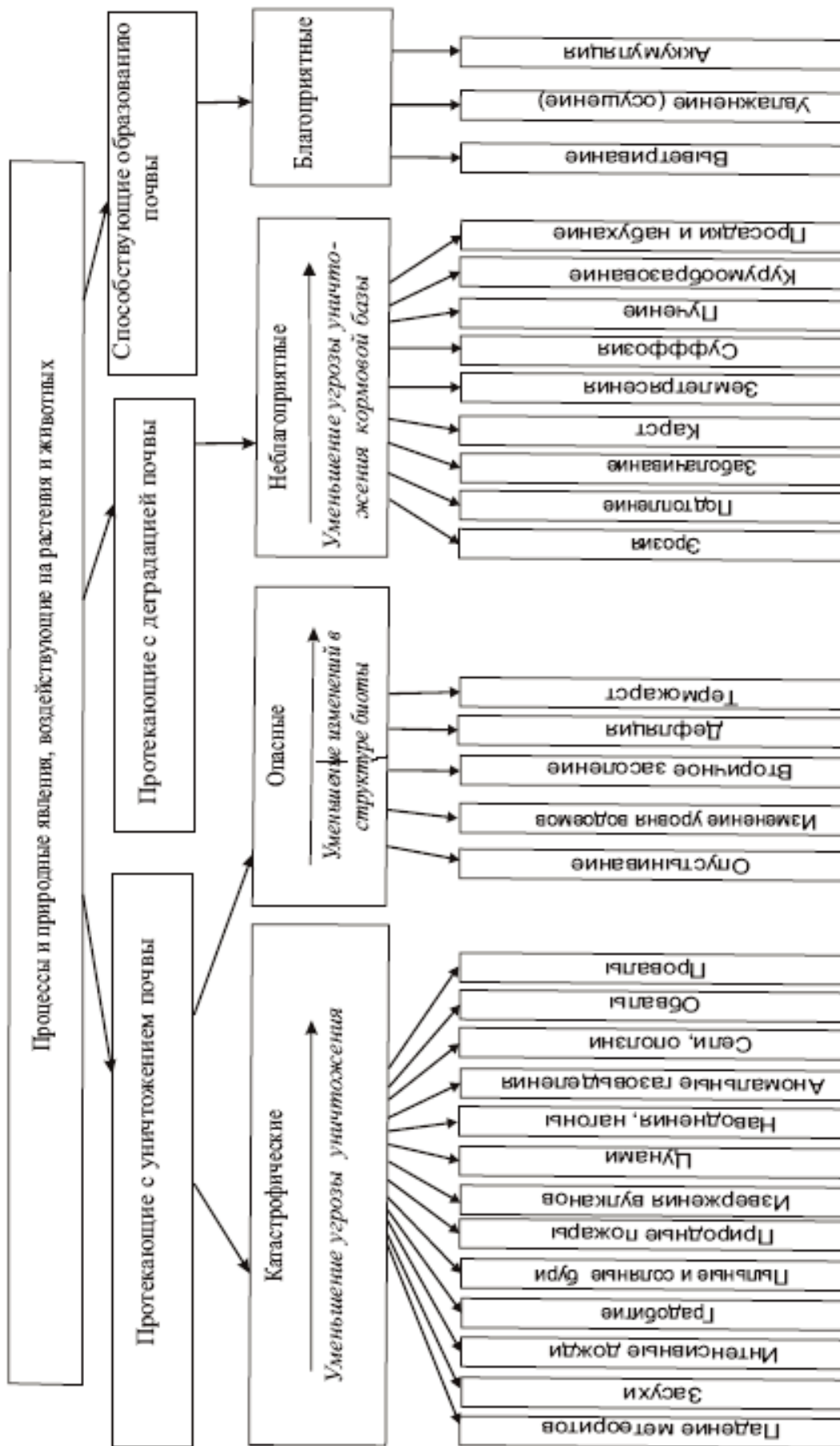


Рис.2. Систематика природных процессов, воздействующих на условия существования растений и животных

Литература

1. Кофф Н.Л., Гусев А.А., Воробьев Ю.Л., Козьменко С.Н. Оценка последствий чрезвычайных ситуаций. М.: РЭФИА, 1997. 72 с.
2. Красилова Н.С. Геологические природные процессы, их воздействие на литосферу и экологические последствия // Теория и методология экологической геологии / Под ред. В.Т. Трофимова. М.: Изд-во МГУ, 1997. С. 141-200.
3. Мягков С.М. География природного риска. М.: изд-во МГУ, 1995. 222 с.
4. Прозоров Л.Л., Экзарьян В.Н. Введение в геоэкологию. М.: Пробел, 2000. 208 с.
5. Трофимов В. Т. О ряде неопределенностей теоретических и терминологических позиций инженерной геодинамики // Инженерная геология. 2023. Т. 18, № 1. С. 6–15.
6. Трофимов В. Т., Харьковина М. А. Оценка опасных процессов: нормативно-технические документы на инженерные изыскания новые, а проблемы старые / Сергеевские чтения. Фундаментальные и прикладные вопросы инженерной геодинамики. Выпуск 24. Материалы годичной сессии Научного совета РАН по проблемам геоэкологии, инженерной геологии и гидрогеологии (30-31 марта 2023 г.) / Под ред. Е. А. Вознесенский, В. И. Осипов. Т. 24. М.: Геоинфо. 2023. С. 34–37.
7. Харьковина М.А. Оценка негативных экологических последствий геологических процессов для человека, животных и растений / Оценка и управление природными рисками. Материалы Всероссийской конференции «Риск – 2003» М.: Из-во Российского университета дружбы народов, 2003, Т.2. С.262-266.

2. ИЗУЧЕНИЕ ОПАСНЫХ ПРИРОДНЫХ ПРОЦЕССОВ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКИХ ЗАДАЧ

ОЦЕНКА ЛАВИННОЙ ОПАСНОСТИ ВДОЛЬ ЛИНИИ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧ В РЕСПУБЛИКЕ АДЫГЕЯ

А.Х. Аджиев, Н.В. Кондратьева, Н.В. Юрченко, З.М. Керефова

ФГБУ «Высокогорный геофизический институт», 360030, Россия, КБР, г. Нальчик, Ленина, 2
E-mail: zknyaz-kbsu@mail.ru

Введение

К числу основных причин лавинообразования в горной части Адыгеи относятся интенсивные и продолжительные снегопады, зимние оттепели и весеннее снеготаяние. Этому способствуют значительные суммы осадков в зимнее время вследствие передового положения территории республики по отношению к влагонесущим воздушным массам и достаточно благоприятные условия рельефа [1]. Устойчивый снежный покров залегает с ноября по май, его максимальная высота может достигать нескольких метров. В результате (в многоснежные зимы) из многих очагов сходит по несколько лавин за сезон. На территории Республики лавинная деятельность развита, в основном, в бассейне р. Белой выше по течению с. Хамышки.

Большая часть трассы проходит по равнинной территории республики Адыгея. Согласно СП 428.1325800.2018 лавиноопасными являются склоны гор с углом уклона от 25° до 60° (п.4.11.14). Такой рельеф имеет место на ряде участков проектирования трассы ВЛ 110 кВ.

Проектируемый объект «Строительство ЛЭП 110 кВ от ПС 110 кВ «Черемушки» до ПС 110 кВ «Плато»» расположен в Майкопском районе Республики Адыгея.

Методика исследований

В ходе работы проводилась обработка и анализ результатов инженерных изысканий, проведенных ранее, опубликованных научных работ, изучение топографических и тематических карт и космических снимков, обработка метеорологической и гидрологической информации, выявление лавиноопасных участков, разработка рекомендаций по защите территории.

Вероятность образования лавин, а также их параметры и режим, определяются благоприятным сочетанием факторов – рельефа, климата и растительного покрова территории [5,7].

Рельеф не только способствует возникновению лавин, но и определяет, во многом, их объемы, силу удара, скорость движения, частоту схода и густоту сети лавинных очагов.

Участок исследования располагается в горно-лесистой местности. Перепады высот участка изыскания (местоположений опор) достигают 982 м, крутизна склонов составляет 25-60 и более градусов, т.е. отдельные склоны благоприятны для зарождения лавин.

Согласно [8] и данных ФГБУ «ВГИ» продолжительность лавиноопасного периода в горах Адыгеи составляет от 60 до 90 дней, а наиболее интенсивная лавинная деятельность отмечается в январе и марте. На территории Адыгеи лавинная деятельность развита в основном в бассейне р. Белая выше по течению с. Хамышки. Лавинообразованию здесь способствуют значительные суммы осадков в зимнее время. По данным [4] общее число лавинных очагов, выделенных в бассейне р. Белая и ее притоков, составляет 607, число лавиноопасных участков – 66, а их общая площадь – 621 км². При этом большая часть лавиноопасных участков характеризуется слабой (53,1% общей площади) и очень слабой (16,7%) степенями лавинной опасности. Сильная пораженность территории лавинами (до 5,3 очага на 1 км днища долины) отмечена на двух участках – в верховьях рек Китайка и Шиша, общая площадь которых 23 км².

Оценка лавинной опасности территории планируемого строительства проводилась на основе анализа архивных и опубликованных материалов по району исследований и непосредственно участку



**Рис. 1. Схема расположения участка изыскания.
Красная линия – линия электропередач (ЛЭП)**

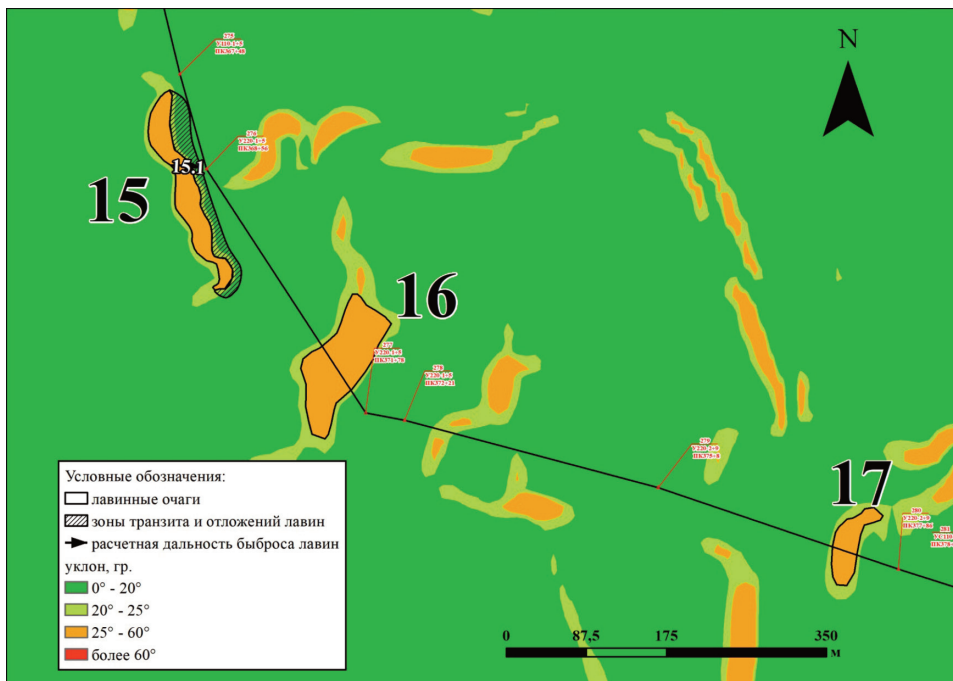
проектирования, дешифрирования космических снимков высокого разрешения из сервиса SASPlanet (2016-2018 гг.), собственных полевых материалов рекогносцировочного полевого обследования 2025 года, расчетов количественных параметров снежных лавин 2% обеспеченности на основе положений СП 428.1325800.2018 и ВСН 02-73.

Оценка лавинной опасности проведена методом натурального специализированного полевого обследования с привлечением на стадии обработки материала и получения результатов работ всей совокупности, имеющейся по району исследований полевой, архивной, научно-технической и исследовательской информации [6,1]. В камеральных условиях проведены вычисления необходимых количественных характеристик лавин, составлены картографические материалы, разработаны рекомендации по защите проектируемых объектов. Проектируемый объект находится на поверхности и имеет нормальный уровень ответственности.

Контуры лавинных очагов определялись с использованием цифровой модели рельефа местности и построенного растра углов наклона.

Протяженность проектируемой ВЛ 110кВ 90,4 км.

a



б

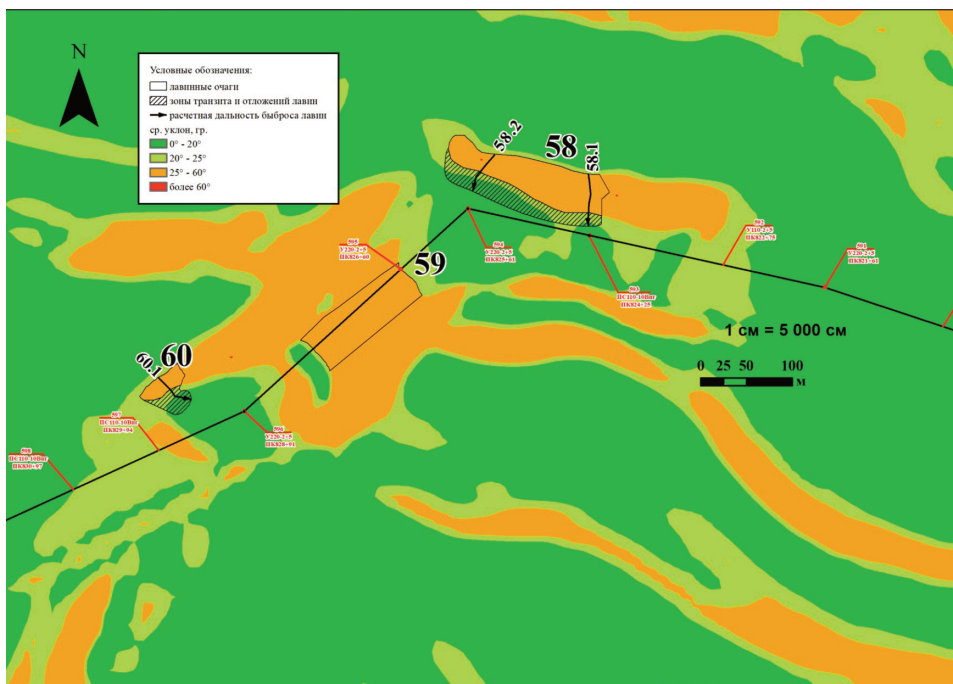


Рис. 2. Отдельные фрагменты карты уклонов. ЛО №№ 15, 16, 17, 58, 59, 60

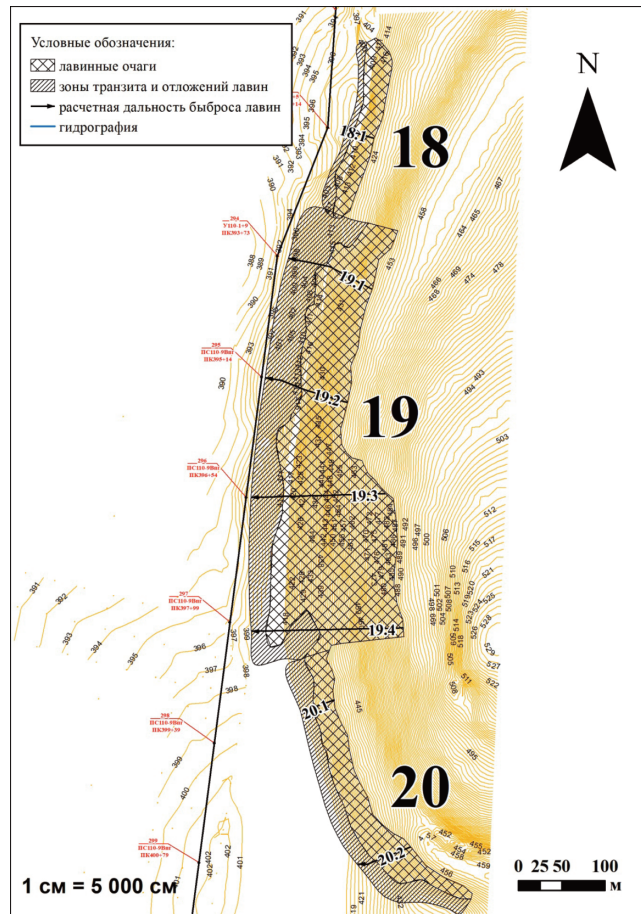
Результаты и их обсуждение

Крутизна лавиноопасных склонов в горной части республики варьирует в весьма широких пределах – от 11° до 45° при среднем для бассейна значении 30°. По экспозиции склонов лавиноопасные участки расположены достаточно равномерно, однако более 43% участков приурочены к склонам, экспозиция которых имеет восточную составляющую.

На рисунке (а) и (б) представлены фрагменты карты уклонов отдельных участков с выделенными лавинными очагами. Фрагменты отдельных участков лавинной опасности на топооснове представлена на рисунке 3 (а) и (б).

В ходе полевого обследования и камеральных работ в районе расположения объектов выделено 69 зон зарождения, лавины из которых могут оказать воздействие на проектируемый объект [2].

a



б

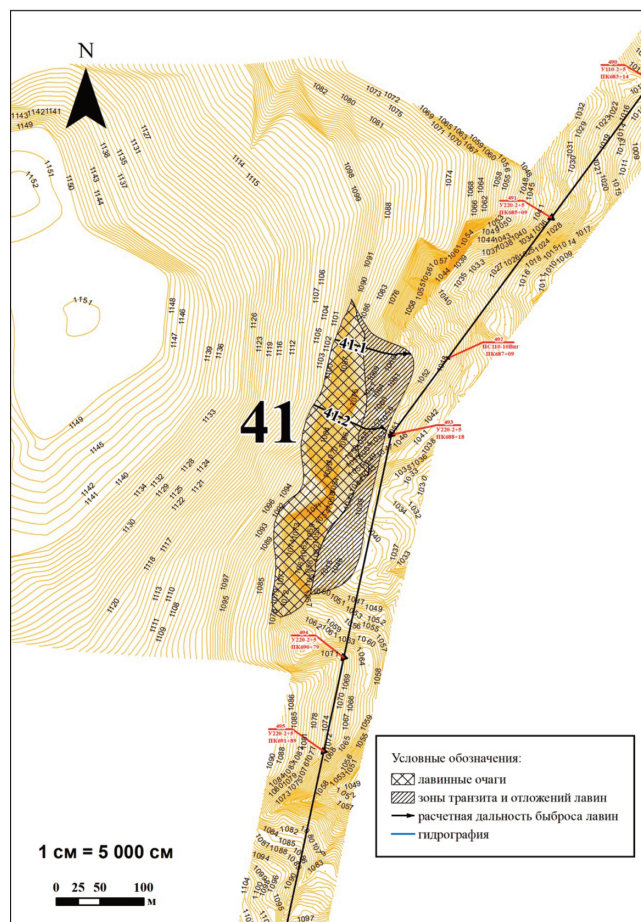


Рис. 3. Отдельные фрагменты карты лавинной опасности на топооснове. ЛО №№ 3, 4, 41

В работе авторами выполнены расчеты характеристик лавин на территории исследования по СП 428.1325800.2018. Расчеты выполнены 2% обеспеченности согласно уровню ответственности объектов [9,3].

Согласно п. 4.11.15 СП 428.1325800.2018 опоры 119, 124, 496, 506, 520, 533, 537, 578, 580, 581 и 636 находятся в зоне потенциальной лавинной опасности. Расчетные значения давления составляют: 0,58-23,7 кПа, а пиковые меняются от 1,76 кПа до 71,1 кПа и они не смогут оказать существенного воздействия на опоры ЛЭП. При проектировании сооружения рекомендуется использовать расчетные значения давления лавины.

Территория установки данных опор покрыта густой древесной растительностью. Другие опоры находятся вне зоны лавинной опасности.

Заключение

Согласно проведенным исследованиям 11 опор ЛЭП (таблица 1) находятся в зоне воздействия небольших потенциальных лавин, максимальное давление которых меняется от 0,58 кПа до 23,7 кПа.

Расчетные значения давления не смогут оказать существенного воздействия на опоры ЛЭП. Так же территория установки данных опор покрыта густой древесной растительностью, что препятствует образованию лавин.

Расчетные скорости возможных лавин, в местах установки опор, варьируются от 1,4 до 7,7 м/с, что недостаточно для формирования воздушной волны. Данный вывод также подтверждается полевыми исследованиями. Таким образом, создание противолавинных сооружений для защиты указанных объектов не требуется.

Остальные опоры находятся вне зоны лавинной опасности.

Рекомендуются следующие мероприятия:

- Проводить наблюдения за снегонакоплением на лавиноопасных участках.
- Минимизировать вырубку леса выше расположения опор.

Литература

1. Аджиев А.Х., Кондратьева Н.В., Кортиев А.Л., Шидугов И.Ж. Высотная динамика снежного покрова в горах Северного Кавказа // Устойчивое развитие горных территорий. 2025. Т. 17. № 1 (63). С. 546-555. DOI: 10.21177/1998-4502-2025-17-1-546-555
2. Благовецкий В.П., Миронова Е.М., Эглит М.Э. Расчёты параметров лавин в малоизученных горных районах. Материалы гляциологических исследований, 79, М., 1995, С. 36-40.
3. Жукова Е.Д., Турчанинова А.С., Коваленко Н.В., Петраков Д.А. Возможности оценки дальности выброса лавин на Красной Поляне при отсутствии данных прямых наблюдений // Лёд и снег. 2025. Т. 65. № 1. С. 69-80. DOI: 10.31857/S2076673425010057
4. Кадастр лавинно-селевой опасности Северного Кавказа // Под ред. М. Ч. Залиханова. – СПб.: Гидрометеоздат, 2001 112 с.
5. Кондратьева Н.В., Аджиев А.Х., Федченко Л.М., Узденова А.Б. Методика фоновое прогноза лавинной опасности для территории горных районов республики Ингушетия и Чеченской республики // ГеоРиск. 2021. Т. 15. № 3. С. 50-63. DOI: 10.25296/1997-8669-2021-15-3-50-63
6. Кондратьева Н.В., Керефова З.М. Оценка лавинной опасности на территории всесезонного туристско-рекреационного комплекса «Мамисон» // Успехи современного естествознания. 2024. № 3. С. 41-45. DOI: 10.17513/use.38227
7. Сократов С.А. Численная реконструкция статистической модели для расчета дальности выброса снежной лавины // ГеоРиск. 2024. Т. 18. № 2. С. 8-19. DOI: 10.25296/1997-8669-2024-18-2-8-18
8. Справочник по опасным природным явлениям в республиках, краях и областях Российской Федерации. - СПб.: Гидрометеоздат, 1997.
9. Ткаченко Ю.Ю., Перов Е.А., Денисов В.И. Атлас опасных природных явлений Краснодарского края // Ростов-на-Дону - Таганрог, 2018. EDN: YTWUNF
10. Черноус П.А., Боброва Д.А. Ошибки оценивания лавинной опасности и морфометрия склонов // Экологические системы и приборы. 2024. № 8. С. 56-62. DOI: 10.25791/esip.8.2024.1467

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА УДАЛЕННОСТИ ОТ БЛИЖАЙШЕГО КАРСТОПРОЯВЛЕНИЯ ПРИ ИНЖЕНЕРНО-КАРСТОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЯХ

Т.Г. Ковалёва^{1,2}, М.Д. Торопов¹

¹ФГАОУВО «Пермский государственный национальный исследовательский университет»,
614068 г. Пермь, ул. Букирева, 15
E-mail: kovalevatg@mail.ru

² ООО «ПКИБЗ», 127018, г. Москва, ул. Суцёвский Вал, д. 5, с. 3

Карстовый процесс является одним из наиболее сложных и опасных геологических процессов, который оказывает значительное влияние на устойчивость зданий и сооружений во время эксплуатации. Прогнозирование процесса затруднено из-за случайного характера проявления процесса, как поверхностных (провалы, оседания), так и подземных форм (полости). Как правило, подземные карстовые формы остаются невыявленными до непосредственно момента обрушения массива грунта в образовавшуюся полость. Между тем нормативные документы, применяемые при инженерно-геологических изысканиях [7, 9], содержат несколько расхожие требования к оценке карстоопасности. Особую актуальность проблема приобретает при строительстве в регионах с широким распространением карстующихся пород, таких как Пермский край, где закарстованные участки распространены почти на трети площади региона [2,3].

Актуальность данного исследования обусловлена необходимостью совершенствования методов оценки карстоопасности при инженерных изысканиях для минимизации рисков и финансовых затрат при строительстве, а также эксплуатации объектов. В современных нормативных документах, касающихся оценки карстоопасности вскользь упоминается метод удаленности от ближайшего карстопроявления [п. 5.2.11 7, 5, 6], который незаслуженно ушел в тень в современных реалиях. Между тем, поверхностные и подземные карстовые формы имеют выраженную пространственную взаимосвязь, первые могут служить индикаторами внутренней закарстованности карстового массива. На одном из закарстованных, хорошо изученных карстологическим и инженерно-геологическим бурением участков Пермского края был проведен анализ взаимосвязи поверхностной и подземной закарстованности.

В административном отношении изучаемый участок находится на юге Пермского края Российской Федерации, на территории Чернушинского и Октябрьского административных районов.

Геологическое строение территории представлено преимущественно отложениями нижнего отдела пермской (P) системы, перекрытой четвертичными (Q) образованиями. В геолого-литологическом строении территории до исследуемой глубины 79,8 м принимают участие техногенные отложения (tQ), четвертичные современные отложения (solQIV), болотные (bQIV) и озерно-болотные (lbQVI) отложения, четвертичные аллювиальные (aQI-IV), делювиальные (dQI-IV), пролювиально-делювиальные (p-dQIII-IV), элювиальные отложения нижнего отдела пермской системы (eP₁) и породы нижнего отдела пермской системы (P₁).

Карстующиеся отложения представлены известняками и доломитами (карбонатные породы), гипсами и ангидритами (сульфатные породы). Вскрытая мощность карстующейся толщи варьируется от 2,0 до 51,4 м. Карбонатные породы вскрываются под толщей песчаников, суглинков и аргиллитов пермской системы, местами прослоями в толще сульфатных пород. В кровле слоя породы преимущественно сильнотрещиноватые, сильновыветрелые до состояния щебня. Сульфатные породы встречаются не повсеместно. Гипсы пониженной прочности, малопрочные и средней прочности вскрыты в кровле карстового массива. Ангидриты вскрываются под гипсами и дисперсными породами, прочные, средние и слаботрещиноватые

В гидрогеологическом отношении территория принадлежит к Восточно-Русскому артезианскому сложному бассейну (структура I порядка), Тулвинской группе бассейнов (структура II порядка), Бабкинско-Иренскому и Иренско-Сылвинскому бассейну (структура III порядка). Согласно гидрогеологической карте Пермского края, участок относится к двум гидрогеологическим областям: область карстовых вод Уфимского плато и камская область трещинно-грунтовых и трещинно-пла-

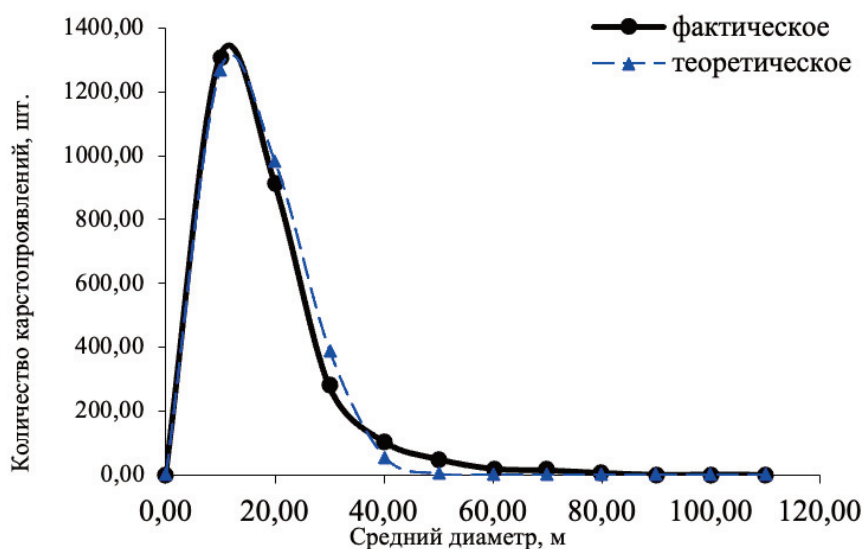


Рис. 1. Распределение карстовых форм по среднему диаметру

стовых вод линзовидных коллекторов. Гидрогеологические условия рассматриваемой территории, до исследуемой глубины 79,8 м, характеризуются наличием двух горизонтов подземных вод: четвертичный водоносный горизонт, водоносный горизонт нижнепермских отложений.

Рассматриваемый участок относится к территории сульфатного и карбонатно-сульфатного карста согласно карте распространения карста на территории Российской Федерации [рис. Б.5 8]. На территории развит покрытый тип карста согласно [7]. По карстологическому районированию К.А. Горбуновой [1] участок относится к Иренскому карстовому району и карстовому району Уфимского плато.

Оценка поверхностной закарстованности выполнена по результатам дешифрирования космоснимков, анализа топографических карт, ортофотопланов и маршрутных наблюдений (рекогносцировочное обследование). Для территории характерно развитие карстовых форм рельефа, выраженных воронками, округлыми заболоченными понижениями, карстовыми останцами и озерами. Всего на площади 388,0 км² было зафиксировано 2702 шт. поверхностных карстопроявления. Из выделенных карстовых форм 1850 шт. классифицированы как воронки, 840 шт. – понижения и 12 шт. – карстовые озера (рисунок 1).

Диаметры воронок изменяются от 0,5 до 94,5 м, в среднем составляют 11,4 м; условная глубина – от 0,2 до 20,0 м (среднее значение – 1,8 м). В морфологическом отношении большинство воронок эллипсовидные в плане, в профиле воронки преимущественно чашеобразные. Морфометрические показатели понижений следующие: диаметр – от 2,0 до 130,0 м (среднее значение 18,1 м), условная глубина – от 0,2 до 11,0 м (среднее значение 1,2 м). В профиле понижения преимущественно блюдцеобразные, в плане преимущественно эллипсовидные. Морфометрические показатели карстовых озер следующие: диаметр – от 6,0 до 70,0 м (среднее значение 27,0 м), условная глубина – от 0,7 до 6,0 м (среднее значение 1,5 м). В профиле карстовые озера преимущественно блюдцеобразные, в плане преимущественно эллипсовидные.

Подземная закарстованность массива пород оценена по данным анализа колонок скважин, пройденных по результатам карстологического и инженерно-геологического бурения на исследуемой территории, а также по данным видеокаротажа. Карстологические скважины расположены на каждом искусственном сооружении, а также для целей районирования на каждом геоморфологическом элементе, с учетом рельефа, гидрографии, геологического строения, характера выявленных тектонических структур, расположения зон гидрогеологических и геофизических аномалий, распространения проявлений карста, выявленных при маршрутных наблюдениях и геофизических исследованиях.

По данным анализа колонок скважин выделены интервалы глубин, в пределах которых обособляются ослабленные зоны (зоны дробления) коренных пород и карстовые полости. Глубинный карст, развитый в кровле и ниже поверхности коренных карстующихся пород, представлен незаполненными и заполненными карстовыми полостями, различной формы и размерами. Помимо собственно карстовых полостей, широкое развитие в массиве пород получили зоны дробления.

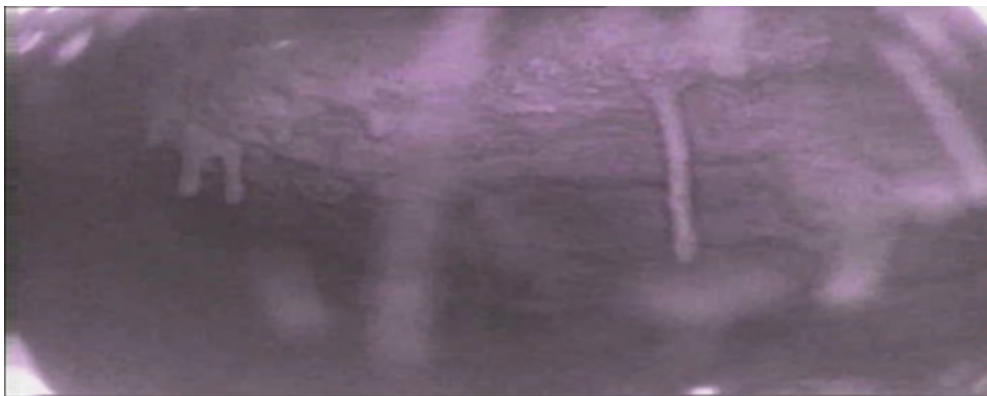


Рис. 2. Фото с боковой камеры при видеокаротаже в скважине

По данным инженерно-геологического и карстологического бурения на исследуемом участке вскрыты 61 карстовая полость, из которых 59 полостей являются незаполненными обводненными, а 2 полости заполнены глинистым материалом, и 136 зон дробления. Незаполненные карстовые полости характеризуются высотой от 0,1 до 6,8 м, со средней величиной 1,2 м. В разрезе приурочены к толще элювиальных грунтов, являющихся продуктом выветривания карбонатных пород, представленных связными дисперсными грунтами (суглинком, супесью) с включениями и прослоями карбонатов, дресвяно-щебенистым грунтом. Преимущественно полости приурочены к толще карстующихся отложений (известняки, доломиты, гипсы, ангидриты), а также к контакту карстующихся и элювиальных отложений и залегают на глубинах от 3,7 до 55,3 м. Карстовые полости, заполненные глиной, вскрыты в двух скважинах, характеризуются высотой 0,3 м и 3,0 м, залегают на глубине 12,3 м и 32,5 м, соответственно [3]. Зоны дробления в своем пространственном развитии совпадают с ареолами развития полостей, являясь индикаторами их наличия, представлены сильновыветрелыми, малопрочными и очень низкой прочности, с RQD менее 25% сульфатными и карбонатными породами, часто разрушенными до состояния суглинка («мука» гипса и ангидрита), дресвы и щебня. Мощность зон дробления варьируют от 0,2 до 27,8 м при среднем значении 3,8 м. Зоны дробления развиты в интервале глубин 0,2-79,0 м.

Видеокаротаж выполнен в 18 скважинах, обследовано 38 карстовых полостей из 61 встреченных. При исследовании в скважинах зафиксированы незаполненные карстовые полости, стенки ствола скважин частично кавернозные, трещиноватые, разрушенные. Карстовые полости несимметричной формы, ширина превышает высоту, вытянуты вдоль напластования слоя (рисунок 2).

В результате анализа поверхностной закарстованности были построены буферы удаленности от ближайшего поверхностного проявления карта (в 20 м, 50 м и 100 м от карстовой формы). Провал образуется вследствие выхода подземной карстовой полости на поверхность. Следуя логике методики удаленности, карстовые полости должны тяготеть к поверхностным карстовым формам [5, 6]. В связи с чем был проведен анализ выявленной подземной закарстованности и местоположения поверхностных карстовых форм, а также радиусов удаленности различных размеров. Для исследования были выделены скважины, которыми вскрыты карстующиеся отложения (75 штук, 38 из них были вскрыты карстовые полости).

В ходе анализа было установлено, что более половины встреченных карстовых полостей (72%) расположены в пределах буферов удаленности до 100 м (рисунок 3). Причем при дальнейшем анализе расстояний вскрытых карстовых полостей до ближайшей карстовой формы установлено, что 92% из них вскрыты на удалении до 300 м, и только 8% расположены на большем удалении.

Таким образом, анализ всех скважин, вскрывших карстующуюся толщу, подтвердил, что в буфере удаленности до 100 м карстовые полости встречаются чаще, чем вне этого буфера, соответственно, поверхностные формы являются индикаторами подземных карстовых форм. Карстопроявления имеют тенденцию группироваться и образовывать скопления, в связи с чем места возникших карстовых форм и прилегающие к ним участки, ограниченные буферами удаленности, являются потенциально более карстоопасными, нежели территории вне буфера. При этом максимальный буфер удаленности, вне которого карстоопасность снижается, для исследуемой территории составляет 300 м.

Необходимо отметить, что в практике карстологических исследований при применении метода удаленности часто зоны удаленности отождествляются с категориями устойчивости территории



Рис. 3. Распределение карстовых полостей относительно буферов удаленности от ближайшего поверхностного проявления карста

по интенсивности провалообразования, регламентированных [7]. Сама воронка при этом относится к I категории с интенсивностью провалообразования более 1 шт.*год/км² – это одна крайность. При натуральных наблюдениях не фиксировались случаи, чтобы каждый год на одном и том же месте фиксировались провалы. Вторая крайность – это то, что за крайним буфером образование провалов можно исключить. Определенное удаление от карстовой формы при правильно выполненном карстологическом районировании и наличии условий для протекания процесса не может служить основанием исключения провалообразования. В связи с чем отождествление буферов удаленности и категорий устойчивости относительно провалообразования является недопустимым.

Можно сделать вывод, что метод удаленности от ближайшего поверхностного проявления является эффективным инструментом для оценки карстоопасности и его следует применять в комплексе с традиционными методами при инженерно-геологических изысканиях на поздних этапах карстологического районирования. Также взаимосвязь поверхностных и подземных карстопоявлений имеет выраженную пространственную закономерность, что позволяет использовать поверхностные формы в качестве индикаторов подземной закарстованности, определения направления развития карстового процесса в пространстве, более детального оконтуривания участков развития активного карстового процесса. Кроме того, применения данного метода может оптимизировать необходимый и достаточный комплекс противокарстовых мероприятий для сооружений без глубоких фундаментов, с использованием конструктивной и геотехнической защиты только в пределах выбранного буфера, а не всего карстоопасного участка, и профилактических мер вне его, что в итоге снизит стоимость строительства крупных объектов.

Литература

1. Горбунова К.А., Андрейчук В.Н., Костарев В.П., Максимович Н.Г. Карст и пещеры Пермской области. Пермь, 1992. 200 с.
2. Катаев В.Н., Ковалёва Т.Г. Роль экспертной оценки в карстологическом прогнозе // *Фундаментальные исследования*. – 2013. – № 8 (часть 5). – стр. 1130-1135.
3. Ковалёва Т.Г., Селина З.В., Жильцова В.Ю. Применение метода удаленности от поверхностного карстопоявления при районировании территории по карстоопасности // *Геология и полезные ископаемые Западного Урала*. – 2024. – № 7(44). – С. 70-75.
4. Руководство по инженерно-геологическим изысканиям в районах развития карста. М. ПНИИС. 1995.

5. Саваренский И.А. Прогноз устойчивости территории методом удаленности от ближайшего проявления карста // Прогноз изменения инженерно-геологических условий при строительстве. Москва, 1990, с. 108-118.
6. Саваренский И.А., Миронов Н.А. Руководство по инженерно-геологическим изысканиям в районах развития карста. М., ПНИИС, 1995. 168 с.
7. СП 11-105-97 Инженерно-геологические изыскания для строительства. Ч. II. Правила производства работ в районах развития опасных геологических и инженерно-геологических процессов. М.: ПНИИС. 2001.
8. СП 115.13330.2016 Геофизика опасных природных воздействий. М.: Минстрой России, 2017.
9. СП 22.13330.2016 Основания зданий и сооружений (Изм. 4). М.: Минстрой, 2022.

О ПРОВАЛЕ НА ТЕРРИТОРИИ КОМПЛЕКСА ПЕРЕРАБОТКИ ОТХОДОВ (КПО) «ЮГ» НЕДАЛЕКО ОТ ГОРОДА КОЛОМНА МОСКОВСКОЙ ОБЛАСТИ

И.В. Козлякова, О.Н. Ерёмина, Е.Р. Романова

Институт геоэкологии им. Е.М.Сергеева РАН, 101000, Москва, Центр, Уланский пер., д.13
E-mail: ivk.geoenv@yandex.ru

Геологическое строение территории Московской области обуславливает возможность развития и проявлений на земной поверхности карстово-суффозионного процесса. Эти проявления в виде провалов и воронок оседания могут происходить в пределах территорий, где закарстованные известняки каменноугольного возраста залегают под четвертичными песчано-глинистыми отложениями или под маломощными глинами юрского возраста. Карстово-суффозионный процесс влияет на устойчивость территории и представляет опасность не только для зданий и сооружений, но и для полигонов захоронения твердых коммунальных отходов (ТКО). При этом следует учитывать, что полигоны ТКО в отличие от иных инженерных сооружений, представляют собой объекты повышенной экологической и геохимической опасности, несущие высокую угрозу загрязнения окружающей среды. Размещение таких объектов в районах, опасных в карстово-суффозионном отношении, многократно увеличивает эту угрозу. В качестве примера можно рассмотреть провал на территории КПО «Юг» Московской области (рис. 1).



Рис. 1. Провал на территории КПО Юг Московской области [4]

КПО «ЮГ» находится у впадения р. Северки в р. Москву, в 20 км севернее г. Коломны на второй надпойменной террасе. В середине июня 2024 года на этой территории произошел крупный провал непосредственно в теле полигона. Поскольку никаких очевидных техногенных причин этого происшествия не было установлено, можно предполагать, что провал – результат развития и проявления карстово-суффозионного процесса. По материалам Государственных геологических карт масштаба 1:200 000 [1,2,3] была изучена геоморфологическая и геолого-гидрогеологическая обстановка территории объекта отходов и ее окрестностей

В геологическом строении участка расположения полигона принимают участие отложения четвертичной, неогеновой, юрской и каменноугольной систем (рис. 2).

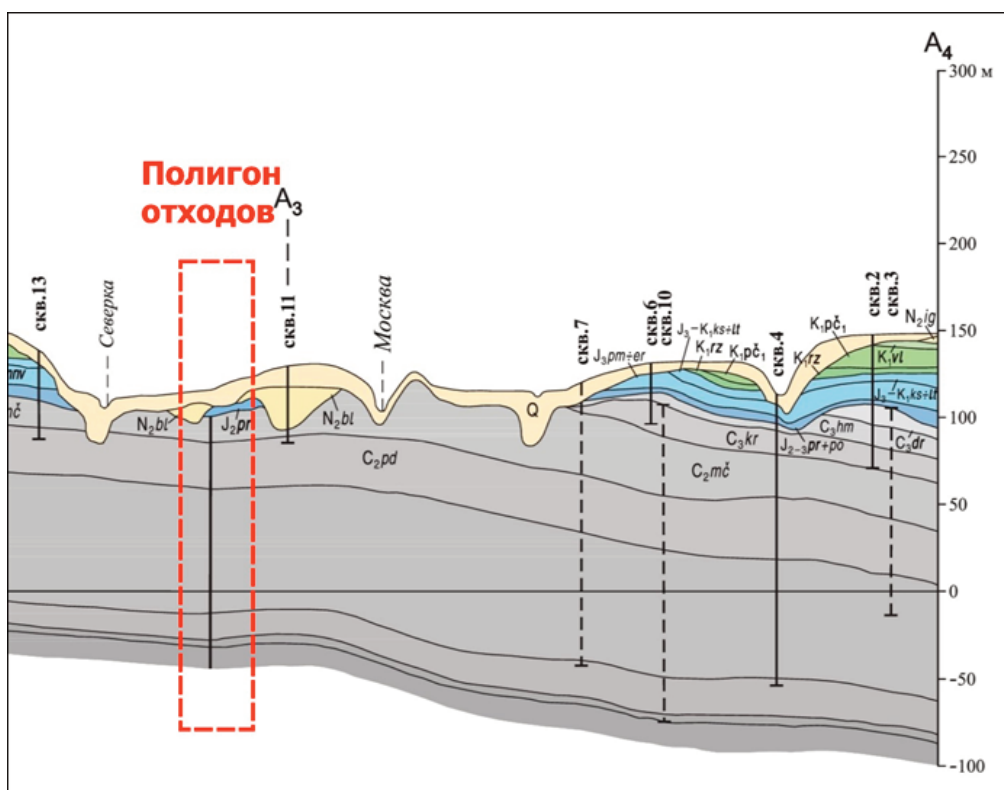


Рис. 2. Фрагмент геологического разреза по линии А1-А4. Лист N-37-IX (Коломна) [1]

Четвертичные отложения распространены повсеместно и представлены аллювиальными песками и суглинками мощностью 6-9 м. Отложения неогена распространены локально. Это пески с линзами глин белавинской свиты мощностью 12 м. Отложения юрской системы представлены глинами келловейского яруса, мощностью 0-6 м.

Ниже залегают известняки мячковского горизонта среднего отдела каменноугольной системы.

Подземные воды приурочены к песчано-глинистым отложениям четвертичного и неогенового возраста и известнякам каменноугольного возраста. На участках распространения юрских глин воды каменноугольного водоносного горизонта обладают напором [3].

На территории листа N-37-IX (Коломна) зафиксировано около 90 карстовых воронок. Наиболее крупная зона активного проявления карста выделена на лево- и правобережье р. Оки близ г. Озеры. Кроме того, выделяются мелкие участки с проявлением карста в долинах рек Москвы и Северки, на склонах долины р. Ситни, в районе деревень Мошоницы и Веневские дворики, у слияния рек Осетра и Осетрика и других местах. Образование карстовых форм связано с неглубоким (до 20-25 м) залеганием среднекаменноугольных карбонатных пород. Карстовые воронки имеют коническую форму с четко очерченной бровкой. Преобладают воронки диаметром 2-6 м и глубиной 2-3 м, самые крупные – глубиной 15 м и диаметром 50 м [2].

Зафиксированные карстовые воронки образовывались, как на участках отсутствия юрских глин, так и на участках их наличия. В междуречье рек Северки и Москвы отмечено 9 воронок, ближайшая к КПО «Юг» находится на расстоянии около 3 км и расположена в аналогичных геологических и гидрогеологических условиях (рис. 3).

Неглубокое залегание кровли закарстованных отложений среднего отдела каменноугольной системы (до 20 м), отсутствие либо маленькая мощность глинистых отложений юрской системы (до 6 м), наличие в непосредственной близости в аналогичной обстановке карстовых провалов позволяют сделать вывод о возможности происхождения провала в теле свалки на КПО Юг из-за развития карстово-суффозионного процесса.

Карстово-суффозионный провал на участке полигона отходов может иметь крайне негативные геоэкологические последствия. Это не просто нарушение устойчивости территории, а увеличение проницаемости массива в основании свалочного тела, вероятность беспрепятственного поступления свалочного фильтрата в каменноугольный водоносный горизонт и его интенсивное загрязнение.

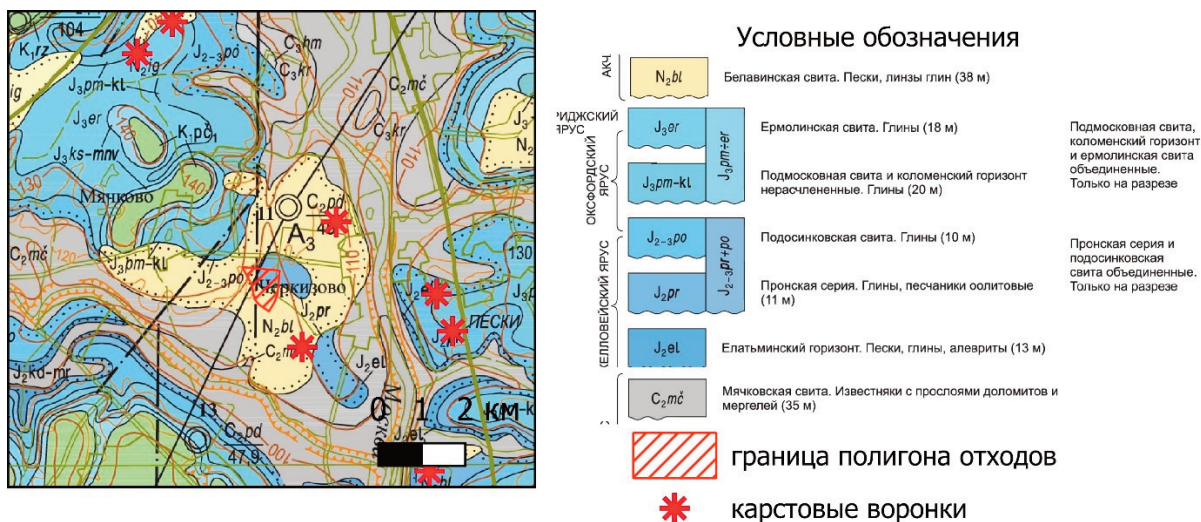


Рис. 3. Геологическая карта и карта полезных ископаемых дочетвертичных образований. Лист N-37-IX (Коломна) (карстовые воронки перенесены с карты четвертичных образований и полезных ископаемых)

Учитывая широкое распространение карстово-суффозионного процесса в пределах Восточно-Европейской равнины – густонаселенной территории с высокой степенью урбанизации и большим количеством объектов ТКО – необходимо уделять особое внимание проведению комплекса дополнительных инженерных изысканий для выявления возможных карстовых полостей под основанием существующего полигона и в его непосредственной близости. Эти исследования должны быть направлены на разработку специальных мер инженерной защиты полигона и обеспечение ее целостности для предотвращения загрязнения геологической среды свалочным фильтратом. При выборе места размещения новых полигонов ТКО в пределах карстово-опасных территорий требуется разработка специальной методики учета карстово-суффозионной опасности на разных этапах исследования.

Литература

1. Государственные геологические карты Российской Федерации масштаба 1:200 000 (лист N-37-IX, издание второе, Московская серия) 1998
2. Государственная геологическая карта Российской Федерации масштаба 1:200 000. Издание второе. Серия Московская. Лист N-37-IX (Коломна). Объяснительная записка. 2022
3. Государственная гидрогеологическая карта СССР (водоносные горизонты четвертичных и неогеновых отложений) масштаба 1:200 000 (лист N-37-IX (Кашира) 1981
4. <https://www.mk-mosobl.ru/social/2024/06/29/von-usililas-izza-provala-v-musornom-poligone-kolomenskogo.html?ysclid=m5wib3zb43607581533>

ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПОСЛЕДСТВИЯ ПАВОДКА В ЯЛТЕ КРЫМСКОЙ ЛЕТОМ 2021 ГОДА

Б.И. Корженевский, И.Ф. Ерыш

Институт геоэкологии им. Е.М. Сергеева РАН, 101000, г. Москва, Уланский пер., д. 13, с. 2, а/я 145
E-mail: 542609@list.ru

Ливневые осадки (около 80 мм менее чем за сутки в предгорной части и около 110 мм на горном плато – водосборной части рек), по интенсивности превышавшие литературные данные и данные структур Госкомгидромет, начиная с года формального начала существования города – с 1838 года, привели ко многим отрицательным последствиям, которые частично были описаны в [1]. Геологическое строение водосборных территорий, сопредельных рассматриваемым рекам Быстрая (Деревкойка) и Водопадная (Учан-Су) нами ранее представлялось [2]. Эти два водотока с конца XIX – начала XX века забраны в искусственные русла во избежание подтопления паводковыми водами вблизи расположенных объектов гражданского характера. За время существования высота искусственных бортов постепенно достигла и местами превысила 3 метра на р. Водопадная и 2,5 м на р. Быстрая. До 2021 года они со своими функциями – защитой сопредельных территорий от паводков в целом справлялись. Протяженность техногенно измененной части основных русел в нижнем течении составляет 1,2-2,5 км от устья.

При рассмотрении изменения ситуации после паводка в ряде случаев использовался энергетический подход [3,4], суть которого следующая: геологические тела обладают гравитационной энергией, определяемой весом тела; энергия связей определяет прочность этого тела; активационная энергия необходима для нарушения квазистационарного состояния элементами геологической среды; конечным пунктом перемещения геологического или природно-техногенного тела являются энергетическая ловушка и потенциальный барьер – природный или техногенный элемент рельефа, преодолеть который перемещающийся объект при существующих природно-техногенных условиях не может.

В среднем и верхнем течении обоих ялтинских водотоков во время описываемого паводка происходил селевой по [5] процесс, что достаточно хорошо определяется по следам соударений влекомого материала с деревьями, преимущественно хвойными (сосна Крымская – *Pinus nigra Pallasiana*), в некоторых пунктах повреждения коры было отмечено на высоте более трех метров относительно ложа водотоков. В целом общая тенденция развития селевого потока следующая: на более крутых участках – в зоне формирования селевых потоков с крутизной склонов 15° и выше, в поток вовлекались отложения терригенного флиша преимущественно дресвяной и щебнистой фракций в большей степени, в меньшей – щебнистой и валунной фракций известняков, а также маломощная толща дисперсной зоны коры выветривания и почв. Также в поток вовлекался природный мусор в виде веток, листьев, кустарниковой и древесной растительности, лесной подстилки; в зонах транзита на некоторых участках сужения русел происходило временное подпруживание потока попавшими в него стволами деревьев в совокупности с грунтовой компонентой. На одном из притоков реки Быстрая местные жители отметили несколько паводковых повышений уровня потока в течение нескольких часов, то есть скорее всего подпруживание водотока было кратковременным, а затем происходил прорыв; по мере попадания на более пологие участки – локальные зоны накопления – скорость течения резко падала, мощность потока (активационная энергия) уменьшалась и селевые накопления откладывались в виде полей. Мощность этих отложений местами достигала двух метров. Конечным пунктом перемещения (потенциальным барьером) для этих отложений явилось дно Ялтинской бухты, где эти отложения обрели генезис морских, начали переотлагаться посредством штормовых и техногенных воздействий и морских течений. Паводок и его последствия в техногенной части русел описывались ранее [1]. Наиболее информативные данные о селевых накоплениях приведены на рисунках 1а и 1б.

Отметим, что в техногенно измененную часть русел с уклоном менее 15 м на 1 км в большей степени попали отложения щебнистой и более мелких фракций, так как мощности потока для транспортировки крупных валунов и глыбовой фракции оказалось недостаточно. На этих участках



Рис. 1. Селевые отложения в русле р. Быстрая: а - стоянка старых троллейбусов, б - селевые накопления в пос. Васильевка. Общая высота беседки более 2 метров

во влекомые наносы попадало немало техногенного мусора в виде разрушенных бетонных сооружений, автомобилей, различной атрибутики строительства, автомобильных покрышек и др.

Оперативные решения по приведению города в состояния готовности к курортному сезону после паводка осуществляли городские структуры с помощью подразделений МЧС. Последующие действия по восстановлению разрушенных паводком гидротехнических сооружений (борта водотоков, уборка аллювиальных отложений из русловых частей рек и проч.) осуществлялись местными организациями. Реке Быстрая в отношении рекультивации «повезло» больше. Аллювиальные отложения, накопившиеся вследствие паводка, были изъяты из техногенно выполненных «карманов» достаточно аккуратно, искусственные борта водотока в техногенно измененной части русла не потеряли под собой аллювиальные отложения (потенциальный барьер), на которые они опирались с момента создания. То есть можно отметить, что при незначительном и корректном участии антропогенного (привнесе активационной энергии) фактора, река вернулась к квазистационарному режиму, при котором «карманы» постепенно заполняются аллювиальными отложениями, последние при соответствующем наполнении могут периодически удаляться.

Природно-техногенная часть реки Водопадная после ее «восстановления» можно отнести к существенно пострадавшей. Все последующие действия, направленные на восстановление этой природно-техногенной структуры, заставили авторов вспомнить системно-деятельностный подход, пропагандируемый в 80-90 гг. прошлого века в геологии, который рассматривал последовательные воздействия человека на природно-техногенные структуры и реакция этой структуры на воздействие (в нашем случае несвоевременного и иногда некомпетентного) и не получил дальнейшего широкого распространения.

Взаимодействия в рассматриваемой природно-техногенной системе – антропогенно измененной части русла следующие. В результате паводка незначительная часть искусственного борта реки, построенного и просуществовавшего более века, оказалась в подвешенном состоянии – потенциальный барьер – аллювиальные отложения, служившие основанием для искусственных бортов, был разрушен паводком со влекомыми наносами. Оперативного ремонта осуществлено не было и через несколько месяцев часть борта, протяжённостью около 30 м, потерявшая потенциальный барьер, обрушилась. Вскоре после обрушения были произведены восстановительные работы, техническая конструкция борта (стены) существенно отличалась от существовавших ранее более века бортов. Следующим этапом восстановления реки явилась операция по уборке накопившихся в результате паводка аллювиальных отложений. На большей части русла, которая была исполнена бетонным покрытием паводковые наносы убраны без отрицательных последствий. На некоторых участках с природным аллювием значительной мощности, русловые отложения по непонятной авторам причине были отобраны в количестве, обеспечивающем «подвешенное» состояние как снова созданных, так и ранее существовавших бортов водотока. Именно эта ситуация представлена на рисунке 2.



Рис. 2. Разрушение техногенно восстановленной части борта: а) частичное разрушение (в средней части) восстановленного «подвешенного» борта, лето 2022 г. б) разрушение просуществовавшего с начала прошлого века борта водотока, лето 2024 г.

На фотографии (а) видно начало разрушения вновь построенного борта, находящегося в подвешенном состоянии. В дальнейшем произошло «падение карточного домика», когда разрушение новой части борта привело к постепенному разрушению на протяженности около 100 м просуществовавшего более века и перенесшего все предыдущие природные аномалии, искусственного борта реки. В 2025 году осуществляется очередной этап антропогенных воздействий, связанных с восстановлением разрушенных из-за несвоевременного ремонта бортов. Эти работы привели к следующей геоэкологической ситуации. Работающие в русле на земляных работах технические средства сбросили в водоток (возможно произошла утечка) загрязняющие вещества, в результате этих действий на протяжении 600-700 м – до впадения в море погибла рыба. Материалы, связанные с этой ситуацией приведены в @chr_stimea от 2 августа 2025 г. В настоящее время работы по восстановлению бортов реки Водопадная продолжают.

Последовательность событий за 4 года после паводка в р. Водопадной с позиций изменения геоэкологической ситуации следующая:

- обрушение части борта в связи с разрушением потенциального барьера природным фактором – паводком и отсутствием своевременного ремонта;
- восстановление борта;
- обрушение восстановленной части борта вследствие техногенного фактора – уборки аллювиальных отложений на значительную глубину, повлекшей очередное уничтожение потенциального барьера;
- последующее прогрессивное разрушение бортов реки в связи с понижением энергии связей из-за разрушения части техногенной структуры;
- продолжение восстановления бортов реки с использованием технических средств, повлекшее гибель рыбы в связи с техногенной аварией (?);
- продолжение восстановления речных бортов (ноябрь 2025 г).

В заключении отметим следующее. Аномальный паводок летом 2021 года привел к нескольким разновидностям последствий, которые можно позиционировать в три различные категории: первая – собственно природные последствия – повлекшие транспорт значительных объёмов твердой компоненты с последующим переотложением и незначительным изменением профиля русел водотоков, активизация оползневой процесса по бортам водотоков, повреждение и уничтожение древесной и кустарниковой растительности; вторая – природно-техногенные последствия, вызвавшие нарушения и разрушения существующих природно-техногенных и техногенных конструкций – автотранспорта, коммуникаций, мостов, подтопление жилых и хозяйственных помещений и проч., третья – техногенно-природные последствия – различные виды хозяйственной деятельности, связанные с восстановле-

нием нарушенных объектов жизнедеятельности, приводившие как к положительным, так и отрицательным последствиям, повлекшим гибель биоты.

Литература

1. Корженевский Б. И. Паводок в Ялте летом 2021 года и последующая эволюция природно-техногенной части речных русел//*Экологические системы и приборы*. 2023. № 1. С. 36-42
2. Корженевский Б. И., Борисенко Л. С., Корженевский И. Б., Новик Н.Н Литологический контроль гравитационных процессов в горном Крыму//*Бюллетень Московского общества испытателей природы. Отдел геологический*. 1989, т.64, вып. 6. С. 98-109
3. Корженевский Б. И., Коломийцев Н.В., Толкачев Г. Ю. Энергетические характеристики для оценки геоэкологической безопасности при эксплуатации гидротехнических сооружений//*Природообустройство*. 2025, № 2. С. 105-111
4. Полунин Г. В. Экзогенные геологические процессы гумидной зоны умеренного климата (физические аспекты экзогенных процессов). М.: Наука. 1983. 347 с.
5. Флейшман С. М., Перов В. Ф. Сели. М.: МГУ, 1986. 127 с.

ВОЗМОЖНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПОКАЗАТЕЛЯ ИНТЕНСИВНОСТИ ПРОВАЛООБРАЗОВАНИЯ ДЛЯ ОЦЕНКИ ОПАСНОСТИ КАРСТОВО-СУФФОЗИОННЫХ ПРОЦЕССОВ

А.Д. Кочев

ООО «Институт Транспроектинжиниринг», г. Москва, Россия
E-mail: a.kochev@mail.ru

Оценка опасности развития карстово-суффозионных процессов (КСП) – актуальная и обязательная задача при проведении инженерно-геологических изысканий на закарстованных территориях. Образование провалов и воронок может приводить к деформациям зданий и сооружений и их последующему разрушению, иногда и к трагическим последствиям.

Проведение изысканий и оценки карстово-суффозионной опасности (КСО) регламентировано в разных нормативных документах, часть из которых находится в кардинальном противоречии. Подробный обзор и обстоятельный анализ основных нормативных технических документов, применяемых при исследовании закарстованных территорий в условиях текущего развития национальной системы стандартизации в строительстве, приведен в работе [2], поэтому нет смысла останавливаться на этом вопросе подробно.

В настоящей статье представлены лишь некоторые подходы в практике оценки карстовой опасности и исследовании связанных с карстом процессов деформации грунтовых массивов.

СП 11-105-97 [11] не является действующим нормативным документом, не включен в перечень стандартов и сводов правил, регламентированных требованиями Федерального закона от 30.12.2009 № 384-ФЗ «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений», согласно Постановлению Правительства России от 26.12.2014 № 1521, но, несмотря на это, широко используется изыскателями и экспертами (особенно по требованию Главгосэкспертизы), в частности, при оценке карстовой и карстово-суффозионной опасности. Для этого в качестве одного из основных показателей используют **интенсивность провалообразования λ** (среднегодовое количество провалов на 1 км² территории в год):

$$\lambda = N_{\text{пр}} / ST,$$

где $N_{\text{пр}}$ – количество провалов или воронок, S – оцениваемая площадь их распространения, T – временной период их образования. Согласно [10, п. 5.81–82] данный показатель должен определяться «по результатам систематической регистрации случаев образования провалов на определенной площади». При этом для достоверного определения показателей интенсивности провалообразования требуется достаточно большая продолжительность наблюдений (не менее 20 лет) и площадь наблюдаемого расчетного участка (не менее 5 км²). Выбор таких расчетных участков основан на районировании территории по условиям, характеру и степени развития карста. Каждый участок должен характеризоваться общностью условий, характера и степени развития карста [10, п. 5.85]. Важно отметить, что рассматриваются исключительно природные стохастические процессы. В случае техногенного воздействия на геологическую среду необходимо учитывать такое влияние при проведении расчетов и оценки опасности развития карста и КСП. Кроме того, необходимо проверять распределение значений параметров воронок и провалов – оно должно отвечать нормальному или логнормальному закону.

Для территории г. Москвы удалось доказать некорректность использования показателя λ [7, 8]; для оценки КСО традиционно пользуются «Инструкцией...» [3] и «Картой...» [4], а также СП 499.1325800.2021 [14] и СП 22.13330.2016 [12]. Несмотря на это, для столицы наблюдаются редкие, но настойчивые попытки навязать требования СП 11-105-97 [11] и СП 116.13330.2012 [13] для оценки КСО с использованием расчета параметра λ и методики расчета карстового пролета, которая во многом базируется на значениях показателя интенсивности провалообразования.

В статье рассмотрено, насколько справедливо показатель λ применяется в других регионах, например, в Нижегородской области, в г. Дзержинске (восточная промзона), где впервые было предложено и широко практиковалось его использование.

1. На изучаемой территории уже много лет отсутствует систематический карстологический мониторинг за развитием карста и связанных с ним деформаций с образованием провалов и воронок. По

мнению В.П. Хоменко, «отсутствие информации о точном месте и особенно о времени появления хотя бы одного провала может поставить под сомнение правомерность расчета интенсивности карстового провалообразования» [20]. Изыскательские организации пользуются старыми каталогами провалов и воронок, доступ к которым в настоящее время сильно ограничен. Оценка опасности карстового процесса и КСП проводится на основании ранее составленной карты районирования по интенсивности образования провалов и воронок масштаба 1:25 000 [5], объективность которой требует тщательного анализа.

2. Исследуемая территория характеризуется **многообразием механизмов** протекания процессов образования провалов и воронок, что необходимо учитывать при расчетах показателя λ [10]. Это обстоятельство **не учитывалось** при таких расчетах. Кроме того, отсутствует информация о полевых исследованиях, направленных на изучение подобных механизмов непосредственно на участках уже сформировавшихся воронок. Это является причиной отсутствия единого мнения среди специалистов о механизмах протекания КСП и других процессов, приводящих к деформациям грунтов.

3. Проблема использования показателя λ заключается в выборе площади участка для его расчета [20]. В работе [10] указано на необходимость районирования территории по условиям, характеру и степени развития карста, и только после этой процедуры можно приступать к оценке значений λ для выделенных районов (участков). Это обязательное условие не выполнялось. Для такого районирования необходимы комплексные инженерно-геологические исследования, результатов которых, скорее всего, хватило бы для оценки опасности развития КСП.

Часто выбираемая расчетная площадь соответствует территории, где зафиксированы провалы и воронки, но их дифференциации по механизму образования, геолого-гидрогеологическим условиям и т.п. не проводится. Иногда расчетные площади отвечают административным границам, что вообще противоречит вероятностной природе изучаемых явлений. Часто расчеты проводят по равномерной сетке без учета изменчивости инженерно-геологических условий [16]. «Нередко поступают крайне примитивно, принимая эту площадь равной площади существующего или проектируемого объекта...» [20].

4. На территории промзоны г. Дзержинска есть участки отсутствия провалов. В России изыскатели повсеместно сталкиваются с такой ситуацией.

Необходимость наличия некоторого минимального количества провалов и сведений об их размерах важно для многих задач, с которыми сталкиваются карстоведы при оценке КСО. С.В. Щербаковым и В.Н. Катаевым при оценке карстового риска указывалось, что при определении λ «необходимо устанавливать закон распределения провалов по диаметрам. Последнее условие практически невыполнимо при исследованиях в слабоизученных в карстовом отношении районах...» [21]. Для таких случаев рекомендуется использовать метод инженерно-геологических аналогий [10, 11]. Чтобы провести такие аналогии, необходимо детально изучить участок изысканий для его сравнительного анализа с не менее тщательно изученными участками, где корректно проведена оценка опасности развития КСП с использованием показателя интенсивности провалообразования. Но в этом случае напрашивается вопрос: зачем проводить их сравнение, если участок изысканий уже подробно изучен? Тогда и без этого можно провести достаточно объективную инженерно-геологическую оценку и дать прогноз опасности КСП. Также оценка λ на других участках не может быть принята как истина в последней инстанции. Применение дистанционных методов выявления провалов и воронок должно сопровождаться контрольным обследованием и проверкой генезиса (раскоп, бурение) зафиксированных понижений неясного происхождения. Часто такие формы могут быть связаны с техногенной суффозией или с подземными сооружениями, а иногда с воронками от снарядов времен Великой Отечественной войны. Подобный контроль практически никогда не выполняется. На практике изыскатели зачастую дают субъективную оценку при выборе категории опасности территории согласно СП 11-105-97 [11], основываясь лишь на своем опыте, знаниях, а главное, – на необходимости пройти процедуру экспертизы.

5. Важнейшей задачей является установление **генезиса** фиксируемых на поверхности земли **провалов и воронок**. На территории восточной промзоны г. Дзержинска ранее располагались населенные пункты (деревни, поселки) и, соответственно, после переселения людей сохранились колодцы, подвалы, погреба, на месте которых могут образовываться понижения в виде воронок и провалов. Известно, что на данной территории существовали небольшие песчаные карьеры для местных нужд [15], на месте которых наблюдаются понижения в виде мульд оседания. В связи с этим возникает необходимость установления точного генезиса воронок для выявления их связи с карстом. Для проведения таких специальных работ необходим комплекс инженерно-геологических

исследований [9], включающий раскоп воронок для исключения их связи с подземными коммуникациями и другими сооружениями, бурение карстологических скважин, геофизические, опытно-фильтрационные, палинологические (обнаружение спор и пыльцы в заполнителе карстовых полостей) и иные исследования. К сожалению, таких работ не проводилось.

6. **Природный показатель интенсивности провалообразования** согласно руководству [10] рассчитывается для территорий, **не подверженных техногенному воздействию**. В случаях, когда такое воздействие есть, необходимо учитывать техногенную нагрузку, что выполнить крайне сложно. Для этого, как минимум, нужно иметь результаты многолетних наблюдений за уровнем подземных вод, причем желательно с ежедневными замерами, а также информацию по всем значимым водозаборам, а именно, динамику их производительности. В отчете [16] указывается на то, что «важнейшим фактором современного проявления КСП на поверхности являются техногенные нагрузки». По результатам режимных наблюдений изменения уровней в трещинно-карстовом горизонте максимальная амплитуда зафиксирована в 1996-1997 гг. и составила 9 м. Следует отметить, что замеры уровней проводились от 1 до 3 раз в год, что крайне мало и недостаточно для выявления резких скачков, которые могут создавать «гидравлические удары» на подошву перекрывающих закарстованный массив глин, разрушать их и приводить к нарушению сплошности [6]. Площадь влияния крупного северного водозабора и других более мелких захватывает территорию восточной промзоны, что предопределяет необходимость учета такого воздействия. В отчете [16] при определении показателя λ «вводилась поправка (коэффициент возможной активизации карста) на приуроченность к геодинамически активной зоне и на наличие техногенного воздействия. Размеры коэффициента колебались от 1,2 до 1,92». При этом не объясняется, каким образом рассчитаны эти коэффициенты. Да, и возможно ли вообще их как-то рассчитать.

В СП 11-105-97 [11] нет указаний, как учитывать в таких случаях техногенное воздействие. Следует добавить, что в целом этот нормативный технический документ в отношении изучения карста и связанных с ним процессов основывается главным образом на руководстве [10], но при этом во многом игнорирует его методические рекомендации по применению показателя λ .

А.В. Аникеевым [1, гл. 6] приводится детальнейший анализ изменения гидродинамического режима Дзержинского района Нижегородской области и его влияния на прогноз провалообразования, в котором показана разница напоров между уровнями грунтовых и трещинно-карстовых вод, достигающая 25 м. Указывается на «неровный характер работы водозаборов». Такие амплитуды и скачки уровней не могут не влиять на активизацию развития КСП. В целом, отмечается, что изучаемые **провалы можно отнести к техногенным**. Таким образом, «природный» показатель интенсивности провалообразования во многом зависит от производительности и режима действующих водозаборов.

Заключение

На основании изложенного можно заключить, что территорий, на которых при проведении инженерно-геологических изысканий можно использовать природный показатель интенсивности провалообразования, практически не существует по тем или иным причинам. Это означает, что для подавляющей площади территории России применять для прогноза и оценки КСО показатель λ , а также проводить все расчеты на его основе (например, определение расчетного пролета карстового провала), **некорректно**. Такой подход можно назвать **геотехнократическим**, т.к. он «базируется на оценке поверхностного распределения карстовых форм без достаточного анализа их связи со строением массива горных пород» [22]. Тем не менее, данный показатель или плотность воронок и провалов целесообразно использовать при поиске закономерностей приуроченности участков активного развития КСП к определенным типам инженерно-геологических условий, когда детально изучаются геолого-гидрогеологические и гидродинамические условия, степень подземной закарстованности, трещиноватости, разрушенности пород, т.е. все значимые факторы и условия развития карста и КСП. Регламентировать же его для оценки и прогноза КСО в государственных стандартах преждевременно и необоснованно, а также это противоречит гл. 2, ст. 9 и гл. 3, ст. 15 «Технического регламента о безопасности зданий и сооружений» (с изм. на 2 июля 2013 г.) Федерального закона от 30.12.2009 г. № 384-ФЗ.

При разработке нового СП для закарстованных территорий рекомендуется обратить внимание на рассмотренные в данной работе **ограничения возможности использования показателя**, а также **учесть региональные особенности**, которые ранее были регламентированы в инструкции [3] и ТСН [17–19], дополнив их новыми значимыми данными и верифицированными современными разработками.

Литература

1. Аникеев А.В. Провалы и воронки оседания в карстовых районах: механизмы образования, прогноз и оценка риска. М.: Изд-во РУДН, 2017. 328 с.
2. Елкин В.А. Оценка карстовой опасности при инженерных изысканиях: обзор российских нормативных технических документов // Инженерные изыскания. 2018. Т. XII, № 11–12. С. 12–24.
3. Инструкция по проектированию зданий и сооружений в районах г. Москвы с проявлением карстово-суффозионных процессов. М.: Изд-во Мосгорисполкома, 1984. 14 с.
4. Карта опасности древних карстовых форм и современных карстово-суффозионных процессов. Масштаб 1:10 000. 2-я ред. М.: Изд-во ГУП «Мосгоргеотрест», ИГЭ РАН, 2012.
5. Карта районирования территории г. Дзержинска по карстоопасности для целей разработки генерального плана развития города. Масштаб 1:25 000. Дзержинск, 2000.
6. Кочев А.Д. Изучение механизма образования карстово-суффозионных воронок в г. Москве // Инженерная геология. 2021. Т. XVI, № 4. С. 34–45.
7. Кочев А.Д. Карстово-суффозионные воронки г. Москвы // Инженерные изыскания. 2023. Т. XVII, № 3. С. 8–20.
8. Кочев А.Д. Проблема использования вероятностных методов при оценке опасности карстово-суффозионных процессов и размеров воронок в Москве // Геоэкологические проблемы техногенного этапа истории Земли – 2023: сб. материалов Международной научно-практической конференции. М.: Изд-во МИСИ – МГСУ, 2023. С. 96–101.
9. Кочев А.Д., Чертков Л.Г., Зайонц И.Л., Афанасьев В.Ю. Методика и результаты комплексного изучения карстово-суффозионных процессов в г. Москве // Инженерная геология. 1989. № 6. С. 77–94.
10. Саваренский И.А., Миронов Н.А. Руководство по инженерно-геологическим изысканиям в районах развития карста. М.: Изд-во ПНИИИС, 1995. 167 с.
11. СП 11-105-97. Инженерные изыскания для строительства. Часть II. Правила производства работ в районах развития опасных геологических и инженерно-геологических процессов.
12. СП 22.13330.2016 «Основания зданий и сооружений. Актуализированная редакция СНиП 2.02.01-83*».
13. СП 116.13330.2012 «СНиП 22-02-2003 Инженерная защита территорий, зданий и сооружений от опасных геологических процессов. Основные положения».
14. СП 499.1325800.2021. Инженерная защита территорий, зданий и сооружений от карстово-суффозионных процессов. Правила проектирования.
15. Техническое заключение о степени закарстованности площадок, отведенных под строительство цехов производства этилена организации п/я 18 / ГорьковТИСИЗ. Горький, 1966. 17 с.
16. Толмачев В.В., Гантов Б.А., Иконников Л.Б. и др. Карстово-суффозионные процессы на территории г. Дзержинска Нижегородской области в 1999 году: информационный бюллетень. Дзержинск, 1999. 86 с.
17. ТСН 11-301-2004 Пк. Инженерно-геологические изыскания для строительства на закарстованных территориях Пермской области.
18. ТСН 22-308-98 НН. Инженерные изыскания, проектирование, строительство и эксплуатация зданий и сооружений на закарстованных территориях Нижегородской области.
19. ТСН 302-50-95 РБ. Инструкция по изысканиям, проектированию, строительству и эксплуатации зданий и сооружений на закарстованных территориях.
20. Хоменко В.П. Нормативная оценка карстовой опасности: кризисная ситуация // Геотехнические проблемы проектирования зданий и сооружений на карстоопасных территориях: материалы российской конференции с международным участием. Уфа, 2012. С. 240–245.
21. Щербаков С.В., Катаев В.Н. Алгоритм принятия проектных решений при строительном освоении закарстованных территорий // Экологическая безопасность и строительство в карстовых районах: материалы Международного симпозиума / Под ред. В.Н. Катаева, Д.Р. Золотарева, С.В. Щербакова, А.В. Шиловой. Пермь: Изд-во ПГНИУ, 2015. С. 214–222.
22. Щербаков С.В., Катаев В.Н. Интегральная оценка карстоопасности урбанизированных территорий (на примере г. Кунгур) // Ученые записки Казанского университета. 2011. Т. 153. С. 203–224.

ВОДОСНЕЖНЫЕ ПОТОКИ НА ЮЖНОМ СКЛОНЕ ЗАПАДНОГО КАВКАЗА

**И.В. Крыленко¹, Е.В. Дзагания², Л.М. Дзагания²,
В.И. Крыленко³, М.Ю. Дзагания⁴**

¹ Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова, Россия, Москва
E-mail: i-krylenko@yandex.ru

² Городская общественная организация «Сочинское географическое общество»,
Россия, Краснодарский край, г. Сочи
E-mail: krylenka@gmail.com, dzagluba@gmail.com

³ Институт водных проблем Российской академии наук, Россия, г. Москва
E-mail: krylenkovasiliy@gmail.com

⁴ Некоммерческое акционерное общество «Красная Поляна», Россия, Краснодарский край, Сочи, село Эсто-Садок
E-mail: ya-lesnoi2012@yandex.ru

Водоснежный селевой поток представляет собой природный процесс перемещения и отложения водным потоком значительных объемов снежных и снежно-ледовых масс в виде смеси комков и зерен снега с водой. Критерием различия между лавиной и водоснежным потоком является дальность выброса. Водоснежный поток характеризуется большей распластанностью и растеканием за счет большего содержания водной фазы, тогда, как для лавин из мокрого снега характерна остановка основной массы снега у подножия склона [1, 2, 3]. Отложения потока представляют собой плотный мокрый снег комковатой структуры или минерально-фирновую массу, почти лишенную снежных блоков и окатышей ненарушенного сложения, с включением растительных остатков и грунта. Содержание минерального грунта в виде щебня и крупных обломков в водоснежном потоке и его отложениях значительно меньше объема снежных масс и составляет до 10% объема. Очагами водоснежных потоков являются снежные массы лавин, снежных осовов и обвалов, которые достигают русел водотоков. Механизм зарождения водоснежных потоков также может быть связан с прорывом снежных плотин и ледниковых озер в руслах горных рек.

Водоснежные потоки являются подтипами обвально-оползневых и прорывных селевых потоков по генетической классификации [6], и, относятся к опасным природным процессам.

Божинским А. Н. были выполнены математическое, гидравлическое и натурное исследования двухслойной модели водоснежных потоков [1, 2]. Процесс рассматривался как меняющееся во времени и пространстве взаимодействие двух фаз, твердой и жидкой. Движение водоснежного селя условно разделено на 3 основные стадии. В момент зарождения селя, на 1-й стадии, попавший в воду пласт снега приводится в движение подстилающим слоем воды. Далее верхний слой водоснежной смеси начинает обгонять фронт нижнего слоя воды. В то же время нижний слой воды уменьшается за счет вовлечения снежной смеси и на 3-ей стадии движения истощается полностью в зоне торможения потока.

Наиболее изученными являются водоснежные потоки на острове Сахалин [3], где в южной части острова высока их повторяемость из-за частого чередования обильных снегопадов и оттепелей в холодный период года на крутых склонах морских террас. Также Божинским А. Н. и соавторами рассматривались региональные особенности формирования водоснежных потоков в горных массивах Хибин [1, 2]. Также имеются исследования прорывных селей ледникового генезиса Центрального, Восточного Кавказа и Таджикистана [8]. На южном склоне Западного Кавказа водоснежные потоки менее изучены [6, 7].

Территории горных районов малонаселены, и не всегда люди становятся свидетелями грандиозных природных процессов, происходящих в труднодоступной местности.

Тем не менее, в течение последних трех лет с 2023 по 2025 гг. случайным свидетелям удалось зафиксировать два водоснежных потока на южном склоне Главного Кавказского хребта.

Оба события произошли на расстоянии около 40 км от береговой линии Черного моря. Очаги находились на высотах более 2000 м над уровнем моря. Местоположение показано на обзорной схеме (рис.1).



Рис. 1. Обзорная схема местоположений наблюдений водоснежных селей: 1 – на северном склоне хребта Аибга; 2 – в районе горного массива горы Фишт. Использована спутниковая карта Google Earth Pro (дата обращения 15.11.2025 г.)

Природные условия на южном склоне Главного Кавказского хребта благоприятны для формирования селевых процессов: очень крутые уклоны водосборов и русел, наличие скоплений крупнообломочного материала

Первый случай схода водоснежного селя наблюдался вблизи санно-бобслейной трассы и горнолыжного комплекса «Альпика-Сервис» в районе поселка Красная Поляна Адлерского района городского округа Сочи 20.02.2023 г. на левом склоне долины северной экспозиции в бассейне реки Мзымта. Следует отметить, что сход снежного покрова на высотах более 1800 м в этом районе обычно происходит в середине апреля. Т. е. в данном случае очаг селя сформировался задолго до весеннего снеготаяния, в результате оттепели и сходов лавин в Шумихинском цирке.

Водоснежный сель был зафиксирован на видео [9] на ручье Шумихинский на высоте примерно 600 метров над уровнем моря, в 300 м от впадения в реку Ржаная (рис. 2).

Площадь водосбора к створу впадения в реку Ржаная составляет 2,9 км², длина – 4,2 км, средневзвешенный уклон русла – 396 промилле, средний уклон водосбора – 811 промилле, средняя высота водосбора – 1512 м. Водоток впадает в реку Ржаная (бассейн р. Мзымта) по правому берегу на высоте 590 м, в 350 м от устья. Площадь водосбора реки Ржаной – 6,3 км², длина – 7 км, средневзвешенный уклон русла 290 промилле. Бытовые расходы воды в зимний период составляют до 0,5 м³/с (рис. 2).

Отметка вершины Аибга (Пик Сочи-2014) по левому борту водораздела – 2375 м, восточнее, на водоразделе, над правым склоном долины возвышается пик высотой 2228 м. Рельеф в верхнем течении альпийский, сильно пересеченный, русло водопадное. Селевой очаг (как грунтовый, так и снежный) формируется в истоках водотока, в обширном Шумихинском цирке на высотах около 2000 м над уровнем моря, где происходит накопление селевого материала с прилегающих отвесных скал, окружающих цирк. Ручей Шумихинский является селеопасным со всеми сопутствующими признаками. По нему, до прохождения водоснежного селя, неоднократно сходили грязекаменные потоки.

Район относится к территориям с высокой лавинной опасностью. На северном подветренном склоне хребта Аибга, под действием ветров в холодный период года образуются мощные снеговые карнизы с толщиной снежного покрова до 8 м, обрушение которых при оттепелях происходит довольно часто. В Аибгинских цирках лавинными службами горнолыжных курортов производится



**Рис. 2. Слева: водоснежный селя на ручье Шумихинский снес коммуникации, 20.02.2023 г. Использована видеосъемка очевидцев из открытых источников [9]
Справа: русло р. Шумихинский в теплый период года. Фото Дзаганя Е.**

принудительный спуск лавин после обильных снегопадов. В русло ручья Шумихинский попадают значительные объемы снега. При морозах активизация водоснежных потоков не происходит. При резком потеплении до положительных температур водоснежные потоки становятся возможны и их количество может возрастать по мере усиления воздействия глобальных изменений климата и увеличения амплитуды колебаний зимних температур.

Водоснежный селя снес и сломал 70-ти метровую металлическую конструкцию перехода коммуникаций, протаскив ее около 400 м до моста через реку Ржаная, повредил мосты и снежную пушку. Водоснежная масса заполнила весь эрозионный врез водотока и вышла на пойму слоем до 1,5 м. Средняя ширина потока оценивается в 15 м, средняя глубина – 3,0 м, средняя скорость – около 2,0 м/с. Таким образом, приблизительный селевой расход водоснежного потока во 2-3 стадии развития двухфазного потока [2] составлял около 90 м³/с. Расчетный максимальный водный расход 1% обеспеченности при дождевых паводках в створе составляет 60 м³/с. По приблизительным оценкам, выполненный по геоморфологическим параметрам долины, расход водоснежного селя (не максимальный в паводке 08.02.2024 г.) в 1,5 раза превысил водный сток при дождевом паводке, возможном 1 раз в 100 лет.

Второй случай наблюдения водоснежного селя в исследуемом регионе произошло 8 апреля 2024 года в районе горного массива Фишт (рис. 3).



Рис. 3. Водоснежный селя на юго-западном склоне горы Фишт [10]

Формированию водоснежного селя на горном массиве и под ледником Фишт способствовали резкое потепление, таяние ледника, обильные снежные запасы, экспозиция склонов и рельеф местности. Скорее всего, на фоне резкого потепления и ясной солнечной погоды произошло интенсивное таяние ледника Фишт. Ледниковые воды увлекли за собой снежные массы, скопившиеся на плато Фишт, в том числе снежно-ледовые карнизы на краю отвесной скальной стены, обращенной в сторону Черного моря. Водоснежный поток обрушился с отвесного обрыва высотой более 200 м, увлекая за собой и каменные обломки. В данном случае сформировался снежно-водо-грязекаменный поток, создавший грандиозное зрелище, которое успели снять на видео туристы. При сравнительно небольшом водосборе, включая Фиштинский ледник (около 4 км²) образовался мощный селевой поток в виде водопада.

Этот снежно-водо-грязекаменный поток происходил на незаселенных территориях и ущерба населению и хозяйственным объектам не нанес.

Выводы

В условиях глобальных изменений климата [4, 5] ослабевает влияние теплых течений Атлантического океана на регион. Преобладающий широтный перенос воздушных масс сменяется меридиональным. При континентальном переносе, от полюсов к экватору и в обратном направлении увеличивается контрастность смены температур, вызывающая резкие колебания погоды с более интенсивными осадками и сильным ветром. При теплых атмосферных фронтах со стороны Черного моря происходит их более глубокое проникновение вглубь горных долин рек Западного Кавказа. Зона влияния оттепелей на активизацию лавинообразования и снеготаяния увеличивается и поднимается в горы. При расширении горных курортов Западного Кавказа возможен рост случаев воздействия водоснежных потоков на рекреационные объекты и инфраструктуру.

При планировании хозяйственной деятельности, в проектировании и изысканиях следует пересмотреть длительность селеопасного периода для горных районов, где в холодный период года возможно резкое повышение температур до положительных температур и сход водоснежных или ледниковых селей.

Благодарности

Обобщение результатов выполнялось И.В. Крыленко¹ в рамках НИР (ГЗ) «Эрозионно-русловые системы: гидрологический режим, природно-антропогенные трансформации и прогноз опасных проявлений», географический факультет МГУ (2026-2030 гг.).

Литература

1. Божинский А. Н., Водоснежные потоки Хибин / Божинский А. Н., Евтеев А. О., Мягков С. М. [и др.]; под редакцией Божинского А. Н., Мягкова С. М. М.: Географический факультет МГУ, 2001. 167 с.
2. Божинский А. Н., Разработка двухфазных моделей лавинных гравитационных потоков (снежные лавины, водоснежные и селевые потоки) / Информационный бюллетень РФФИ, 6, 1998.
3. Генсиоровский, Ю. В. Водоснежные потоки на юге острова Сахалин / Ю. В. Генсиоровский, Д. А. Боброва, С. П. Жируев // ГеоРиск. – 2015. – № 2. – С. 18-20. – EDN UBVJSZ.
4. Дзаганя, Е. В. Методика оценки селевой опасности на примере Западного Кавказа, Сочинский район / Е. В. Дзаганя, К. Г. Самаркин-Джарский, Л. М. Самаркина-Джарская // Селевые потоки: катастрофы, риск, прогноз, защита : Труды 7-й Международной конференции, Чэнду, Китай, 23–27 сентября 2024 года. – Москва: ООО «Геомаркетинг», 2024. – С. 104-114. – EDN ААЛЖОР.
5. Дзаганя, Л. М. Геоэкологические опасности, обусловленные климатическими изменениями в субтропическом поясе Кавказа / Л. М. Дзаганя, Е. В. Дзаганя // Сергеевские чтения. Региональная инженерная геология и геоэкология : материалы годичной сессии Научного совета РАН по проблемам геоэкологии, инженерной геологии и гидрогеологии, Дербент, 28–29 марта 2024 года. – Москва: Геоинфо, 2024. – С. 55-57. – EDN НКМНЕФ.

6. Перов, В. Ф. Селеведение : учебное пособие / В. Ф. Перов ; В. Ф. Перов ; Московский гос. ун-т им. М. В. Ломоносова, Географический фак. МГУ. – Москва : Географический фак. МГУ, 2012. – 271 с. – ISBN 978-5-89575-208-1. – EDN QKLBSX.
7. Шныпарков А. Л., Селевой риск на Черноморском побережье Кавказа / А. Л. Шныпарков, П. К. Колтерманн, Ю. Г. Селиверстов [и др.] // Вестник Московского университета. Серия 5: География. – 2013. – № 3. – С. 42-48. – EDN RCKMIF.
8. Юдина В. А., Моделирование прорыва озера Бирджал-Чиран-2006-5 в 2006 году на северо-восточном склоне г. Эльбрус / В. А. Юдина, В. М. Кидяева, С. С. Черноморец, И. В. Крыленко // Пятые Виноградовские чтения. Гидрология в эпоху перемен : Сборник докладов международной научной конференции памяти выдающегося русского ученого Юрия Борисовича Виноградова, Санкт-Петербург, 05–14 октября 2023 года. – Санкт-Петербург: ООО «Издательство ВВМ», 2023. – С. 724-727. – EDN GOLALA.
9. Интернет источник: University Life. Сочинская лавина. Снежный сель сошел на Красной поляне. Жесть. <https://smotrim.ru/video/2567962>
10. Интернет-источник: Многоцветный мир. С горы Фишт сошла мощнейшая лавина. <https://rutube.ru/video/person/64387307/>

ОЦЕНКА УЯЗВИМОСТИ ГОРНЫХ ЛАНДШАФТОВ К МЕХАНИЧЕСКИМ ВОЗДЕЙСТВИЯМ В УСЛОВИЯХ КЛИМАТИЧЕСКИХ ИЗМЕНЕНИЙ (НА ПРИМЕРЕ ХИБИН)

И.С. Кузьмичев¹, А.А. Медведков^{1,2}

¹ Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, г. Москва, Россия

² Институт географии Российской академии наук, г. Москва, Россия
E-mail: pilot238@mail.ru, a-medvedkov@bk.ru

Введение

Ландшафты Хибин, подвергающиеся значительной рекреационной нагрузке^{1,2}, характеризуются повышенной уязвимостью к механическим воздействиям. Это обусловлено природно-географической спецификой территории – её высоким денудационным потенциалом в связи со значительной крутизной горных склонов, мощным чехлом рыхлых отложений и высокой активностью перигляциальных процессов [2, 3, 9], а также пониженной способностью фитомассы к её воспроизводству после антропогенного воздействия [8, 10].

Авторами был разработан, затем – апробирован в сложных природно-географических условиях [5, 6], в том числе в Хибинах, новый подход к оценке уязвимости природных комплексов к рекреационным нагрузкам. В рамках оценки учитываются особенности как морфолитогенной основы, так и почвенно-растительного покрова, а также межкомпонентные связи между этими составляющими (рис. 1). Хорошо известно, что чрезмерная рекреационная нагрузка способна вызвать негативные изменения в природной среде: разрушение напочвенного покрова и нарушение целостности почвогрунтов, как следствие, активизацию экзогенных процессов [5, 6], что выводит природный комплекс из устойчивого состояния и



Рис. 1. Авторская концепция оценки уязвимости ландшафтов к рекреационным нагрузкам

¹ Впереди планеты всей. Кировск победил в Национальной гостиничной премии. Комсомольская правда [Электронный источник]. URL: <https://www.murmansk.kp.ru/daily/27749/5178358/> (Дата обращения: 06.12.25)

² Лучший город для ведения гостиничного бизнеса (население до 100 тыс.). Национальная гостиничная премия [Электронный источник]. URL: <https://hotelawards.ru/hotels/kirowsk-murmanskoj-oblasti/luchshiy-gorod-dlya-wedeniya-gostinichnogo-biznesa> (Дата обращения: 06.12.25)

снижает его привлекательность. Вместе с этим следует отметить, что региональные климатические изменения также могут способствовать активизации экзогенных процессов в ландшафтах [7], поэтому необходимо учитывать и климатические тренды в ходе данной оценки. Представляется, что уязвимость ландшафтов к механическим воздействиям – это категория динамичная, поэтому учёт фактора климатических изменений позволит получить более объективные результаты, имеющие значение для прогнозирования изменения уязвимости природных комплексов к механическим воздействиям.

Результаты исследования

При анализе ряда данных с ближайшей метеостанции г. Апатиты были выявлены следующие тренды климатических изменений: увеличение среднегодовых температур воздуха в период с 1981 по 2020 гг. (рис. 2), рост количества осадков (в первую очередь, ливневых) за период с 1966 по 2019 гг. (рис. 3) и учащение переходов температуры воздуха через 0°C за период с 2010 по 2020 гг. (рис. 4). Из-за недостаточной полноты данных метеостанции г. Апатиты эти же характеристики были проанализированы для метеостанции Мурмаши (г. Мурманск), для которой информация более полная, в результате были получены сходные результаты. Корреляция анализируемых значений (динамика среднегодовых температур воздуха; динамика среднегодовых значений осадков) по коэффициенту Пирсона составила 0,72 и 0,76 соответственно, поэтому дополнение недостающей информации для метеостанции в г. Апатиты правомерно.

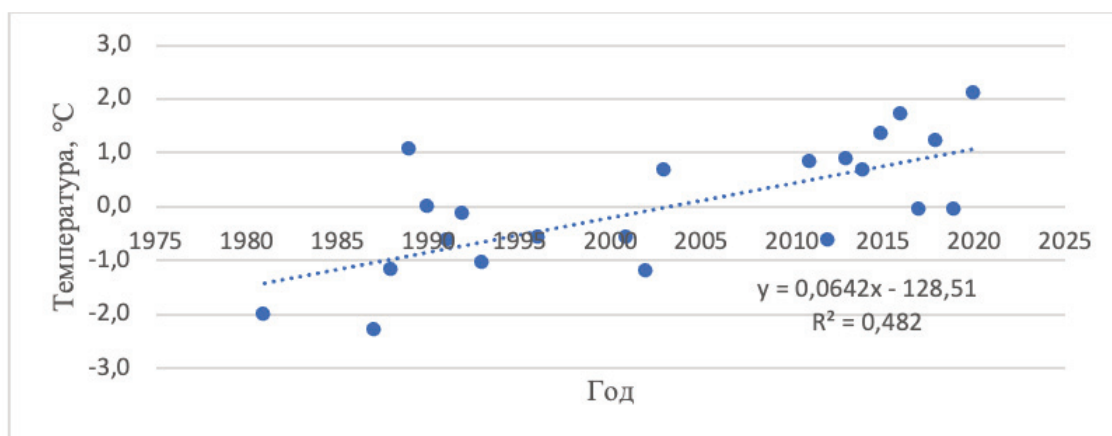


Рис. 2. Динамика хода среднегодовых температур в г. Апатиты за период с 1981 по 2020 гг. Составлено по данным: ³

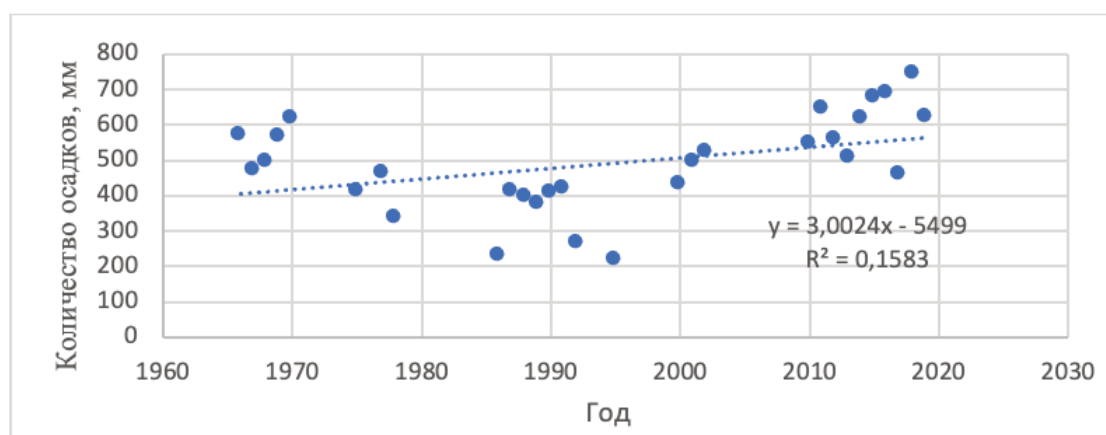


Рис. 3. Динамика количества осадков в г. Апатиты за период 1966 – 2019 гг. Составлено по данным: ⁴

³ Среднемесячные и годовые температуры воздуха в Апатитах. Погода в Апатитах. Погода и климат [Электронный ресурс]. URL: <http://www.pogodaiklimat.ru/history/22213.htm> (дата обращения: 05.06.2021)

⁴ Месячные и годовые суммы выпавших в Апатитах. Погода в Апатитах. Погода и климат [Электронный ресурс]. URL: http://www.pogodaiklimat.ru/history/22213_2.htm (дата обращения: 05.06.2021)

Сохранение тренда на увеличение среднегодовых осадков (рис. 3) может способствовать росту активности экзогенных процессов (в особенности – линейной и плоскостной эрозии, а также оплывин и селей), так как вода является одним из основных агентов денудации и переноса вещества на более низкие гипсометрические уровни. При этом, дополнительно было выявлено, что в период с мая по сентябрь, когда в Хибинах фиксируются положительные среднесуточные температуры, увеличивается количество дней с ливневыми осадками, что также предполагает рост денудационного потенциала ландшафтов, особенно в условиях растущего механического воздействия на почвенно-растительный покров.

Зафиксированная тенденция роста среднегодовых температур воздуха (рис. 2), обусловленная в первую очередь уменьшением продолжительности периода с отрицательными температурами (периода «покоя» для ландшафта), а также увеличением частоты оттепелей, указывает на формирование условий, благоприятствующих активизации денудации за счет увеличения периода для интенсивного развития экзогенных процессов.

Однако важно отметить, что рост среднегодовых температур воздуха будет способствовать увеличению продолжительности безморозного периода. Такие условия благоприятствуют воспроизводству фитомассы [1, 4]. Так, по данным ряда исследований [9, 13], с начала XX в. в Хибинах произошёл подъём верхней границы древесной растительности (от 35 до 107 м, в среднем – на 88 м). Увеличение общей фитомассы и, в частности, проективного покрытия напочвенного покрова, будет способствовать росту противоденудационной функции растительности, в результате чего будет уменьшаться объем свободной энергии в ландшафте, что будет ослаблять денудацию [2, 4]. Это обстоятельство может способствовать уменьшению уязвимости природных комплексов к рекреационной нагрузке.

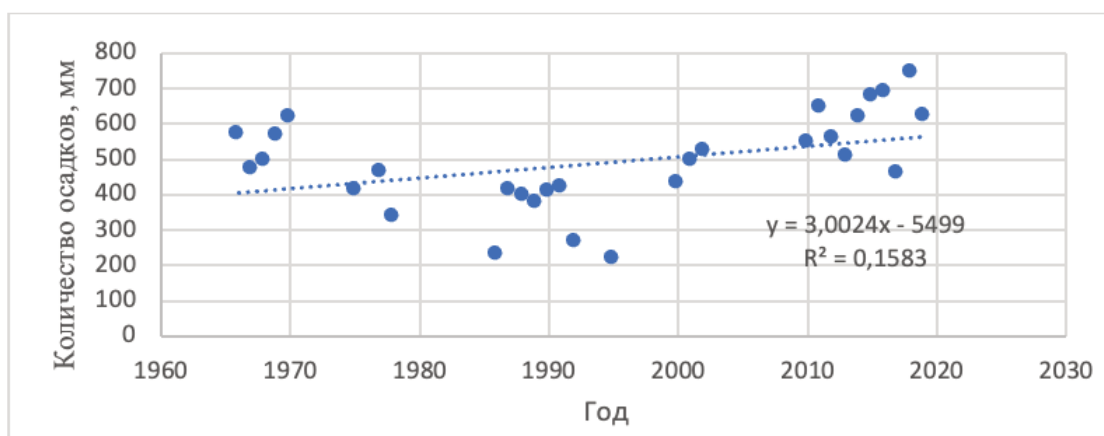


Рис. 4. Динамика количества переходов температуры воздуха через 0 °С по данным метеостанции в г. Апатиты за 2010-2020 гг. Составлено по данным: ⁵

5

В период с 2010 по 2020 гг. отмечается рост частоты переходов температур через 0 °С (рис. 4). Эта тенденция во многом определяет условия для развития физического выветривания, в особенности в перигляциальных условиях, и, как следствие, способствует активности экзогенных процессов. Таким образом, наблюдаемая на рис. 4 динамика указывает на то, что условия для активизации денудации становятся более благоприятными – в особенности для массового смещения обломочного чехла на склоновых поверхностях.

Заключение

Таким образом, климатические изменения в краткосрочной (в ближайшие 10 лет) и среднесрочной (в ближайшие 10-30 лет) перспективе будут способствовать росту денудационного потенциала горной территории. Это обусловлено возрастанием общего количества атмосферных осадков и их

⁵ Среднемесячные и годовые температуры воздуха в Апатитах. Погода в Апатитах. Погода и климат [Электронный ресурс]. URL: <http://www.pogodaiklimat.ru/history/22213.htm> (дата обращения: 05.06.2021)

интенсивности, уменьшением периода зимнего «покоя» и увеличением количества оттепелей, а также учащением переходов температуры воздуха через 0°C. Эти изменения способны интенсифицировать процессы массового смещения обломочного чехла (медленная и быстрая солифлюкции, оплывины и оползни), плоскостного смыва и линейной эрозии, селей и водоснежных потоков [11], обвалов и осыпей, лавин [12] и т.д. Следовательно, можно заключить, что, если климатические тренды сохранятся, то в ближайшей перспективе это приведет к увеличению уязвимости ландшафтов к антропогенным воздействиям. А в связи с увеличением опасности развития неблагоприятных процессов – селей и водоснежных потоков, осыпей и обвалов, лавин, необходимо рассмотреть рекомендации и мероприятия, направленные на повышение безопасности туристов. Вместе с этим, климатические изменения в средне- и долгосрочной перспективе будут благоприятствовать восстановлению нарушенного растительного покрова, но в наиболее сложных морфометрических условиях этот тренд может быть нивелирован. Следовательно, при оценке уязвимости горных ландшафтов и разработке природоохранных рекомендаций, необходимо учитывать региональные климатические тренды, что особенно актуально для перигляциальных условий.

Литература

1. Высоцкая А.А., Медведков А.А. Климатогенные изменения ландшафтов курумов на западе Среднесибирского плоскогорья в зональных условиях средней тайги // Вестник Московского университета. Серия: География. 2024. Т. 79. № 4. С. 17-29.
2. Горшков С.П. Прогнозирование риска освоения природной среды (на примере Красноярского края) / Современные изменения в литосфере под влиянием природных и антропогенных факторов. Под редакцией В.И. Осипова. М.: Недра, 1996. С. 141-144.
3. Евзеров В.Я. Геология четвертичных отложений Кольского региона. Мурманск: МГТУ, 2016. 210 с.
4. Исаченко А.Г. Введение в экологическую географию. СПб.: С.-Петербург. ун-т. 2003. 191 с.
5. Кузьмичев И. С., Медведков А.А. Уязвимость вулканических ландшафтов к рекреационной нагрузке (на примере вулкана Горельй) / Вулканизм и связанные с ним процессы: Материалы XXVIII Всероссийской научной конференции, посвященной Дню вулканолога. Петропавловск Камчатский: ИВиС ДВО РАН. 2025. С. 370-373.
6. Кузьмичев И. С. Опыт оценки уязвимости ландшафтов к механическим воздействиям на крупномасштабном уровне в юго-западной части Хибин / География в условиях планетарных перемен – вызовы и решения: Материалы XVII Всероссийской молодежной научной школы-конференции «Меридиан». М.: ИГРАН. 2025. С. 36–37.
7. Медведков А.А. Климатогенная динамика ландшафтов сибирской тайги в бассейне Среднего Енисея // География и природные ресурсы. 2018. № 4. С. 122-129.
8. Мишкин Б.А. Флора Хибинских гор, ее анализ и история. М. – Л.: АН СССР, 1953. 108 с.
9. Моисеев П. А., Галимова А. А., Бубнов М. О., Дэви Н. М., Фомин В. В. Динамика древостоев и их продуктивности на верхней границе произрастания в Хибинах на фоне современных изменений климата // Экология. 2019. № 5. С. 341-355.
10. Природные условия Хибинского учебного полигона. Учебное пособие по практикам студентов-географов в Хибинах. Под ред. С.М. Мяжкова. М.: МГУ, 1986. 168 с.
11. Романенко Ф. А., Шиловцева О. А. Геоморфологические процессы в горах Кольского полуострова и изменения климата // Вестник Московского университета. Серия 5: География. 2016. № 6. С. 78 – 86.
12. Трошкина Е. С., Селиверстов Ю. Г., Мокров Е. Г., Сапунов В. Н., Черноус П. А., Соловьев А. Ю. Влияние изменения климатических условий на нивально-гляциальные процессы в Хибинах // Вестник Московского университета. Серия 5: География. 2009. № 2. С. 26 – 31.
13. Krasovskaya T.M, Kislov A.V. Tree-line response to climatic changes and technogenic impact in the Kola Subarctic // Subarctic Geooko. 2003. № 24. Pp. 311-319.

РЕАКЦИЯ СОДЕРЖАНИЯ РАДОНА В ПОДВАЛЕ ЗДАНИЯ В ЗОНЕ АКТИВНОГО РАЗЛОМА НА ОТДАЛЁННЫЕ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ

П.С. Микляев¹, Т.Б. Петрова², А.С. Торопов², Е.И. Кайгородов^{1, 3},
А.П. Кулаков¹, Т.В. Суханова⁴

¹ Институт геоэкологии им. Е.М. Сергеева РАН, Уланский пер., 13, с. 2, Москва, 101000, Россия

² Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, химический факультет, кафедра радиохимии, Ленинские горы, 1, с. 3, ГСП-1, Москва, 119991, Россия

³ ФГУП НТЦ РХБГ ФМБА России, Москва, Россия

⁴ Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, геологический факультет, Ленинские горы, 1, с. 3, ГСП-1, Москва, 119991, Россия

Радон (^{222}Rn) – природный радиоактивный газ, постоянно образуется в литосфере за счет радиоактивного распада радия-226 (ряд радиоактивного распада ^{238}U) и способен проникать в здания и накапливаться там в концентрациях, опасных для здоровья человека. Облучение радоном обуславливает более половины годовой дозы населения от всех природных источников излучения [4]. Во всем мире изучаются закономерности поступления радона из грунтов в здания и факторы, оказывающие влияние на содержание радона в домах [4]. Особенно высокое содержание радона часто регистрируется в зданиях, построенных у подножия гор с подрезкой склонов, особенно если при строительстве были вскрыты проницаемые зоны в грунтовом массиве откуда происходит интенсивное поступление радона в здание за счет конвекции. В этом случае, как правило, фиксируются мощные сезонные колебания содержания радона в помещениях с максимумами летом и минимумами зимой. Наиболее важные факторы, влияющие на динамику выделения радона из геологической среды в помещения, следующие: метеорологические (температура воздуха снаружи и в помещении, давление, ветер и т.п.), гидрогеологические (динамика уровня грунтовых вод и содержание радона в подземных водах), сейсмологические (измерения напряженного состояния земной коры, в том числе при подготовке и реализации землетрясений) и антропогенные факторы (конструкция зданий и особенности их эксплуатации). К настоящему времени накоплено множество свидетельств влияния сейсмической активности на колебания содержания радона в подпочвенном воздухе и в зданиях [1, 3], что определяет возможность его использования, как одного из предвестников землетрясений. Вместе с тем реакция радонового поля на подготовку и реализацию землетрясений слишком разнородна, что пока не позволяет четко определить прогностические свойства радона. В данной работе представлены результаты непрерывного радонового мониторинга в подвале дома, расположенного в зоне активного разлома у подножия склона Белокурихинского гранитного массива (г. Белокуриха Алтайского края), где по результатам предварительных исследований были зарегистрированы аномально высокие значения объемной активности (ОА) радона, составляющие от 1100 до 2340 Бк/м³.

Исследуемая территория расположена на сочленении структур Западно-Сибирской плиты и Алтайской горно-складчатой системы, разделяемых выраженным региональным тектоническим уступом – Северным фасом Алтая. В районе исследований тектонический уступ представляет собой активный в новейшее время Белокурихинский надвиг [2]. Это обуславливает высокую плотность разрывных нарушений в исследуемом районе. Исследуемый дом расположен в узкой долине, образованной небольшим ручьем Сосновым (левый приток ручья Татарского недалеко от впадения последнего в р. Белокуриха). Долина р. Белокуриха в данном районе совпадает с крупной разломной зоной, к которой приурочено Белокурихинское месторождение термальных радоновых вод. Долины более мелких ручьев, включая руч. Сосновый, приурочены, по-видимому, к тектоническим нарушениям, оперяющим главный разлом, о чем свидетельствует специфический состав микроэлементов в воде данного ручья. Недалеко от исследуемого дома на склонах горного массива в одном из обнажений, образовавшихся при подрезке склона в ходе строительства, обнаружена четко выраженная зона дробления, заполненная дресвой и щебнем, в пределах которой зарегистрированы аномально высокие значения плотности потока радона с поверхности грунта

(1130-2930 мБк/м²с) при фоновых значениях в данном районе 20-200 мБк/м²с. Белокурихинский массив на участке исследований представлен биотитовыми порфиоровидными гранитами. Частный дом, в подвале которого проводились измерения, врезан в склон. Подвал граничит с грунтом по поверхности пола и по задней и боковым стенам, стыки между плитами не герметичные. Помещение не отапливается, в течение лета температура колеблется от +14 до +17°C, в течение зимы, в среднем, +4°C.

Годовой мониторинг ОА радона проводился в период с 1 сентября 2024 по 1 сентября 2025 г. с помощью радонового монитора «Radon Eye» (Корея) на основе ионизационной камеры, который регистрирует объемную активность радона в воздухе с частотой 1 раз в час и автоматически записывает в память прибора. Длительность мониторинга составила ровно 1 год (8760 часов). Погрешность измерения не более 10%, диапазон измерения ОА радона от 1 до 3700 Бк/м³. Прибор не внесен в реестр средств измерений, однако, неоднократные калибровки и сличения с аттестованной профессиональной аппаратурой показали, что он надежен, обладает необходимыми метрологическими качествами и может быть применен как в научных целях, так и для профессиональных измерений [5].

Результаты мониторинга приведены на рис. 1. Как видно из рисунка, объемная активность радона испытывает существенные временные колебания сезонного характера. В холодный период ОА радона снижается и колеблется неритмично преимущественно в диапазоне 300 - 900 Бк/м³ (в среднем 595 Бк/м³). В теплый период объемная активность радона и амплитуда временных колебаний резко увеличиваются, при этом четко проявлен суточный и 4-6-дневный ритмы. Среднее значение ОА радона за теплое время составило 1660 Бк/м³, а максимальные превышают верхний предел измерения прибора (3700 Бк/м³).

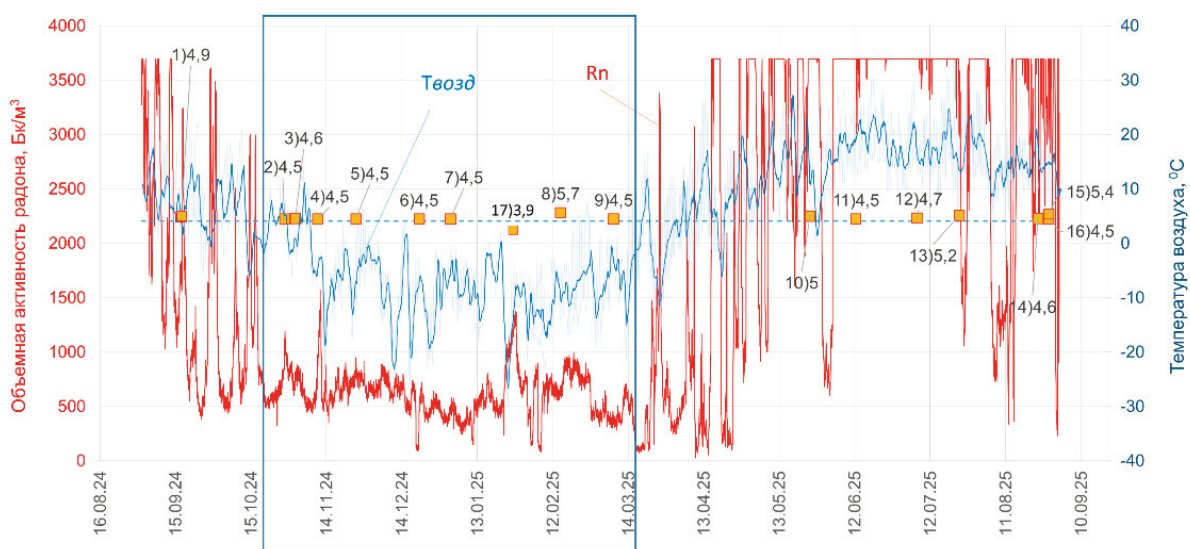


Рис. 1. Результаты годового мониторинга объемной активности радона (1.09.2024 – 1.09.2025) в доме г. Белокуриха. Пунктиром обозначена среднегодовая температура воздуха в регионе (4°C), квадратными знаками – даты землетрясений (M>3,5) в радиусе 1000 км вокруг г. Белокурихи, цифрами их номер на карте (см. рис. 3) и магнитуда. В рамке зимний период, показанный подробнее на рис. 2

Как видно из рисунка, резкое снижение ОА радона осенью и существенный рост весной происходят, когда температура воздуха переходит через пороговое значение +4°C, соответствующее среднегодовой температуре воздуха в данном регионе (метеопараметры взяты по данным сайта gr5.ru, метеостанция в г. Горно-Алтайске). Аналогичные мощные сезонные колебания содержания радона в зданиях, расположенных у основания склонов были отмечены и другими авторами в разных климатических и геологических условиях [6-8]. Эти колебания, по нашему мнению, связаны с конвективной термоиндуцированной циркуляцией атмосферного воздуха в горном массиве, в результате чего в летнее время холодный воздух в проницаемых зонах горного массива опускается вниз и поступает в здания, построенные у подножия склонов, особенно, если здание подрезает склон, вскрывая проницаемую зону. Таким образом, высокие значения ОА радона в исследуемом помещении в летний период можно объяснить поступлением радона в здание через неплотные стыки в конструкциях из грунтового массива, скорее всего, из зоны дробления, связанной с активным Белокурихинским раз-

ломом. Зимой, когда температура воздуха становится ниже температуры горного массива, конвекция прекращается, что приводит к существенному снижению поступления радона в здание.

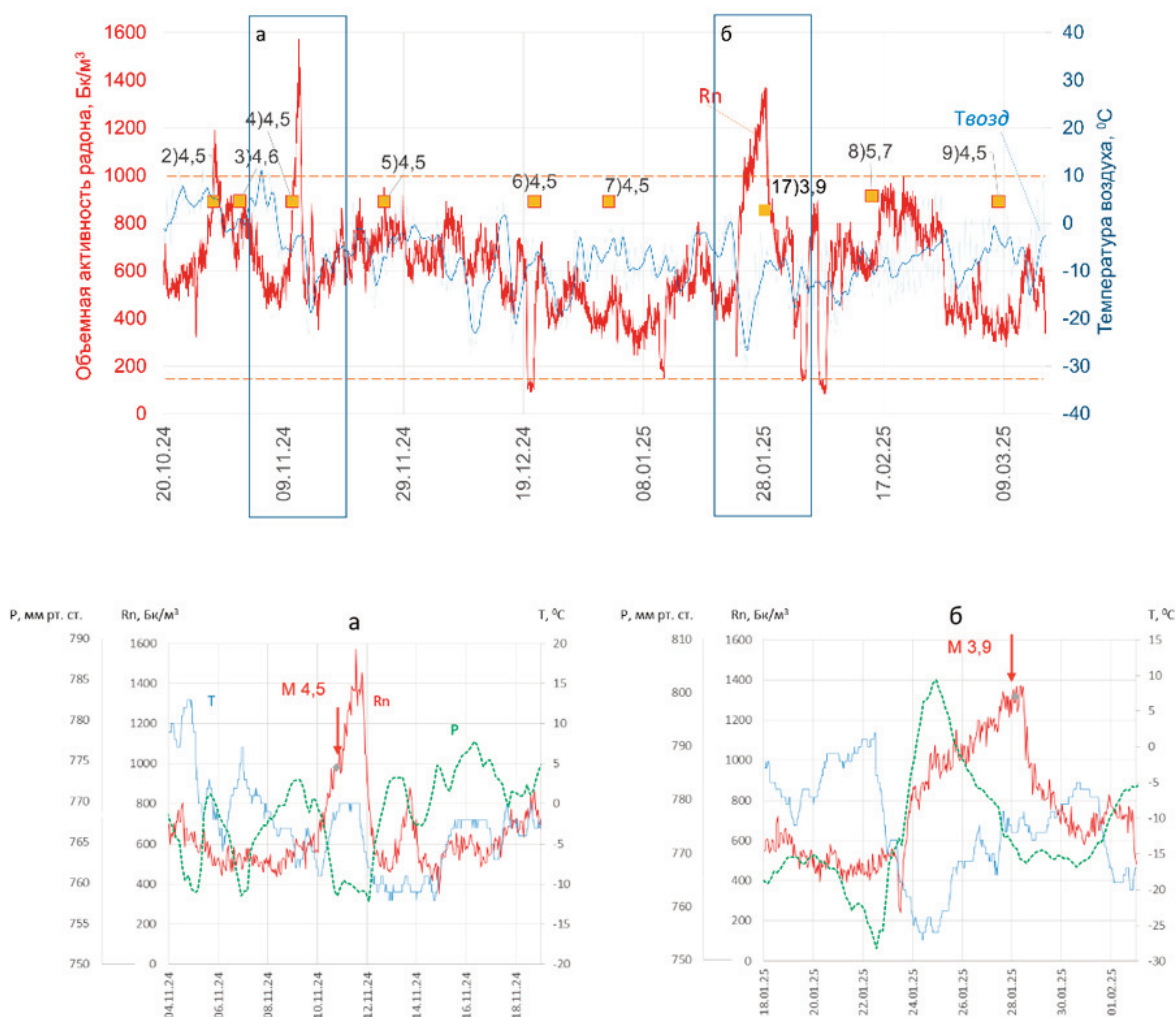


Рис. 2. Фрагмент результатов радонового мониторинга в холодный период (горизонтальные пунктиры – границы диапазона $\pm 2\sigma$ для ОА радона). В рамках – периоды наиболее существенных аномалий, показанные подробнее на нижних врезках

Был проведен анализ возможного влияния на колебания ОА радона в помещении землетрясений с магнитудой $M > 3,5$, произошедших в радиусе 1000 км вокруг г. Белокурихи за период мониторинга (рис. 1). Данные по землетрясениям взяты по каталогам <https://earthquake.usgs.gov> и <https://www.emsc-csem.org>. Анализ показывает, что в тёплый период влияние землетрясений оценить сложно, т.к. на содержание радона в помещении преобладающее влияние оказывает термоиндуцированная конвекция воздуха в горном массиве. Кроме того, значения ОА радона в помещении настолько высоки, что часто превышают верхний предел измерения прибора, что не позволяет выявить пики с приемлемой достоверностью. Вместе с тем, в зимний период, когда атмосферные факторы в значительно меньшей степени влияют на содержание радона, на графике можно увидеть несколько выраженных пиков, в целом совпадающих по времени с землетрясениями, произошедшими в радиусе 1000 км. На рис. 2 представлен фрагмент результатов радонового мониторинга, соответствующий холодному периоду. Наиболее интересны два случая, когда землетрясения совпадали с наиболее сильными пиками ОА радона, существенно превышающими верхнюю границу диапазона «2 сигма» и приближающимся к верхней границе диапазона «3 сигма» для зимнего периода. Это землетрясение 10.11.2024 (№ 4 на рисунках 1 и 2) с эпицентром в 49 км ЗСЗ пос. Орлик, Республика Бурятия ($M=4,5$, глубина 10 км) и землетрясение 28.10.2025 (№ 17 на рисунках 1 и 2) с эпицентром в 119 км того же пос. Орлик, Республика Бурятия ($M=3,9$, глубина 10 км). Удивительно, что два наиболее мощных максимума содержания радона в подвале здания в зимний период примерно совпали с двумя не самыми сильными землетрясениями, произошедшими в одном и том же районе, рас-

положенном на расстоянии около 1000 км от г. Белокуриха. Возможно, это связано с тем, что эти землетрясения приурочены к зоне активных разломов на сочленении Сибирской платформы и Алтае-Саянского складчатого горного сооружения, которые продолжаясь на запад, переходят с в систему разломов Северного фаса Алтая, разделяющего горное сооружение Алтая и Западно-Сибирскую плиту.

Более подробно динамика ОА радона, а также температуры воздуха и атмосферного давления в недельный период до и после землетрясений показаны на рис. 2 в нижних врезках. На графиках видно, что реакция ОА радона на землетрясения в обоих случаях различна. В первом случае резкий рост содержания радона начинался примерно за 15 часов до события и продолжался еще в течение суток после землетрясения. Во втором случае рост ОА радона начался более чем за 4 суток до события, а закончился резким спадом через 2 часа после землетрясения. Следует отметить, что в данном случае рост содержания радона совпал с резким снижением температуры воздуха и ростом давления, что также могло оказать влияние на выделение радона из грунта.

Интересно, что наиболее сильное за период наблюдения землетрясение с магнитудой $M=5,7$ произошло 15 февраля 2025 года в Кош Агачском районе республики Алтай, эпицентр располагался на расстоянии около 300 км от г. Белокурихи (№ 8 на рис. 1 и 2). Это землетрясение ощутимо чувствовалось жителями города (раскачивались люстры, открывались шкафы и т.п.). Это было одно из наиболее сильных землетрясений на Алтае за последние несколько лет. Однако, в динамике радона оно оказалось выражено значительно слабее. Сразу после землетрясения был отмечен некоторый рост ОА радона, после чего повышенные значения сохранялись примерно в течение 10 дней.

Таким образом, полученные результаты подтверждают наличие реакции радонового поля активных разломов на подготовку и реализацию землетрясений, эпицентры которых могут располагаться на расстоянии до 1000 км от пункта наблюдения. При этом реакция непропорциональна магнитуде землетрясений и эпицентральному расстоянию. Полученные данные позволяют предположить, что вдоль зоны региональных активных разломов, разделяющих Алтае-Саянскую складчатую область и прилегающие с севера Сибирскую платформу и Западно-Сибирскую плиту, влияние подготовки и реализации землетрясений на флюидный режим может простирается на расстояния до 1000 и более км даже при относительно незначительной магнитуде землетрясения. Влияние сейсмического фактора на радоновое поле наиболее проявлено в зимнее время, когда радоновое поле подвержено наименьшему воздействию поверхностных факторов.

Исследования выполнены при финансовой поддержке Российского научного фонда, грант № 24-17-00217.

Литература

1. Антикаева О.И., Шитов А.В. Динамика радоновой активности в связи с землетрясениями (на примере Алтайской сейсмоактивной области). *Геофизические процессы и биосфера*. 2016. Т. 15. № 1. С. 25-42.
2. Новиков И.С. *Морфотектоника Алтая*. Новосибирск: Изд-во СО РАН, филиал «Гео», 2004. 313 с.
3. Семинский К.Ж., Бобров А.А. Соотношение радоновой и сейсмической активности в Байкальской рифтовой зоне по данным эманационного мониторинга. *Геодинамика и тектонофизика*. 2024; 15(1):0744. <https://doi.org/10.5800/GT-2024-15-1-0744>.
4. Bossew, P., Cinelli, G., Ciotoli, G., Crowley, Q. G., De Cort, M., Elío Medina, J., Gruber, V., Petermann, E., & Tollefsen, T. (2020). Development of a Geogenic Radon Hazard Index—Concept, History, Experiences. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17 (11) 4134. <https://doi.org/10.3390/ijerph17114134>;
5. Bossew, P.; Benà, E.; Chambers, S.; Janik, M. Analysis of Outdoor and Indoor Radon Concentration Time Series Recorded with RadonEye Monitors. *Atmosphere* 2024, 15, 1468. <https://doi.org/10.3390/atmos15121468>
6. Di Carlo, M. Ampollini, S. Antignani, M. Caprio, C. Carpentieri, B. Caccia, F. Bochicchio. Extreme reverse seasonal variations of indoor radon concentration and possible implications on some measurement protocols and remedial strategies, *Environmental Pollution*, 327, 2023, 121480, <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2023.121480>.
7. Moreno, V., Bach, J., Baixeras, C., Font, L.L., 2009. Characterization of blowholes as radon and thoron sources in the volcanic region of La Garrotxa. Spain. *Radiat. Meas.* 44, 929–933.
8. Sundal, A.V., Valen, V., Soldal, O., Strand, T., 2008. The influence of meteorological parameters on soil radon levels in permeable glacial sediments. *Sci. Total Environ.* 389, 418–428.

ОЦИФРОВКА И ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГЕНЕЗИСА ПРОВАЛОВ ПО ДАННЫМ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ ВЫСОКОГО РАЗРЕШЕНИЯ (НА ПРИМЕРЕ УЧАСТКА В ТиНАО)

Е. Р. Романова^{1,2*}, Р. Ю. Жидков², Н. В. Абакумова³, В. С. Рекун^{1,2}

¹ Институт геоэкологии им. Е.М. Сергеева РАН, 101000, Москва, Уланский пер., д. 13, с. 2.

² ГБУ «Мосгоргеотрест», 123040, Москва, Ленинградский пр-кт, д. 11.

³ МГУ имени М.В. Ломоносова, 119234, Москва, ул. Ленинские горы, д. 1.
E-mail: romanova.elizaveta.r@yandex.ru

Введение

Территория ТиНАО входит в состав г. Москвы уже более 13 лет, но до сих пор ее геологическое строение, условия и характер распространения опасных экзогенных геологических процессов гораздо менее изучены по сравнению с территорией города в его старых границах. Эта проблема связана, в первую очередь, с большой площадью. Проведение детальных маршрутных наблюдений с учетом регионального характера работ нецелесообразно. Применение аэрофотоснимков, даже высокого и сверхвысокого качества, также не принесет желаемого результата, так как территория в значительной степени покрыта лесом, в том числе породами, что усложняет, а в ряде случаев исключает возможность дешифрирования снимков.

В 2022 г. ГБУ «Мосгоргеотрест» проводил лазерную (лидарную) съемку территории ТиНАО для построения цифрового двойника города на основе фотограмметрической модели. Плотность данных об абсолютных отметках земной поверхности, полученных в результате этой съемки, позволила построить цифровую модель рельефа (ЦМР) с разрешением 0,2 м/пикс. В рамках данного исследования изучаются бессточные впадины (воронки и провалы) природного происхождения (карстового и суффозионного), а также образованные в результате провала или суффозионного выноса грунтов в полости заброшенных горных выработок – *каменоломни*. Для их оцифровки разработана автоматизированная методика с последующим удалением артефактов (ошибок ЦМР).

Природные условия изучаемой территории. Методика оцифровки впадин. Выявление артефактов

Исследование проводится на примере участка, расположенного в Новомосковском административном округе (НАО), его площадь составляет 8,01 км², участок пересекают р. Десна и Пахра (рис. 1).

В геологическом строении территории принимают участие отложения четвертичной, юрской и каменноугольной систем. Отложения юрской системы полностью смыты в долинах рек.

Методика автоматизированной оцифровки разработана и апробирована только для участков, свободных от современного антропогенного вмешательства и основана на использовании стандартных инструментов анализа свободно распространяемых геоинформационных систем (ГИС).

Исходная ЦМР подвергается сглаживанию, после чего проводится вычитание из сглаженной ЦМР исходной. В границах участков, на которых ЦМР сгладилась более чем на 0,3 м, проводится попытка трансформации изолиний рельефа (построены с интервалом 0,1 м) в полигоны. Замкнутые изолинии, которыми характеризуются бессточные впадины, преобразовываются в полигоны. После этого отфильтровываются впадины далекие по форме от круглых, слишком маленькие по площади и неглубокие.

Для автоматизированного выявления артефактов предлагается использовать исходные точечные данные об абсолютных отметках рельефа, на основе которых была построена ЦМР. Впадины, у которых плотность данных в контуре более чем в 3 раза меньше, чем плотность точек в границах природной территории были определены как ошибки ЦМР. В результате была получена информация



Рис. 1. Схема расположения участка исследования

о местоположении 392 объектов. Для каждого из них были вычислены: площадь S , абсолютные отметки верха понижения H_v (абс. отм. замкнутой изолинии, по которой производилось построение границы полигона) и его дна H_d (минимальная абс. отметка в пределах полигона), глубина h (разница между абс. отм. верха и дна понижения), длина l и ширина b .

Методика определения генезиса понижений

Территория ТиНАО очень давно заселена, в результате чего исходный природный рельеф сильно изменен за счет извлечения и перемещения грунтов в результате деятельности человека. Для определения происхождения понижений необходимо собрать максимальное количество информации об истории антропогенного развития. Такую информацию можно получить из архивных топографических, в том числе, военных карт, благодаря данным археологических и спелестологических исследований, а также краеведческих музеев и т.д. [4]. Схема расположения всех впадин с указанием их происхождения представлена на рис. 2.



Рис. 2. Схема расположения понижений рельефа

Понижение определяется как «образованно в результате провала или суффозионного выноса грунтов в полости каменоломен», если оно соответствует одному из трех комбинаций критериев:

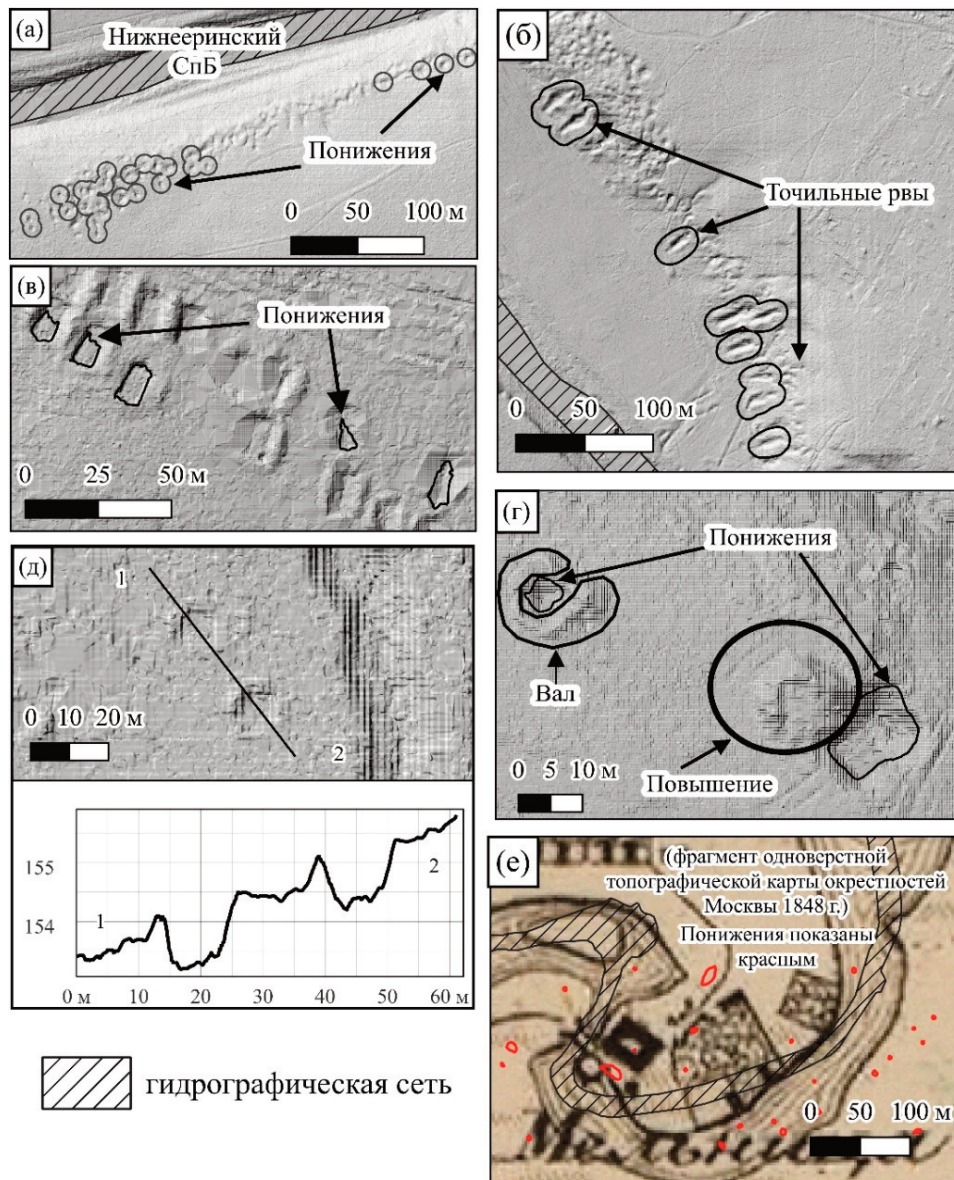


Рис. 3. Примеры установления предположительного происхождения бессточных впадин

располагается в границе известного спелестологического блока (СпБ) (рис. 3а); располагается на участке с признаками добычи камня, данных о подземных горных выработках нет, на участке по данным дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) видны точильные рвы (рис. 3б); плотность понижений земной поверхности аномально повышена на высоких берегах рек, данных о подземных горных выработках нет, точильные рвы по данным ДЗЗ отсутствуют, современная антропогенная деятельность отсутствует.

Понижение «образованно вследствие антропогенной деятельности», если оно соответствует одному из критериев: располагается на участке активной современной антропогенной деятельностью (устанавливается по данным OSM и аэрофотоснимкам); располагается на дорогах и тропинках и в непосредственной близости от них, или в границах придорожных канав; имеет форму квадрата/прямоугольника (рис. 3в); понижения расположены системно, (например, выстраиваются в линию) (рис. 3в); имеет в непосредственной близости локальное повышение рельефа (рис. 3г); имеет вал по периметру (рис. 3г и рис. 3д); расположено в границе объектов археологического наследия или археологических объектов иного статуса (рис. 3е).

Понижение «вероятно, карстового/суффозионного происхождения», если оно располагается на участке, где мощность глинистых отложений, перекрывающих закарстованный горизонт, незначительна (до 20 м по имеющимся данным о геологическом строении), глубина понижения составляет более 0,4 м, нет данных о неразличимых в современном рельефе объектах археологиче-

ского интереса, на участке отсутствует современная строительная деятельность, нет информации о добыче камня.

Результаты маршрутных наблюдений

Благодаря работам [1-3, 5] известно, что на участке исследования находится 6 спелеостологических участков (СПУ) и 9 спелеостологических блоков (СПБ).

В период с осени 2023 г. по лето 2025 г. были проведены полевые выезды. Было обследовано 99 понижений, образованных в результате провала или суффозионного выноса грунтов в полости каменоломен, 61 понижение, образованное в результате антропогенной деятельности, и 4 понижения, вероятно, карстового/суффозионного происхождения.

На участке исследования расположено 156 понижений рельефа классифицированные как понижения, образованные в результате провала или суффозионного выноса грунтов в полости каменоломен. Размеры их изменяются от 1,2'1,3 м до 9,5'12,7 м, в среднем размер составляет 3,9'5,4 м. Глубина изменяется от 0,3 до 2,6 м и в среднем составляет 0,6 м.

В результате проведенной классификации и заверочных полевых работ на территории исследования было выделено 6 понижений рельефа, которые с наибольшей вероятностью являются результатом карста или суффозии.

Заключение

Каменоломни представляют собой пустоты в карбонатных отложениях. Провал и суффозионный вынос вышележащих грунтов в эти полости может приводить к образованию на поверхности земли локальных понижений рельефа, визуально похожих на карстовые и суффозионные провалы и воронки. При этом глубина залегания штреков каменоломен небольшая и составляет от первых метров до первых десятков метров, а протяженность ходов может достигать десятков километров. Учитывая, что высота ходов превышает 1 м, объем таких пустот может достигать больших значений. Существование карстовых пустот в карбонатных отложениях сопоставимого объема на подобной глубине вряд ли возможно, что делает каменоломни более опасными агентами провалообразования на территории ТиНАО, чем природные карстовые полости.

В связи со всем вышесказанным авторы данного исследования считают, что для территории ТиНАО необходимо проведение районирования территории по опасности провалообразования, которое будет учитывать не только опасность образования карстовых провалов, но и опасность возникновения деформации земной поверхности в связи с провалом или суффозионным выносом грунтов в полости каменоломен.

Литература

1. Долотов Ю.А., Парфенов А.А. Подземные горные выработки на территории Новой Москвы // *Геоэкологические проблемы Новой Москвы*. М.: Медиа-ПРЕСС, 2013. С. 96–107, 47–52
2. Долотов Ю.А., Парфенов А.А. Рыбинский спелестологический блок. *Пещеры: сб. науч. тр.* Пермь: ПГНИУ, 2012. Вып. 35. С. 53–60.
3. Парфенов А.А. Еринский спелестологический участок // *Спелеология и спелестология. Сб. матер. II Международной научной заочной конференции. Набережные Челны: НИСПТР, 2011. С. 132–138.*
4. Романова Е.Р., Жидков Р.Ю., Абакумова Н. В. Установление происхождения замкнутых понижений рельефа на территориях с длительной историей освоения (на примере Троицкого и Новомосковского округов, г. Москва) // *Вестник Евразийской науки*. 2025. Т 17. № 2. URL: <https://esj.today/PDF/18NZVN225.pdf> (дата обращения: 07.10.2025).
5. Сохин М.Ю., Долотов Ю.А. Спелестологическая изученность бассейна реки Пахры (Московская область). Часть 1: Верхнепахринский и Подольский спелестологические районы // *Спелеология и спелестология: сб. материалов конференции*. 2016. С. 253–274.
6. Яновская Е.Г. Каменоломни в д. Алхимово // *Спелеология и спелестология. Сб. материалов III Междунар. заочной конф. Наб. Челны: НИСПТР, 2012. С. 157–162.*

РЕГРЕССИЯ АРАЛЬСКОГО МОРЯ КАК ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКИЙ ФАКТОР МЕЗОМАСШТАБНОГО УРОВНЯ И ВОЗМОЖНОСТИ ПО СМЯГЧЕНИЮ КРИЗИСНЫХ ПОСЛЕДСТВИЙ

П.В. Скроб¹, А.А. Медведков^{1, 2}

¹Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова,
119991, Россия, г. Москва, Ленинские горы, д. 1

² Институт географии Российской академии наук,
119017, Россия, г. Москва, Старомонетный переулок, дом 29, с. 4
E-mail: fgeoeckologia@yandex.ru, a-medvedkov@bk.ru

Введение

Сегодня главным результатом регрессии Аральского моря является продолжающаяся трансформация обширного по площади автоморфного природного комплекса, формирующегося на его осушенном дне (пустыня Аралкум) [1]. К настоящему моменту Аралкум – сложная геосистема, представляющая собой сочетание неоднородных по строению и свойствам литолого-почвенных структур (преимущественно солончакового типа), развивающихся под влиянием двух основных факторов: собственно регрессия моря и экзогенная динамика (эоловая аккумулятивная и денудационная [11]). Так появилась и развивается сложившаяся катенарная сопряженность разных по степени засоления (автоморфности) и степени переработки эоловыми процессами солончаков. Экзогенная динамика, в свою очередь, подчиняется влиянию элементарных циркуляционных процессов в Центральной Азии [4].

Анализ ситуации и её обсуждение

В то же время, продолжающиеся динамические изменения осушенного дна Аральского моря (и структур более низких рангов) – одновременно и причина появления мощнейшего источника пылепереноса в Центральной Азии, имеющего полимасштабный характер влияния, что подтверждается исследованиями и моделированием (рис. 1 [10; 17]). Соле- и пылеперенос – существенная проблема, сопровождающая Аральский кризис, имеющая медико-экологическое значение [13]. Выявлено, что поверхностные отложения, образовавшиеся на более поздних стадиях регрессии, отличаются преобладанием тонкодисперсной фракции с большей долей пелитов и мелкого алеврита. Такие участки могут являться источником пылепереноса на дальние расстояния (в т.ч. и на территорию России), поэтому они представляют интерес для мезомасштабных исследований, имеющих трансграничный характер [10, 12]. Тогда как более крупные частицы в составе поверхностных отложений преобладают на участках, которые раньше перешли к автоморфной фазе эволюционного развития [12]. Такие территории оказывают наибольшее влияние на качество воздуха, как на местном, так и на региональном уровне, поэтому они требуют первоочередного внимания с целью улучшения качества воздушной среды в Аральском регионе.

Аральский кризис вышел далеко за рамки деградации хозяйственной базы региона Приаралья, вызвав миграцию населения в соседние и дальние регионы [2]. Таким образом, высыхание Аральского моря и комплекс процессов и проблем, его сопровождающих, может рассматриваться как геоэкологический кризис, а потенциальная область его влияния обнаруживается на значительных территориях Евразии, судя по ряду признаков [10].

Характер (геоэкологический облик) Аральского кризиса поддерживается, главным образом, пыльными бурями (охватывающими непосредственно Приаралье и Центральную Азию [20]), а также дальним пылепереносом посредством воздушной миграции тонкодисперсного материала (pm_{10} [16]). В этой связи, территория Аралкума, может быть дифференцирована (зонирована) по охвату влияния её отдельных частей (рис. 2). Так, на основе данных Научно-информационного центра Межгосударственной координационной водохозяйственной комиссии Центральной Азии (НИЦ МКВК), собранных в ходе экспедиционных работ, в рамках этой работы выполнена сравни-

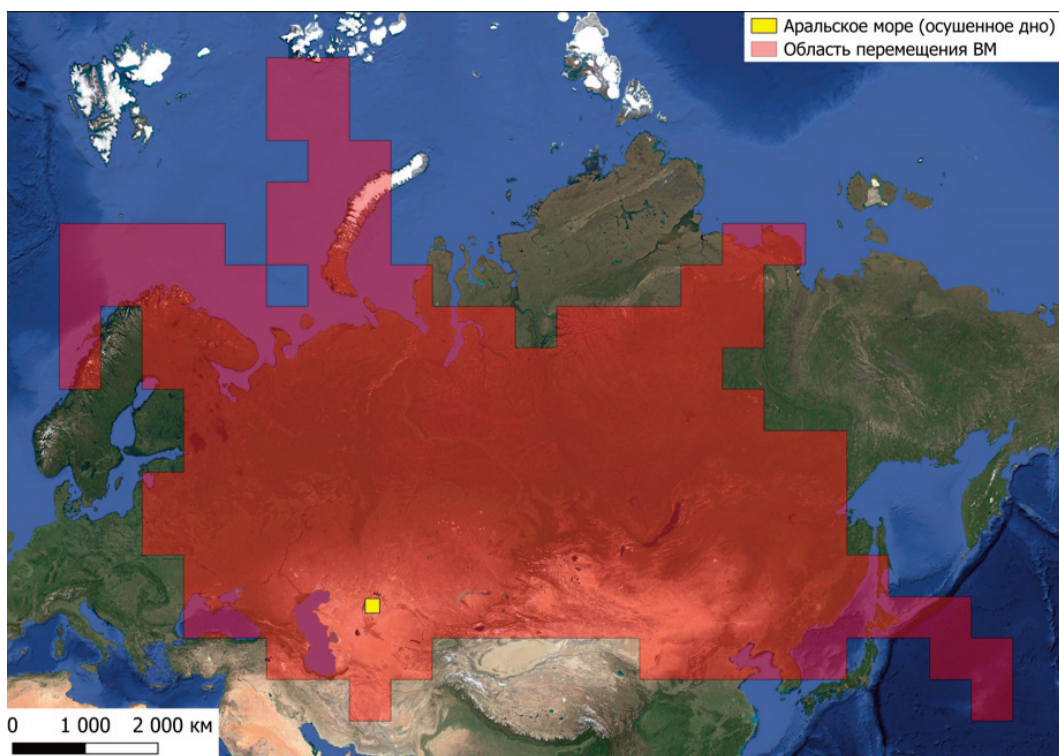


Рис. 1. Область распространения траекторий потенциально пыленесущих воздушных масс с поверхности осушенного дна Аральского моря (модель NOAA HYSPLIT, $t = 72$ ч, 2024)

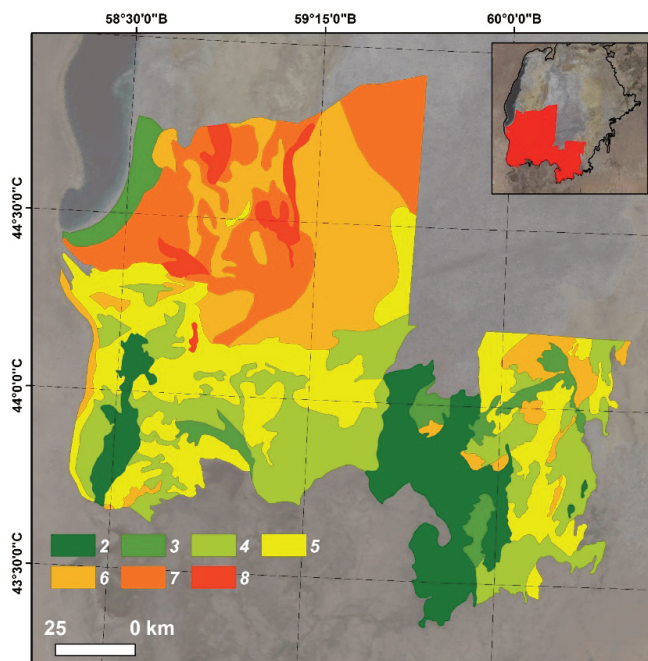


Рис. 2. Сравнительная устойчивость почв (солончаковой серии) южного Аралкума к эоловой денудации (дефляции) в границах исследуемой области. Составлено по данным НИЦ МКВК [11]

тельная оценка почвенно-литологических разностей к эоловой денудации (рис. 2). В основу зонирования положена сравнительная (относительная) оценка областей перспективной фитомелиорации по совокупности критериев и их относительному весу: I – структура почвенного покрова и его устойчивость к дефляции (от 1 до 3 баллов); II – оптимум произрастания саксаула чёрного (*Haloxylon aphyllum*, 0-2 балла); III – продуктивность растительных сообществ определённых сукцессионных фаз (относительно значений NDVI, 0-1 баллов); IV – относительное содержание минералов в ас-

социации с глинистой фракцией (0-1 баллов, на основе индекса CMR [14]); V – засоление поверхностных отложений (0-1 баллов, на основе индекса SI2 [6, 15]).

Представляется, что основным методом снижения негативного влияния Аралкума, является фитомелиорация. Несмотря на значительные по площади территории, которые нуждаются в закреплении субстрата (рис. 2) и ряд других сложностей, исследования выявили особенности акклиматизации наиболее перспективных видов растительности для реализации фитомелиоративных мероприятий, в частности *Haloxylon Aphyllum* (чёрный саксаул [7]). Но в условиях экстремальной аридности и дефицита водных ресурсов, внедрение фитомелиоративных мероприятий сопряжено с ощутимыми ограничениями [9], поэтому масштабная реализация проектов подобного типа является сегодня проблематичным, хотя и имеет весьма значимую актуальность. В то же время продолжается и постепенная сукцессионная трансформация осушенного дна моря [3], некоторые природные комплексы становятся менее подвержены дефляции в связи с закреплением поверхностных отложений.

Заключение

Таким образом, в настоящее время осушенное дно Аральского моря – сложное сочетание солончаков разной степени автоморфности – от маршей (соровых солончаков), испытывающих постоянное влияние приповерхностного горизонта засоленных грунтовых вод, динамически связанных с современным Аральским морем (южной частью Западного Арала), и до автоморфных солончаков, чьи верхние горизонты существенно переработаны эоловой аккумуляцией и денудацией [11, 19].

Для осушенного дна характерно развитие уникального типа сукцессий – галосерии (на засоленных почвах) и псаммосерии (на песчаных аккумулятивных образованиях). Закрепляя поверхностные отложения, сукцессионные преобразования способствуют снижению дефляционного потенциала природных комплексов. Так, наиболее устойчивыми к дефляции почвами считаются сильно засоленные марши и соровые солончаки (за счёт высокой сцепленности частиц), а также закрепленные растительностью песчаные массивы и автоморфные солончаки на поздних стадиях галосерийных сукцессий [3, 11].

Активные лесопосадки в рамках фитомелиоративных мероприятий осуществляются на осушенном дне Аральского моря в течение продолжительного времени (более 30 лет, в т.ч. при совместном участии коллег из НИЦ МКВК [5]). Применяется как механизированный, так и ручной способы посева. Экспериментальные геоботанические исследования показывают, что вид (*Haloxylon Aphyllum*) приобретает достаточные для аккумуляции отложений физиологические и морфологические свойства (при соблюдении определённой частоты высадки саженцев и режима полива, в т.ч. слабоминерализованными водами) [8].

Моделирование области возможного переноса пыли воздушными массами (NOAA HYSPLIT [10, 18]) в совокупности с данными о способности дисперсных фракций к воздушной миграции [10, 16], позволяет говорить об обширной области экологического влияния Аралкума. Способность некоторых галофитов (в особенности чёрного саксаула) к закреплению субстрата, обусловленная их физиологическими и морфологическими особенностями, рассматривается как основа для фитомелиорации пустыни Аралкум. Представляется, что фитомелиоративные мероприятия будут способствовать стабилизации поверхностных отложений Аралкума и, как следствие – смягчению геоэкологических последствий Аральского кризиса.

Литература

1. Глазовский Н.Ф. Аральский кризис: причины возникновения и пути выхода. М.: Наука, 1990. 134 с.
2. Глазовский Н.Ф., Кудинова Н.В., Одинокова Л.Ю., Стрелецкий В.Н., Шестаков А.С. Миграции населения в странах СНГ, связанные с опустыниванием и засухой. М.: ЮНЕП, 2000. 109 с.
3. Димеева Л.А. Закономерности первичных сукцессий Аральского побережья // Аридные экосистемы. 2007. Т. 13. № 33-34. С. 89-100.
4. Золотокрылин А.Н. Климатическое опустынивание. М.: Наука, 2003. 246 с.
5. Комплексные дистанционные и наземные исследования осушенного дна Аральского моря. Под ред. В. Духовного, П. Навратила, И. Рузиева, Г. Стулиной, Е. Роценко. Ташкент: НИЦ МКВК, 2008. 190 с.

6. Конюшкова М.В. Цифровое картографирование почв солонцовых комплексов Северного Прикаспия. – М: Товарищество научных изданий КМК. 2014. 316 с., ил.
7. Кузьмина Ж.В., Трешкин С.Е. Мониторинг развития саксаула черного (*Haloxylon Aphyllum*) на гидроморфных солончаках обсохшего дна Аральского моря // *Аридные экосистемы*. 2013. Т. 19. № 4 (57). С. 40-48.
8. Кузьмина Ж.В., Трешкин С.Е. Результаты многолетнего мониторинга развития галофитных растений на солончаках Приаралья // *Аридные экосистемы*. 2011. Т.17. № 3 (48). С. 23-37.
9. Кузьмина Ж.В., Трешкин С.Е., Мамутов Н.К. Влияние климатических изменений и полива на формирование растительности опытным путем в обсохшей части Аральского моря // *Аридные экосистемы*. 2004. Т. 10. № 21. С. 82-94.
10. Медведков А.А. Геоэкологические проблемы в контексте климатических изменений: теоретический анализ и региональные проявления // *Известия Российской академии наук. Серия географическая*. 2024. Т. 88. № 3. С. 263–280. DOI: 10.31857/S2587556624030011
11. Мониторинг осушенного дна Аральского моря. Под ред. В.А. Духовного, Г.В. Стулиной, Ш.М. Кенжабаева. Ташкент: НИЦ МКВК, 2020. 254 с.
12. Скроб П.В., Алексеева Т.Н., Медведков А.А. Гранулометрический состав поверхностных отложений Западного Аралкума: геоэкологический анализ / *Материалы XXVI Международной научной конференции (Школы) по морской геологии М.: ИО РАН*. 2025. Т. 2. С. 260-264.
13. Эльпинер Л.И. Аральская экологическая катастрофа как модель медико-экологических последствий аридизации и опустынивания (к проблеме глобального изменения климата) // *Аридные экосистемы*. 2002. Т. 8. № 16. С. 67-75.
14. Alasta A. F. Using Remote Sensing data to identify iron deposits in central western Libya / *International Conference on Emerging Trends in Computer and Image Processing (ICETCIP'2011)*. Bangkok. 2011.
15. Bouaziz M., Matschullat J., Gloaguen R. Improved remote sensing detection of soil salinity from a semi-arid climate in Northeast Brazil // *Comptes Rendus Geoscience*. 2011. V. 343. N. 11-12. P. 795-803.
16. Chen Z., Gao X., Lei J. Dust emission and transport in the Aral Sea region // *Geoderma*. 2022. 428. 116177. DOI: 10.1016/j.geoderma.2022.116177
17. Ge Y., Wu N., Abuduwaili J., Kulmatov R. Issanova G., Saparov G. Identifying seasonal and diurnal variations and the most frequently impacted zone of aerosols in the Aral Sea region // *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 2020. 19 (21): 14144. DOI: 10.3390/ijerph192114144
18. Stein A.F., Draxler R.R., Rolph G.D., Stunder B.J.B., Cohen M.D., Ngan F. NOAA's HYSPLIT Atmospheric Transport and Dispersion Modeling System // *Bulletin of the American Meteorological Society*. 2016. 96 (12):150504130527006. DOI: 10.1175/BAMS-D-14-00110.1
19. Stulina G., Sektimenko V. The Change in soil cover on the exposed bed of Aral Sea // *Journal of Marine Systems*. 2004. 47. Pp. 121-125.
20. Wang W., Samat A., Abuduwaili J., Ge Y., De Maeyer P., Van de Voorde T. Temporal characterization of sand and dust storm activity and its climatic and terrestrial drivers in the Aral Sea region // *Atmospheric Research*. 2022. 275. 106242. DOI: 10.1016/j.atmosres.2022.106242

ОЦЕНКА ПОДВЕРЖЕННОСТИ НАВОДНЕНИЯМ СЕЛЬСКИХ НАСЕЛЕННЫХ ПУНКТОВ ГОМЕЛЬСКОЙ ОБЛАСТИ И ИХ ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПОСЛЕДСТВИЯ

Т.Г. Флерко

Гомельский государственный университет имени Франциска Скорины,
246028, Республика Беларусь, г. Гомель, ул. Советская, д. 104
E-mail: tflerco@mail.ru

Гомельская область расположена на юго-востоке Беларуси, большей своей частью в пределах Полесской низменности, для которой характерны периодические наводнения на реках, в первую очередь относящихся к бассейнам Припяти, Днепра и Сожа [4].

Наводнения представляют собой геоэкологическую проблему для сельских населенных пунктов, так как вызывают повреждение или частичное разрушение инфраструктуры (дорог, мостов, домов), уничтожение сельскохозяйственных посевов и наносят материальный ущерб. Они также приводят к эрозии почвы и берегов, ухудшению качества воды и загрязнению окружающей среды, что негативно сказывается на здоровье населения.

Проблема наводнений понимается довольно часто. Среди проведенных исследований есть работы по разработке мероприятий борьбы с наводнениями [2], проведению инженерных мероприятий по защите сельскохозяйственных угодий [1], снижению экономических потерь [8], прогнозированию [3] и др. При этом актуальным остается вопрос территориального распространения наводнений относительно сельских населенных пунктов и степень риска для проживающего в них населения.

Наводнения наносят ущерб сельскому хозяйству, промышленным предприятиям, жителям населенных пунктов. В зависимости от величины суммарного эффекта и размера, все наводнения делятся на небольшие, большие, выдающиеся и катастрофические [5].

Небольшие наводнения приносят незначительный материальный ущерб, практически не нарушают нормального течения жизни людей. В регионе за период наблюдений с 1877 по настоящее время было зафиксировано более 170 случаев незначительных наводнений, это составляет 60% наводнений всех типов. Максимальное их число приходится на р. Сож (пост г. Гомель) и р. Днепр (пост г. Лоев). Отсутствуют наводнения данного типа на посту наблюдений г. Речица на р. Днепр.

Большие наводнения сопровождаются значительным материальным ущербом. Они наносят моральный урон населению, вызывают необходимость эвакуировать часть жителей поселений. Таких наводнений в области зафиксировано 31% от общего числа. Больше всего их насчитывается на р. Днепр (пост г. Лоев) и р. Припять (пост г. Мозырь).

Выдающиеся наводнения охватывают крупную речную систему. Почти полностью парализуют хозяйственную деятельность человека. Наносят большой материальный урон. Возникает необходимость массовой эвакуации населения [5]. Наводнения этого типа наблюдались 25 раз (9%), чаще всего в бассейне реки Припять и ее притоков Уборть и Птичь.

Катастрофические наводнения распространяются на несколько крупных речных бассейнов. Они надолго парализуют хозяйственную деятельность человека. В некоторых случаях приводят к человеческим жертвам. В Гомельской области за последнее столетие наводнение катастрофического типа было только один раз. Оно произошло в конце апреля начале мая 1931 года на р. Березина, пост г. Светлогорск. Опасный уровень воды держался 10 дней при превышении максимальной высоты над уровнем выхода воды на пойму 254-244 см [7].

Список сельских населенных пунктов, подверженных наводнениям сформирован на основании информации о сооружении объектов противопаводковой защиты в наиболее паводкоопасных районах Полесья, справочных данных об опасных гидрологических явлениях на территории Беларуси за многолетний период [7], аналитических обзоров проявления опасных природных процессов на территории Белорусского Полесья, расчетных данных.

Для вычисления индекса подверженности наводнениям сельских поселений использовались данные о доле населенных пунктов, подтапливаемых наводнениями по административным районам. Индекс подверженности наводнениям – это отношение доли подтапливаемых поселений в районе

к среднему значению по области. Чем выше индекс, тем больше опасность подтопления. Принята следующая шкала оценки степени напряженности данной проблемы: низкая – менее 1,0; относительно низкая – 1,0-2,0; средняя – 2,0-3,0; высокая – 3,0 и более. Анализ проведен на уровне отдельных поселений, административных районов и ландшафтов.

В Гомельской области насчитывается 236 рек общей протяженностью 378,8 км. Наводнения фиксируются на 40 из них. Наводнениям подвержены 172 сельских поселения, что составляет 7,6% от их общего количества в области. Средняя абсолютная высота местности, на которой расположены эти поселения, составляет 128,5 м при средней высоте всех сельских населенных пунктов области 138,0 м. Подтоплению подвергаются поселения, расположенные на высотах в интервале от 107,5 м до 175 м. При этом почти 2/3 из них расположены на высотах 130 м и менее. С увеличением средней абсолютной высоты территории количество населенных пунктов, подвергающихся наводнениям, сокращается на каждом высотном уровне.

В распределении удельных показателей, отражающих долю сельских поселений, подверженных наводнениям, на различных высотных уровнях, также заметно выделяется самый низкий из них, приходящийся на высоты 130 м и менее, где она составляет 18,8%. На каждом из других, более высоких уровней, эта доля примерно в 5 раз ниже.

Сельские населенные пункты, подверженные наводнениям, могут находиться одновременно на двух реках, или реке и канале, впадающем в нее, поэтому их суммарное число увеличивается. Преобладающая их часть сосредоточена в бассейне р. Припять – 73,8%. В данный перечень входят населенные пункты, расположенные на 18 притоках главной реки и мелиоративных каналах. Особенностью бассейна Припяти является то, что затапливаются сельские поселения, расположенные на притоках трех порядков.

На втором месте находится бассейн р. Днепр, включая саму реку и 8 ее притоков – 18% всех подтапливаемых населенных пунктов. Меньше таких поселений в бассейнах рр. Сож (10,5%) и Березина (4,1%).

Среди поселений различной величины, подверженных наводнениям, абсолютное большинство (около 80%) приходится на малые и средние населенные пункты. Однако самым высоким относительным показателем отличаются большие поселения. Наводнениям подвержена примерно пятая их часть, что выше аналогичного показателя средних поселений – в 1,5 раза, крупных – в 2,0 и малых – в 3,6 раза.

Проблема подверженности наводнениям характеризуется показателем удельного веса подтапливаемых населенных пунктов. Этот показатель колеблется от 5,2% в малых населенных пунктах до 18,9% в больших, что является основанием для следующей оценки экологической напряженности по данной проблеме: низкая в малых и крупных поселениях; относительно низкая в средних и больших; низкая для всех категорий.

Распространение наводнений зависит от ландшафтных условий территории, в первую очередь, от высотного уровня ландшафтов. Более 86% поселений, подвергающихся наводнениям, находятся в пределах низинных ландшафтов, 42% из них в пойме и 25% на низких террасах. Частичному подтоплению пониженных к пойме реки участков подвергаются 24 поселения возвышенных и средневысотных ландшафтов. В результате наводнений подтапливается треть поселений пойменных ландшафтов, по 13% озерно-болотных и озерно-аллювиальных ландшафтов и около 12% сельских населенных пунктов возвышенных ландшафтов. При этом следует отметить, что в поселениях, подверженных наводнениям, проживает более 20% жителей низинных ландшафтов.

В соответствии с повышенной повторяемостью наводнений в бассейне р. Припять опасность подтопления сельских поселений увеличивается в районах области, которые размещаются в его пределах. Они приходятся на ее западную часть. При продвижении в восточном направлении и переходе к бассейнам других рек эта опасность снижается (рис. 1).

Согласно принятой шкале напряженности указанной проблемы, высокая ее степень отмечается в двух районах: Житковичском и Лельчицком, средняя – также в двух: Петриковском и Мозырском, относительно низкая – в пяти: Калинковичском, Ельском, Наровлянском, Брагинском и Лоевском. В десяти районах, занимающих средневысотные ландшафты, в восточной части области: Октябрьском, Светлогорском, Рогачевском, Жлобинском, Буда-Кошелевском, Чечерском, Ветковском, Гомельском, Речицком и Хойникском степень напряженности проблемы низкая. Для двух районов: Кормянского и Добрушского эта проблема не характерна.

Наводнения могут рассматриваться как фактор, способствующий сокращению численности сельского населения. В восьми районах области (Буда-Кошелевском, Гомельском, Ельском, Калинковичском, Мозырском, Речицком, Хойникском и Чечерском) в сельских населенных пунктах, подверженных наводнениям, за постчернобыльский период убыль населения происходила более высокими темпами по сравнению со средними показателями. Особенно заметно это проявилось в районах, центрами которых являются большой и крупный города. Так в Гомельском и Мозырском районах темпы убыли населения в данной категории поселений более чем четырехкратно превысили средние значения.



Рис. 1. Подверженность наводнениям сельских населенных пунктов Гомельской области

Решение проблемы подтопления населенных пунктов осуществляется с помощью инженерных мероприятий. Они проводятся в населенных пунктах, расположенных в паводкоопасных районах. Острота данной проблемы снижается из-за естественного сокращения числа таких поселений, а также уменьшения в последние годы интенсивности паводков на реках вследствие климатических изменений.

Ранжирование сельских населенных пунктов по степени подверженности наводнениям следует использовать при планировании мероприятий по противопаводковой защите территорий. Для данной категории поселений целесообразно предусмотреть меры по соответствующему оборудованию объектов, содержащих загрязняющие вещества с тем, чтобы не допустить их вымывания и поступления в окружающую среду.

Литература

1. Гриневич Л.А., Лукошко Р.Ф., Маланкина Ю.П., Хавич В.А. Проблемы наводнений и основные направления инженерной защиты в пойме Припяти в целях интенсификации сельскохозяйственного использования земель // Проблемы Полесья. Мн.: Наука и техника, 1980, вып. 6, С. 14–29.

2. Лиштвак И.И., Азява Г.В., Ярошевич Л.М. Проблемы наводнений в Полесье и мероприятия по противопаводковой защите населенных пунктов и сельскохозяйственных земель // *Природные ресурсы*. 1999. № 2. С. 49–57.
3. Логинов В.Ф., Волчек А.А., Волчек Ан.А. Весенние половодья на реках Беларуси: пространственно-временные колебания и прогноз. Мн.: *Беларуская навука*, 2014. 244 с.
4. Нацыянальны атлас Беларусі / Мн.: Камітэт па зямельных рэсурсах, геадэзіі і картаграфіі пры Саўеце Міністраў Рэспублікі Беларусь. 2002.
5. Нежиховский Р.А. Наводнения на реках и озерах. Л.: *Гидрометеоиздат*, 1988. 184 с.
6. Станкевич А.П., Корнеев В.Н., Чекан Г.С. Математическая модель наводнений в бассейне р. Припять // *Природные ресурсы*. 2001. № 2. С. 127–134.
7. Стихийные гидрометеорологические явления на территории Беларуси: справочник / Под ред. М. А. Гольдберга. Мн.: *БелНИЦ Экология*, 2002. 132 с.
8. Таратунин А.А. Современная стратегия защиты и снижения ущерба от наводнений в Республике Беларусь // *Природные ресурсы*. 2001. № 2. С. 64–69.

3. ГЕОЭКОЛОГИЯ И ИЗМЕНЕНИЕ КЛИМАТА: АДАПТАЦИЯ И УСТОЙЧИВЫЕ РЕШЕНИЯ

СОВРЕМЕННЫЕ ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ И ЛАНДШАФТНО-АДАПТИВНОЕ УПРАВЛЕНИЕ БАССЕЙНОМ ТРАНСГРАНИЧНОЙ РЕКИ САМУР В УСЛОВИЯХ КЛИМАТИЧЕСКОЙ ИЗМЕНЧИВОСТИ И РЕГРЕССИИ КАСПИЙСКОГО МОРЯ

З.В. Атаев

Дагестанский федеральный исследовательский центр РАН, Махачкала, ул. М. Гаджиева, д. 45
Дагестанский государственный педагогический университет, Махачкала, ул. М. Ярагского, д. 57
Кабардино-Балкарский научный центр РАН, Нальчик, Долинск, ул. Балкарова, д. 2
E-mail: zagir05@mail.ru

Современная повестка адаптации к изменениям климата смещается от описания «средних трендов» к управлению рисками и уязвимостью, включая риски, возникающие из самих ответных мер. Именно такая постановка принята в оценках ИРСС [15]: риск формируется взаимодействием климатических опасностей, экспозиции и уязвимости [6], а успешная адаптация опирается на доказательные данные и согласованные решения [5].

В бассейне Самура ключевым «усилителем» климатических и водохозяйственных эффектов становится регрессия уровня моря (вплоть до значений ниже -29 м по Балтийской системе высот в середине 2025 г. и прогнозов дальнейшего снижения) [1]. В таких условиях рациональное природопользование требует ландшафтно-адаптивного управления: увязки вододеления, землепользования и природоохранных режимов с измеряемыми индикаторами и порогами реакции.

Целью работы является подготовка сжатой индикаторно-пороговой модели управления бассейном Самура, с акцентом на практические меры. Задачи: свести ключевые наблюдаемые маркеры ландшафтно-климатических изменений (температура, фенология, уровень моря, грунтовые воды, водоотбор); сформировать набор индикаторов и ориентировочных порогов реагирования; предложить 6-8 мер адаптации и устойчивых решений с приоритетами и ресурсными оценками; обозначить дефициты данных и способы их восполнения.

Использованы результаты полевых исследований 2020-2025 гг. (экспедиционные обследования ключевых участков, отбор проб почв/растительности/вод/донных отложений для геохимической диагностики; ландшафтное картирование бассейна) [2; 4], количественная оценка климатических трендов, барьерного эффекта и экспозиционной асимметрии, анализ сезонной динамики ландшафтов по временным рядам NDVI (MODIS) [16], постановка геоэкологических проблем управления Самуром, связь регрессии уровня моря [14;17] с понижением грунтовых вод в дельте (2-3,5 м за 20 лет) и параметрами водоотбора (до 60-70% летнего стока в маловодье), а также выводы о необходимости порогового регулирования и усиления совместного мониторинга. Для типизации индикаторов и обеспечения сопоставимости проведен реанализ Copernicus Climate Data Store [13] и ERA5-Land как унифицированная климатическая основа (температура/осадки/почвенная влага) при пространственном анализе бассейна [9], спутниковые индексы растительности MODIS для мониторинга фенологии/засушливого стресса [8; 16].

Для институциональной части управления использованы официальные материалы Федерального агентства водных ресурсов о работе совместной российско-азербайджанской комиссии (распределение ресурсов, мониторинг подземных вод, режимы вододеления) – межправительственное соглашение 2010 г., фиксирующее принцип вододеления «50/50 за вычетом экологического попуска 30,5%», посуточный режим и подекадное планирование [10] и федеральный приказ об охранной зоне национального парка «Самурский» как элемент природоохранного каркаса управления дельтой [7].

Климатический сигнал и горно-предгорные эффекты. По авторским расчётам (42 метеостанции, 1960-2025 гг.) среднегодовая температура возрастает со скоростью порядка $+0,28$ °C/10 лет.

Сопоставимые по направленности изменения в предгорной зоне Северного Кавказа фиксируются и в независимых публикациях по региональным станциям [11]. Это означает рост вероятности каскадных опасных процессов (эрозия, селевые/оползневые явления) и повышение вододефицитности в тёплый период при сохранении высокой межгодовой вариабельности осадков.

Фенологические сдвиги и индикаторы по NDVI. По анализу сезонной динамики ландшафтов на основе NDVI (MODIS, 2000–2025 гг.) в горно-лесном поясе выявлено увеличение продолжительности вегетационного сезона на 10-15 дней. Данный результат методически согласуется с применением MODIS-продуктов для мониторинга растительности и сезонности [9]. Практический смысл для управления бассейном: NDVI-аномалии могут служить ранним триггером для ограниченный выпаса, противопожарных мер и оценки деградации пастбищ.

Регрессия уровня моря, грунтовые воды и водохозяйственный пресс в дельте. Уровень моря в 2025 г. достиг -29,3 м и продолжил тенденцию снижения [3]. На уровне внешних источников достижение значений ниже -29 м подтверждается сообщениями профильных организаций и информационными материалами 2025 г., а достижение отметок порядка -29,3 м в 2025 г. фигурирует в официальных обсуждениях и прогнозных заявлениях [5]. В дельте авторы отмечают падение уровней грунтовых вод на 2-3,5 м за 20 лет и, как ключевой антропогенный фактор, водоотбор на орошение до 60-70% летнего стока в маловодье. Институционально режим водodelения и экологического попуска закреплён двусторонним соглашением (экологический попуск 30,5%, посуточное водodelение, подекадное планирование) [12].

<i>Таблица 1</i>				
Ключевые индикаторы риска и ориентировочные пороги реагирования для адаптивного управления				
Блок	Индикатор	Как измерять	Ориентировочный порог-триггер	Управленческая реакция
Климат	Температурный тренд	Наземные станции + реанализ	Устойчивое превышение тренда / серия экстремумов	Актуализация карт опасных процессов, сценарии паводков/сел
Экосистемы	NDVI-аномалии (пик сезона)	MODIS NDVI	≥ 2 композита подряд	Временное ограничение выпаса, противопожарные меры, восстановление травостоя
Морской фактор	Уровень моря	Прикаспийские наблюдения	< -29,0 м и/или снижение >0,2 м/год (3-летнее среднее)	Пересмотр планов дельтовой инфраструктуры, оценка береговой динамики
Гидрогеология дельты	Уровни грунтовых вод	Сеть реперных скважин	снижение >0,2 м/год или ниже «экологического уровня»	Лимиты изъятий, подпитка поймы/проток, охрана ключевых биотопов
Водное хозяйство	Доля водоотбора летом	Водоучетна узлах и каналах	Превышение согласованных долей в маловодье	Квоты /графики, приоритет экологического попуска
Управление	Исполнение экологического попуска	Мониторинг на гидроузле	Отклонение от режима > 2 декад	Оперативное решение комиссии, аудит водоучёта и протоколов

Индикаторно-пороговая логика управления. Для бассейна Самура критично перейти от «ведомственного реагирования» к единой индикаторно-пороговой схеме, где каждое управленческое действие привязано к измеряемому триггеру. Такой подход соответствует международной логике адаптации в трансграничных бассейнах (прозрачность методов, явное указание неопределённостей, совместимость данных и согласованная дорожная карта мер) [18].

В табл. 1 предлагается компактный набор индикаторов и порогов. Значения порогов приведены как проектные ориентиры и требуют калибровки по локальным распределениям (квантили расходов, уровней грунтовых вод, статистика NDVI-аномалий) и согласования сторонами.

Меры адаптации и устойчивые решения. Пакет мер ориентирован на минимизацию «ложной адаптации» (когда выигрыш в одном сегменте усиливает деградацию в другом) и на исполнение логики двустороннего соглашения о водodelении и экологическом попуске (табл. 2).

Отдельно подчеркнём: долгосрочные модельные оценки указывают на риск существенного снижения уровня моря в XXI веке при продолжении потепления; следовательно, «жесткая привязка» инфраструктуры и природоохранных решений к текущей береговой линии несёт риск неэффектив-

Таблица 2

Адаптационные меры, приоритет и ориентировочные ресурсные оценки				
Мера	Приоритет	Период	Краткий ожидаемый эффект	Ориентировочные затраты/ресурсы
Совместная «панель бассейна»: сток–водоотбор–грунтовые воды–NDVI–уровень моря, единые форматы обмена	Высокий	0–2 года	Единая картина риска; снижение конфликтности	10–40 млн руб.; 2–4 специалиста (ГИС/гидрология)
Усиление водоучёта и соблюдение вододелиения: посуточные протоколы, подекадные планы, аудит «потерь»	Высокий	0–2 года	Повышение управляемости в маловодье; защита экологического попуска	5–15 млн руб. + межведомственные регламенты
Программа водосбережения в АПК: реконструкция каналов, снижение фильтрационных потерь, точное/капельное орошение на приоритетных массивах	Высокий	1–5 лет	Снижение водоотбора при сохранении урожайности	0,08–0,20 млн руб./га (капельное) + ремонт по протяжённости
Сеть мониторинга грунтовых вод в дельте (реперы + сезонность) и определение «экологического уровня грунтовых вод»	Высокий	0–3 года	Предотвращение критического осушения поймы	5–25 млн руб. (сеть + 3 года обслуживания)
Природоподобные решения: вододержание на малых водотоках, буферные прибрежные полосы, восстановление травостоя, снижение эрозии	Средний	1–5 лет	Сглаживание пиков стока/эрозии; повышение устойчивости ландшафтов	1–5 млн руб. на пилотный кластер (масштабируется)
Противоэрозионные меры в предгорьях: контурная агротехника, регулирование выпаса, лесомелиорация, инженерная защита склонов	Средний	1–7 лет	Снижение селевой/оползневой опасности; защита водосбора	2–10 млн руб./100 га (зависит от набора работ)
Реабилитация дельтовых экосистем: восстановление проток/пойменных участков, поддержка увлажнения ключевых биотопов, лесовосстановление	Средний	2–7 лет	Снижение деградации лиановых лесов и гигрофитов; поддержка биоразнообразия	15–60 млн руб. на 1–3 пилотных участка
Санитарно-экологический контур: контроль сбросов, ТКО, мониторинг качества воды/донных отложений в узлах риска	Средний	1–5 лет	Профилактика ухудшения качества воды при вододефиците	5–30 млн руб. (по объектам)

ных вложений. Такой вывод поддерживает необходимость сценарного планирования дельты и адаптивного пересмотра мер.

Выводы

1. Ключевой риск Самура формируется связкой: потепление (порядка +0,28 °C/10 лет), фенологические сдвиги, вододефицит и регрессия уровня моря, приводящие к деградации дельты и усилению конфликтности водопользования.

2. Регрессия уровня моря до значений порядка -29 м и ниже, включая обсуждаемую отметку -29,3 м в 2025 г., подтверждает высокую актуальность адаптационных мер именно для устьевой зоны.

3. Институциональная основа управления уже существует: соглашение 2010 г. закрепляет экологический попуск 30,5% и посуточный режим вододелиения; операционализация требует усиления водоучёта, прозрачности данных и пороговых регламентов.

4. Наиболее быстрые и экономически оправданные меры – совместная система мониторинга/обмена данными, водосбережение в АПК и сеть мониторинга грунтовых вод в дельте; без них реабилитация экосистем будет иметь ограниченный эффект.

5. Для предотвращения «ложной адаптации» необходима единая индикаторно-пороговая логика и регулярный пересмотр порогов по мере обновления наблюдений, что соответствует международным рекомендациям по адаптации в трансграничных бассейнах.

Работа выполнена и представлена в рамках крупного научного проекта «Динамика геоэкологического состояния бассейнов горных рек Северо-Восточного Кавказа, Азербайджана и Ирана в условиях изменения климата и растущей антропогенной нагрузки» (соглашение № 075-15-2024-644).

Литература

1. Атаев З.В. Аридизация климата и трансформация гидрографической сети Российского Прикаспия // Труды Института геологии Дагестанского научного центра РАН. 2025. № 4(103). С. 89-93. DOI: 10.33580/2541-9684-2025-103-4-89-93. EDN: VQUBYI.
2. Атаев З.В., Братков В.В. Гидрографическая сеть ландшафтов Российского Прикаспия и ее реакция на современные климатические изменения // Навигация и гидрография. 2025. № 4(81). С. 125-138. EDN: JMMUOV.
3. Атаев З.В., Гаджиев А.А., Гюльмагомедов А.М., Джамирзоев Г.С., Теймуров А.А. Геоморфологические основы формирования и функционирования аква-территориального (морского) карбонового полигона «Каспий» на дагестанском побережье Каспийского моря // Юг России: экология, развитие. 2025. Т. 20, № 4(77). С. 178-189. DOI: 10.18470/1992-1098-2025-4-17. EDN: GVWMZZ.
4. Гусейнов Д., Исмаилова Н. Современные характеристики температурного режима воздуха на северо-восточном склоне Большого Кавказа // Гидрометеорология и экология. 2025. № 3. С. 22-33. DOI: 10.54668/2789-6323-2025-118-3-22-33.
5. Ермаков В.Б. Многолетние изменения уровня Каспийского моря и современные варианты их прогнозирования // Известия РАН. Серия географическая. 2023. Т. 87. № 6. С. 930–940. DOI: 10.31857/S2587556623060067.
6. Золотокрылин А.Н., Черенкова Е.А., Титкова Т.Б. Аридизация засушливых земель Европейской части России и связь с засухами // Известия Российской академии наук. Серия географическая. 2020. № 2. С. 207-217. DOI: 10.31857/S258755662002017X. EDN: SFCKUS.
7. Министерство природных ресурсов и экологии России. Приказ от 14.07.2025 № 391 «Об установлении границ охранной зоны национального парка «Самурский» и об утверждении Положения о данной охранной зоне». [https://rg.ru/documents/2025/10/21/minprirody-prikaz391-dok.html?utm_referrer=https%3A%2F%2Fyandex.ru%2F\(дата обращения: 03.03.2026\)](https://rg.ru/documents/2025/10/21/minprirody-prikaz391-dok.html?utm_referrer=https%3A%2F%2Fyandex.ru%2F(дата%20обращения%3A%2003.03.2026)).
8. Росгидромет. Доклад об особенностях климата на территории Российской Федерации за 2024 год (официальное издание). 2025. <https://www.meteorf.gov.ru/press/news/39990/> (дата обращения: 03.03.2026).
9. Рыбашлыкова Л.П. Аридизация климата в Западном Прикаспии как фактор снижения продуктивности пастбищных фитоценозов // Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture. 2025. Т. 17. № 3. С. 133–147. DOI: 10.12731/2658-6649-2025-17-3-1165
10. Соглашение между Правительством Российской Федерации и Правительством Азербайджанской Республики о рациональном использовании и охране водных ресурсов трансграничной реки Самур (г. Баку, 03.09.2010). [https://www.mid.ru/ru/foreign_policy/international_contracts/international_contracts/2_contract/45114/\(дата обращения: 03.03.2026\)](https://www.mid.ru/ru/foreign_policy/international_contracts/international_contracts/2_contract/45114/(дата%20обращения%3A%2003.03.2026)).
11. Федченко Л.М., Ташилова А.А., Кешева Л.А., Теунова Н.В. Изменение основных климатических показателей в предгорной зоне Северного Кавказа за период 1961–2022 гг. // Географический вестник (Geographical Bulletin). 2024. № 1(68). С. 113–123. DOI: 10.17072/2079-7877-2024-1-113-123
12. Шинкаренко С.С., Выпрлицкий А.А., Васильченко А.А., Берденгалиева А.Н. Анализ влияния антропогенных нагрузок на процессы опустынивания в Северном Прикаспии по спутниковым данным // Исследование Земли из космоса. 2023. № 3. С. 44-57. DOI: 10.31857/S0205961423030065
13. Copernicus Climate Data Store. ERA5-Land dataset description (monthly/aggregated products; методическая база). [https://cds.climate.copernicus.eu/datasets/reanalysis-era5-land-monthly-means?tab=download\(дата обращения: 03.03.2026\)](https://cds.climate.copernicus.eu/datasets/reanalysis-era5-land-monthly-means?tab=download(дата%20обращения%3A%2003.03.2026)).
14. Court R., Lattuada M., Shumeyko N. et al. Rapid decline of Caspian Sea level threatens ecosystem integrity, biodiversity protection, and human infrastructure. *Communications Earth & Environment*. 2025. 6(1):261. DOI: 10.1038/s43247-025-02212-5
15. IPCC. Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Summary for Policymakers. 2022. [https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg2/chapter/summary-for-policymakers/\(дата обращения: 03.03.2026\)](https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg2/chapter/summary-for-policymakers/(дата%20обращения%3A%2003.03.2026)).
16. MODIS Vegetation Indices (MOD13Q1) dataset documentation (NDVI/EVI; 16 day composites). https://lpdaac.usgs.gov/documents/103/MOD13_User_Guide_V6.pdf
17. Samant R., Prange M. Climate-driven 21st century Caspian Sea level decline estimated from CMIP6 projections. *Communications Earth & Environment*. 2023. 4(1). DOI: 10.1038/s43247-023-01017-8
18. UNECE. Water and Climate Change Adaptation in Transboundary Basins: Lessons Learned and Good Practices. 2015. [https://unece.org/environment-policy/publications/water-and-climate-change-adaptation-transboundary-basins-lessons\(дата обращения: 03.03.2026\)](https://unece.org/environment-policy/publications/water-and-climate-change-adaptation-transboundary-basins-lessons(дата%20обращения%3A%2003.03.2026)).

ПРОБЛЕМЫ ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКОГО ПРОГНОЗА УРОВНЯ ПОДЗЕМНЫХ ВОД НА УРБАНИЗИРОВАННЫХ ТЕРРИТОРИЯХ

А.Г. Барановский

ООО «Трансстроймеханизация», 454071, Россия, г. Москва, ул. Киевская, д. 7
E-mail: geologia85@mail.ru

Актуальная нормативная документация предусматривает разработку прогноза изменения инженерно-геологических условий.

Согласно СП 446.1325800.2019 «Инженерно-геологические изыскания для строительства. Общие правила производства работ» прогноз изменения инженерно-геологических условий относится к основному виду изыскательских работ.

В соответствии с СП 22.13330.2016 «Основания зданий и сооружений» под гидрогеологическим прогнозом подразумевается комплекс работ расчетного характера, целью которых является качественная и количественная оценка изменений гидрогеологических условий, вызванных строительством.

Для получения достоверных прогнозных оценок изменений гидрогеологических условий при проектировании сооружений следует использовать результаты режимных наблюдений за подземными водами (на застраиваемой и прилегающей территориях), а также выполнить комплекс опытно-фильтрационных работ по определению фильтрационных параметров водоносных горизонтов, влияющих на изменения гидрогеологической обстановки в районе нового строительства.

Оценку возможных естественных сезонных и многолетних колебаний уровня подземных вод проводят на основе данных многолетних режимных наблюдений по государственной стационарной сети с использованием результатов краткосрочных наблюдений, в том числе разовых замеров уровня подземных вод, выполняемых при инженерных изысканиях на площадке строительства.

Для разработки проектов сооружений и производства земляных работ необходимы данные о среднем многолетнем положении уровня подземных вод и их максимальном и минимальном уровнях за период наблюдений, а также о продолжительности стояния паводковых (весенних и летне-осенних) уровней подземных вод.

Система стационарных наблюдений в перспективе должна служить основой для создания постоянно действующей гидрогеологической модели территории, позволяющей непрерывно отслеживать ситуацию в районах развития подтопления, разрабатывать краткосрочные и долгосрочные прогнозы и осуществлять подготовку вариантов экспертных предложений.

Прогнозные оценки возможных изменений уровня (напора) подземных вод на площадке строительства сроком на 25 и 15 лет необходимо выполнять с учетом возможных изменений техногенных условий (застройки и эксплуатации), характеристика которых должна быть отражена в техническом задании на производство изысканий. Указанные оценки выполняются изыскательской организацией совместно с проектной.

Возможная достоверность и точность проведения оценки ограничивается полнотой и качеством исходного фактического материала (в том числе по техногенным условиям). При проведении изысканий под отдельные здания и сооружения оценки носят, как правило, весьма приближенный характер.

При этом невозможно учесть влияние на формирование режима подземных вод не только сопредельных застроенных участков, но и особенности условий (природных и техногенных) самой строительной площади, так как отсутствуют, как правило, стационарные наблюдения за подземными водами (при кратковременных изысканиях определяются только установившийся уровень в скважине, химический состав и температура воды на период проведения работ).

При строительстве ответственных зданий и сооружений для повышения достоверности прогнозных оценок возможных изменений гидрогеологических условий необходимо располагать длительными режимными наблюдениями для незастроенной территории (не менее года) за подземными водами на территории, значительно превышающей строительную площадку, ограниченной реками, ручьями и т. д. (границные условия), а также выполнить необходимый комплекс опытно-фильтрационных работ и иметь соответствующие сроки производства инженерных изысканий, что должно

Классификация территории по характеру подтопления

Нормативный документ	Характер подтопления (состояния) застраиваемой территории (Критерии типизации территории по подтопляемости)		
	Области (по наличию процесса подтопления)	Районы (по условиям развития процесса)	Участки (по времени развития процесса)
Пособие к СНиП 2.02.01-83	Подтопленные	Подтопленные в естественных условиях	-
		Подтопленные в техногенно измененных условиях	Постоянно подтопленные Временно подтопленные
	Неподтопленные	Потенциально подтопляемые в результате ожидаемых техногенных воздействий	Постоянно подтопленные Временно подтопленные
		Потенциально неподтопляемые (в силу геологических, гидрогеологических причин и связи с незначительным техногенным воздействием)	-
СП 22.13330.2016 (с Изменениями № 1,2,3,4,5)	Подтопленные	Подтопленные в естественных условиях	-
		Подтопленные в техногенно измененных условиях	-
	Неподтопленные	Неподтопляемые в силу геологических, гидрогеологических, топографических и других естественных причин	-
		Потенциально подтопляемые в результате ожидаемых техногенных воздействий	-
		Осушаемые (неподтопляемые благодаря осуществлению надежных технических мероприятий по снижению уровня грунтовых вод)	-
СП 11-105-97, часть II, приложение И	I Подтопленные	I-A Подтопленные в естественных условиях	I-A-1 Постоянно подтопленные
			I-A-2 Сезонно (ежегодно) подтапливаемые
		I-B Подтопленные в техногенно измененных условиях	I-B-1 Постоянно подтопленные в результате долговременных техногенных воздействий (старой застройки, ТЭЦ, оросительных систем и т.п.)
	I-B-2 Регулярно (ежегодно) подтапливаемые в результате систематических техногенных воздействий (периодическая подача воды в оросительные системы, сбросы промстоков, утечки мокрых производств)		
	II потенциально подтопляемые	II-A потенциально подтопляемые в результате длительных климатических изменений (глобальное потепление климата, изменение циркуляции атмосферы, увеличение годовой суммы осадков, подъем уровней морей, водохранилищ)	II-A-1, 2,...,n Медленное повышение уровня грунтовых вод с прогнозируемым подтоплением
			II-A-1, 2,..., n Периодическое быстрое повышение уровня
		II-B потенциально подтопляемые в результате ожидаемых техногенных воздействий (планируемое строительство гидротехнических сооружений, проектируемая промышленная и гражданская застройка с комплексом водонесущих коммуникаций, вырубка лесов и т.п.)	II-B-1, 2,..., n Медленное повышение уровня грунтовых вод с прогнозируемым подтоплением
			II-B-1, 2,, n Периодическое быстрое повышение уровня
	III Неподтопляемые	III-A Неподтопляемые в силу геологических, гидрогеологических, топографических и других естественных причин (скальные трещиноватые породы с глубиной залегания уровня 50 м и более; надежный естественный дренаж и др.)	III-A-1 Подтопление отсутствует и не прогнозируется в будущем
			III-B-1 Подтопление отсутствует и не прогнозируется до начала освоения территории
		III-B Неподтопляемые благодаря осуществлению надежных технических мероприятий по снижению уровня грунтовых вод	III-B-1 Подтопление отсутствует и не прогнозируется на период действия защитных мероприятий

<i>Таблица 2</i>				
Краткая оценка сопоставлений амплитуды колебания уровня подземных вод по результатам разных методов исследования				
Наименование объекта	Максимальная величина подъема уровня грунтовых вод, м			
	Пособие к СНиП 2.05.02-85	Пособие к СНиП 2.02.01-83 (с учетом техногенного воздействия)	по единичным замерам	по данным наблюдательной сети
<i>Застроенная территория</i>				
Площадка в Адлеровском районе г. Сочи	0,70	1,5	0,7-6,2	1,3
<i>Незастроенная территория</i>				
Микрорайон №57 (г. Челябинск)	0,85	1,5	1,4	1,6
Микрорайон №20 (г. Челябинск)	0,65	1,5	-	1,5
пос. Ласковый (Сосновский район)	0,55	1,5	2,5	1,0-1,9

быть специально отмечено в техническом задании заказчика. Однако значительная неопределенность величин возможных утечек из подземных коммуникаций резко снижает точность выполняемых оценок.

Оценка возможных естественных сезонных и многолетних колебаний уровня подземных вод производится на основе данных многолетних режимных наблюдений по государственной стационарной сети и освещается в выпусках, публикуемых ФГБУ «Гидроспецгеология».

При использовании материалов многолетних наблюдений ФГБУ «Гидроспецгеология» следует иметь в виду, что последние получены, как правило, для естественного (ненарушенного или слабонарушенного) режима подземных вод.

За последнее столетие отечественными учеными опубликованы многочисленные работы по методике гидрогеологического прогноза [1-12].

По результатам исследования разработаны классификации грунта по характеру подтопления (таблица 1), включенные в нормативную документацию. Следует обратить внимание, что единой классификации не существует.

К сожалению, в настоящее время на большей части территории Российской Федерации система функционирования государственной стационарной сети, обустроенная в советское время нарушена.

Чаще всего инженеры-геологи при прогнозировании положения максимального уровня подземных вод опираются на единовременные замеры при проведении инженерно-геологических работ и сопоставлении положения УПВ на разные временные интервалы проведения изысканий.

Данная методика не всегда показывает достоверные результаты прогноза поскольку не отражает всю сложность гидродинамики подземных вод, источники питания водоносных горизонтов и объем подпитки подземных вод из существующих водонесущих коммуникаций.

В процессе своей деятельности автору довелось производить гидрогеологические прогнозы апеллируя данными остаточной режимной сети на площадке исследования, так и единичными замерами уровня подземных вод в период проведения инженерно-геологических изысканий.

Краткая оценка сопоставлений амплитуды колебания уровня подземных вод по результатам разных методов исследования приведена в таблице 2.

Для расчета максимального прогноза использовали две общепринятые методики, отраженные в Пособии к СНиП 2.05.02-85 и в Пособии к СНиП 2.02.01-83.

Из таблицы 2 следует, что при оценке максимального уровня подземных вод не стоит опираться только на один метод оценки гидрогеологического прогноза. Важна комплексная оценка колебаний уровня подземных вод в том числе и с учетом возможной техногенной подпитки водоносного горизонта.

По мнению автора необходимо возродить городскую режимную сеть крупных мегаполисов с восстановлением утраченных наблюдательных скважин и расширением их количества на вновь застроенные территории.

Это позволит улучшить точность гидрогеологического прогноза, что плодотворно скажется на достоверности оценке изменения физико-механических свойств грунтов основания как строящихся, так и эксплуатирующихся зданий и сооружений.

Литература

1. *Абрамов С. К., Дегтярев Б. М., Десклер Е. С. Прогноз и предотвращение подтопления грунтовыми водами территорий при строительстве. М.: Стройиздат, 1978. 176 с.*
2. *Альтовский М.Е., Коноплянцев А. А. Методическое руководство по изучению режима подземных вод. М.: ГОСГЕОЛТЕХИЗДАТ, 1954. 196 с.*
3. *Гавич И.К., Семенова С.М., Швец В.М. Методы обработки гидрогеологической информации с вариантами задач. М.: Высшая школа, 1981. 160 с.*
4. *Зальцберг Э.А. Статистические методы прогноза естественного режима уровня грунтовых вод. Л.: Недра, 1976. 101 с.*
5. *Коноплянцев А. А., Семенов С.М. Прогноз и картирование режима грунтовых вод. М.: Недра, 1974. 216 с.*
6. *Лебедев А. В. Вопросы изучения и прогноза режима подземных вод. М.: Недра, 1964. 222 с.*
7. *Попов В. Н. Организация и производство наблюдений за режимом подземных вод (Инструктивные указания). М.: ГОСГЕОЛТЕХИЗДАТ, 1955. 199 с.*
8. *Семенов С. М. Гидрогеологические прогнозы в системе мониторинга подземных вод. М.: Наука, 2005. 136 с.*
9. *Смирнов Р. А., Богданов В. И., Грыза А. А., Солдак А. Г. Гидрогеологические изыскания на застроенных территориях. Киев: Будівельник, 1976. 204 с.*
10. *Рекомендации по выбору исходных данных для модели прогноза процесса подтопления городских территорий / ПНИИИС Госстроя СССР. М.: Стройиздат, 1986. 136 с.*
11. *Рекомендации по выбору гидрогеологических параметров для обоснования способа дренирования подтопленных городских территорий / ПНИИИС Госстроя СССР. М.: Стройиздат, 1986. 56 с.*
12. *Рекомендации по методике оценки и прогноза гидрогеологических условий при подтоплении городских территорий / ПНИИИС Госстроя СССР. М.: Стройиздат, 1983. 240 с.*

ОЦЕНКА ЭКОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ В БАССЕЙНАХ КРУПНЫХ АРКТИЧЕСКИХ РЕК

А.П. Белоусова, А.С. Оботуров

ФГБУН Институт водных проблем РАН, 119333
г. Москва, ул. Губкина д. 3
E-mail: anabel@iwp.ru, belanna47@mail.ru; phantom-91_91@mail.ru

Россия – великая арктическая держава с обширными осваиваемыми территориями и акваториями в Заполярье – регионе особых научных, политических экономических и оборонных интересов [8]. Большая часть Арктической зоны России от Тихого океана до Белого моря занята многолетней мерзлотой.

Объекты исследования – Республика Саха (Якутия) и Архангельская область – относятся к районам Крайнего Севера и местностям, приравненным к Крайнему Северу (рис. 1). Архангельская область – это край лесной индустрии, рыбной промышленности, современного судостроения и российской космонавтики (космодром «Плесецк»). Здесь добываются ценные полезные ископаемые, такие как алмазы, бокситы, хром, ванадий [11].

Республика Саха (Якутия) – самый крупный субъект Российской Федерации, геостратегическая территория на 40% находящаяся за Полярным кругом. По рейтингу общих запасов всех видов природных ресурсов она занимает первое место в Российской Федерации. Удельный вес запасов республики в минерально-сырьевом потенциале России составляет: по алмазам – 82%, по золоту – 17%, по урану – 61% [7].



Рис. 1. Распространение многолетней мерзлоты [8, 12, 13]. Указаны бассейны Северной Двины и Лены

Для каждого региона выбран крупный речной бассейн: Лена – крупнейшая российская река, бассейн которой полностью находится в зоне распространения многолетней мерзлоты; Северная Двина – крупная река Европейской Арктики, в бассейне которой многолетняя мерзлота не распространена.

Цель исследования – анализ состояния окружающей среды. Задачи исследования: оценка влияния интегральной техногенной и природной нагрузки на окружающую среду; мелкомасштабная оценка защищенности подземных вод в бассейне Лены (1:5000000) и Северной Двины (1:1500000); оценка опасности окружающей среде от загрязненных подземных вод и результирующей уязвимости подземных вод к загрязнению. Для выполнения задач применены оригинальные авторские методики.

Для бассейна р. Лена в пределах Республики Саха (Якутия) впервые проведено исследование как негативного, так и позитивного влияния различных условий на окружающую среду в 2020 году.

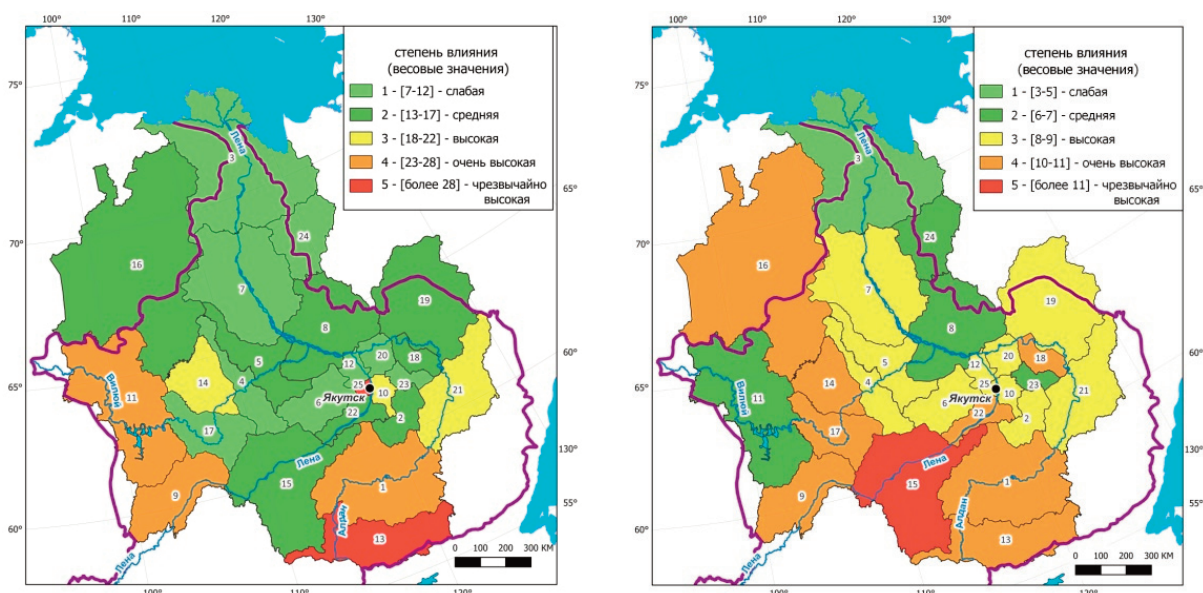


Рис. 2, 3. Обзорная карта степени влияния интегральной техногенной нагрузки с негативным влиянием (слева) и положительным влиянием (справа) на окружающую среду в бассейне р. Лена

Для 25 улусов (районов) республики были проанализированы 53 негативных показателя состояния различных компонентов окружающей среды, объединенных в 8 групп, и 8 положительных показателей (3 группы). Для каждого показателя выделено до 5 степеней техногенной нагрузки. Для каждой группы выделено до 5 степеней интенсивности суммарной техногенной нагрузки на окружающую среду, проведена оценка суммарной техногенной нагрузки в пределах данной группы с построением соответствующей карты (11 карт) [1, 2]. В результате улусы сгруппированы по выбранным показателям (рис. 2, 3; табл. 1).

Для бассейна Северной Двины будет проведена оценка техногенной и природной нагрузки на окружающую среду за 2021-2024 годы. В связи с этим разработана новая методика разновекторного анализа динамики первичной информации о состоянии окружающей среды, включая подземные воды как ее компонента, в пределах Архангельской области (рис. 4).

<i>Таблица 1</i>		
Показатели интегральной нагрузки на окружающую среду в Республике Саха (Якутия)		
Техногенная нагрузка	Положительное влияние	Улус
чрезвычайно высокая	очень высокое и высокое	Якутск, Нерюнгринский
очень высокая		Алданский, Ленский, Мирнинский
высокая		Нюрбинский, Мегино-Кангаласский
слабая		Сунтарский, Верхневилуйский, Горный, Жиганский, Намский, Усть-Алданский
слабая – средняя	среднее – чрезвычайно высокое	остальные улусы
слабая	слабое	Булунский

В связи с распространением многолетней мерзлоты в бассейне р. Лена, а также обзорного характера и меньшего масштаба исследований было принято решение провести мелкомасштабную (1: 5000000) оценку защищенности подземных вод от загрязнения. Из-за разномасштабности промежуточных карт, была проведена их генерализация. Обзорные карты были оцифрованы с бумажных или электронных носителей, а также построены с использованием ГИС-пакетов ArcGIS, QGIS Desktop 3.28.2 Firenze и MapInfo Pro 17.0 [3, 4].

Наибольшая часть бассейна Лены в границах Республики Саха (Якутия) занята слабо и очень слабо защищенными грунтовыми водами – 12,6% и 61,7% от площади соответственно. Области со средне

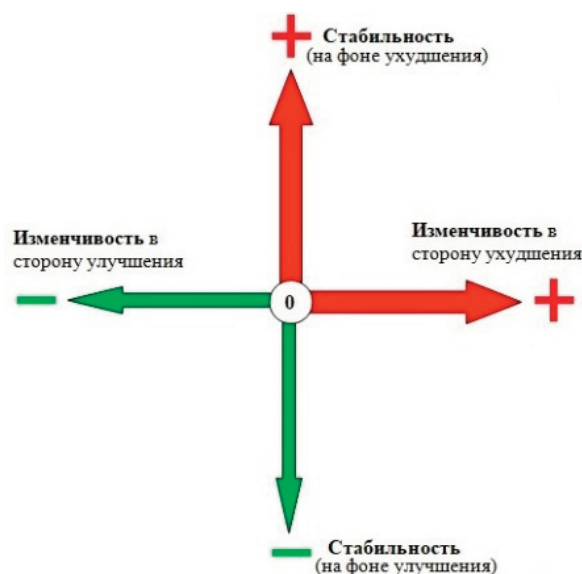


Рис. 4. Разновекторная оценка природной и техногенной нагрузки на окружающую среду

защищенными подземными водами распространены на 19,9%, с сильно защищенными – 5,8% от площади (рис. 5).

Из-за недостаточности и неполноты мониторинговых данных оценка опасности окружающей среде от загрязненных подземных вод и результирующей уязвимости подземных вод к загрязнению проведены для небольшой территории – междуречья Алдана и Тимптона в Нерюнгринском улусе. Основой оценки послужили материалы государственной опорной наблюдательной сети (далее – ГОНС) за 2020 год.

Для каждой из 5 групп загрязняющих веществ, выделенных по диапазону ПДК, рассчитывался групповой индекс опасности от загрязнения (I_g) по предложенному нами выражению:

$$I_g = \frac{\sum_{i=1}^n (\overline{C}_i k_{wj})}{n},$$

где $\overline{C}_i = \frac{C_i}{\text{ПДК}_i}$; C_i – концентрация i -го загрязняющего вещества в подземных водах, n – количество

загрязняющих веществ в j -той группе, k_{wj} – весовой коэффициент опасности для каждого загрязняющего вещества (безразмерная величина).

В химическом составе подземных вод четырёх скважин ГОНС в группе Ib присутствует ртуть, концентрация которой ниже предела обнаружения (менее 0,01 мг/дм³), но точно неизвестно ее соотношение с ПДК (0,0005 мг/дм³) [9]. В связи с тем, что, весовой коэффициент опасности при максимальной её концентрации даже при значении 0,01 мг/дм³ достигает значения 90, и в пробах воды в бассейне рр. Алдан и Амга ртуть периодически присутствует, достигая 2,8 ПДК [5, 6, 7], было решено рассчитать три гипотетических сценария для расчета потенциальной опасности от загрязненных подземных вод: 1 – максимальный (наихудший с превышением ПДК в 20 раз; $c_i \times k_{wj} = 90$), 2 – средний (в 10 раз; $c_i \times k_{wj} = 45$) и 3 – минимальный (наилучший с условно нулевым содержанием ртути; $c_i \times k_{wj} = 0$). Для каждого из сценариев была построена карта потенциальной опасности от загрязненных подземных вод, а также полученная сложением её с картой защищенности – карта результирующей уязвимости (рис. 6, 7).

Для бассейна Северной Двины построены только карта глубин подземных вод (в бумажном и электронном виде; рис. 8) и карта литологического строения зоны аэрации (в бумажном виде).

В результате применения новых оригинальных авторских разработок создана методическая основа для оценки экологического состояния окружающей среды изучаемого уникального в природном и хозяйственном аспектах Арктического региона.

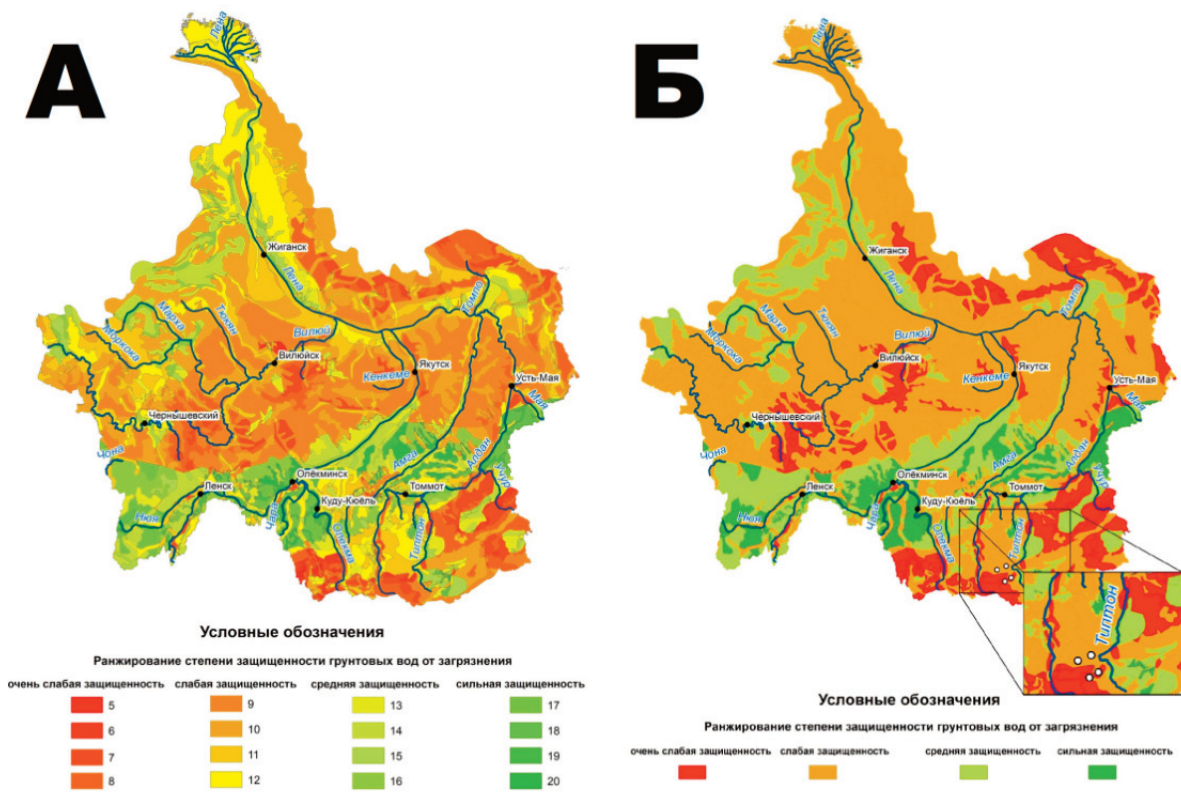


Рис. 5. Обзорная генерализованная мелкомасштабная карта защищенности подземных вод в бассейне реки Лена: А – детализированная; Б – с объединенными градиациями. Масштаб 1:25000000 (с уменьшением). На врезке указаны скважины ГОНС в Нерюнгринском районе

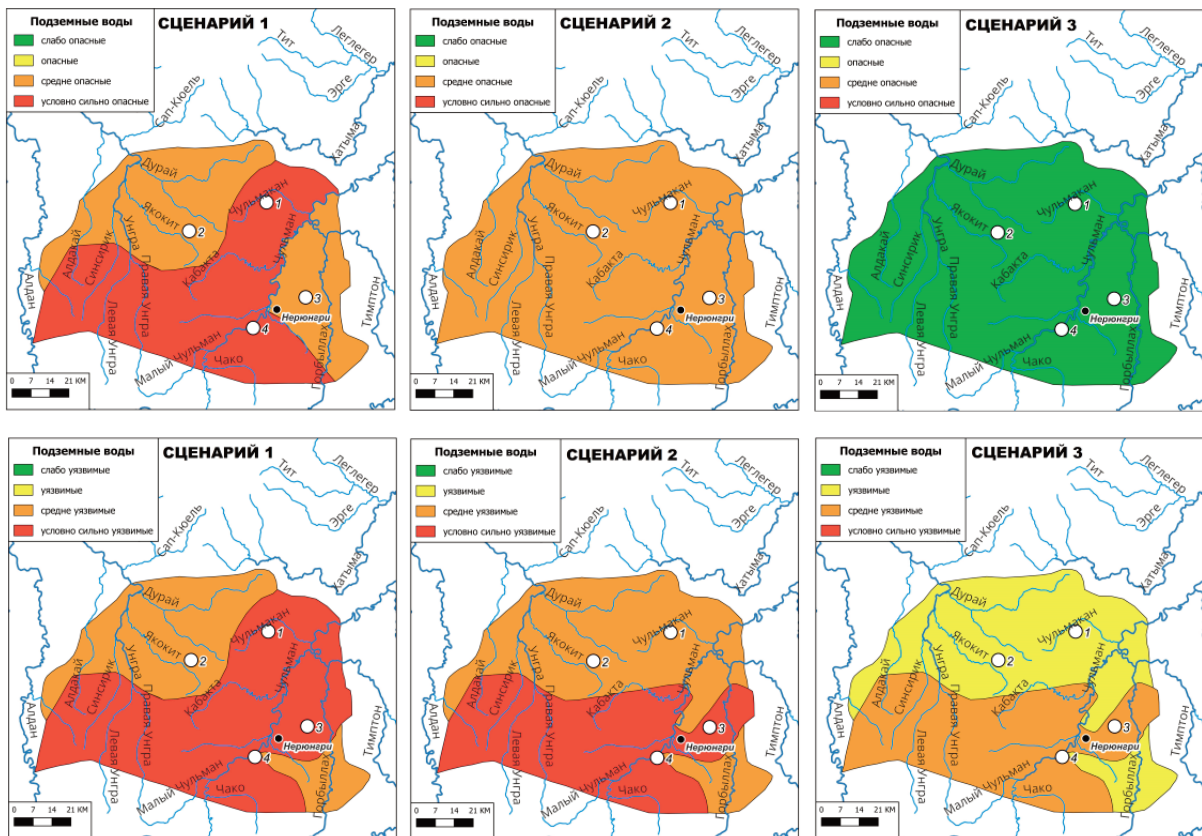


Рис. 6, 7. Обзорные генерализованные мелкомасштабные карты потенциальной опасности окружающей среде от загрязненных подземных вод (сверху) и результирующей уязвимости подземных вод (снизу) в бассейне реки Лена, три сценария

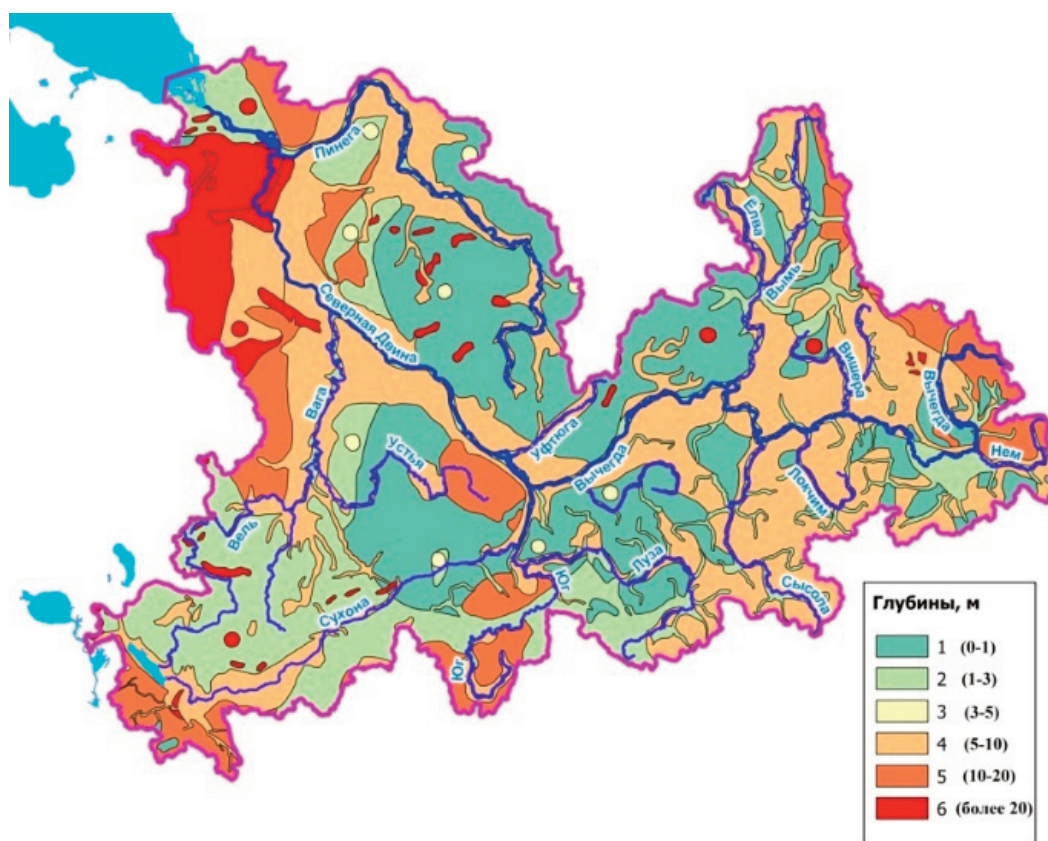


Рис. 8. Глубины залегания подземных вод в бассейне Северной Двины [10].
Оцифрованный вариант с градиентами глубин: в баллах (цветом), в скобках – в метрах

Для мелкомасштабной оценки степени защищенности и уязвимости подземных вод к загрязнению на территории бассейна р. Северной Двины усовершенствованы ранее разработанные подходы к методике (р. Лена) с поправкой на отсутствие многолетнемерзлых пород. Продолжается работа по построению схематической карты защитной зоны, как основы для построения карты защищенности подземных вод.

Работа выполнена в рамках научной программы Института водных проблем РАН (проект № FMWZ-2025-0002).

Литература

1. Белоусова А.П., Оботуров А.С., Руденко Е.Э. Оценка интегральной техногенной нагрузки на окружающую среду в бассейне реки Лена // *Экосистемы: экология и динамика*. № 1. 2024. С. 51-85.
2. Белоусова А.П., Руденко Е.Э., Оботуров А.С. Оценка экологического состояния окружающей среды и подземной гидросферы как приемника негативных последствий в бассейне реки Лена // *Недропользование XXI век*. 2024. № 2 (103). С. 102-108.
3. Белоусова А.П., Оботуров А.С., Руденко Е.Э. Особенности мелкомасштабной оценки защищенности и уязвимости подземных вод криолитозоны (на примере бассейна реки Лены, республика Саха – Якутия) // *Недропользование XXI век*. 2025. № 2-3 (107). С. 56-63.
4. Белоусова А.П., Оботуров А.С., Руденко Е.Э. Оценка защищенности и уязвимости подземных вод бассейна р. Лены в Республике Саха (Якутия) // *Экосистемы: экология и динамика*. 2025. Т. 9. № 1. С. 35-58.
5. *Государственный доклад о состоянии и охране окружающей среды Республики Саха (Якутия) в 2020 году*. Якутск. 2021. 678 с.
6. *Государственный доклад о состоянии и охране окружающей среды Республики Саха (Якутия) в 2022 году*. Якутск. 2023. 888 с.
7. *Государственный доклад о состоянии и охране окружающей среды Республики Саха (Якутия) в 2023 году*. Якутск. 2024. 963 с.

8. Грамберг И.С., Додин Д.А., Лаверов Н.П. и др. *Арктика на пороге третьего тысячелетия (ресурсный потенциал и проблемы экологии)*. СПб.: Наука. 2000. 247 с.
9. *Информационный бюллетень о состоянии недр на территории Дальневосточного федерального округа за 2020 год. 2021 / Под ред. С.А. Козлова. Хабаровск: «Дальневосточный региональный центр государственного мониторинга состояния недр». 392 с.*
10. *Карта глубин залегания грунтовых вод Европейской части СССР. М. 1:1500000. / Гл. ред. А.Н. Семихатов. 1955.*
11. *Отчет о выполнении работ по объекту «Создание гидрогеологической карты северо-Двинского Артезианского бассейна масштаба 1:1000000». 5 книг / отв. исполнитель Г.Ю. Воронюк. Санкт-Петербург. 2015.*
12. *СЕВМОРИПУТЬ 2.0. Как совершить арктический прорыв [Электронный ресурс] URL: <https://icebreakers.tass.ru/> (дата обращения: 10.12.2025).*
13. *Arctic Permafrost Zones. Map. [Электронный ресурс]. URL: https://gtnp.arcticportal.org/images/Pictures/Maps/GTN-P_map_permafrostzones_Arctic.jpg. (дата обращения: 13.11.2025).*

РЕКОМЕНДАЦИИ ПО РАЦИОНАЛЬНОМУ ИСПОЛЬЗОВАНИЮ И ОХРАНЕ ПОДЗЕМНЫХ ВОД ОТ ИСТОЩЕНИЯ НА ТЕРРИТОРИИ МИКАШЕВИЧСКОГО ГОРНОДОБЫВАЮЩЕГО РАЙОНА

О.А. Берёзко, О.В. Васнёва, В.Е. Волков, Е.М. Черевач, К.Д. Ровкач

Государственное предприятие «НПЦ по геологии»,
филиал «Институт геологии»
ул. Академика Купревича, д. 7, 220084, Минск, Республика Беларусь
mail: gidrogeol@geologiya.by

Подземные воды в Республике Беларусь по объемам ежегодного использования многократно превосходят массу всех вместе взятых других добываемых из недр природных ресурсов. Хозяйственно-питьевое водоснабжение в стране базируется на использовании пресных подземных вод. Поэтому наиболее актуальной задачей сегодня является решение вопросов рационального использования и их охраны от загрязнения и истощения. К основным техногенным объектам, которые приводят к изменению гидродинамического режима подземных вод, относятся крупные городские водозаборные сооружения, карьерные водоотливы на обводненных месторождениях и региональные мелиоративные системы [5].

Именно таким техногенным объектом является Микашевичский горнодобывающий район, расположенный в южной части бассейна р. Припять. Для прогноза гидродинамического режима и разработки рекомендаций по водоохранным мероприятиям территории исследований, авторами собраны, систематизированы геолого-гидрогеологические материалы; с применением методов статистической обработки проанализированы данные государственного водного кадастра и мониторинга подземных вод; выполнены полевые исследования (замеры уровней в колодцах, реках, мелиоративных каналах, обследование эксплуатационных и наблюдательных скважин и др.) с проведением опытно-фильтрационных работ (ОФР) по локальной сети скважин, расположенной в районе ключевого объекта; построены прогнозные карты гидродинамического режима подземных вод и даны рекомендации по водоохранным мероприятиям [1-4].

В состав Микашевичского горнодобывающего района входят разрабатываемое с 1973 г. месторождение строительного камня Микашевичи и осваиваемое с 2015 г. месторождение строительного камня Ситницкое. В составе полезного ископаемого преобладают граниты (около 90%).

Широкомасштабная разработка горнодобывающего района ведется открытым способом под защитой карьерного водоотлива с максимальной производительностью свыше 120 тыс. м³/сут. В общем балансе формирования карьерного водоотлива доля подземных вод на этапе стабилизации составляет около 80%, остальная часть приходится на приток из ближайших водотоков и водоемов с подземным стоком, приток атмосферных осадков со склоновым стоком с прилегающих территорий.

При разработке месторождений с карьерным водоотливом на месторождениях формируются депрессионные воронки, в пределах которых происходит осушение обводненных пластов, снижение уровня в водоносных горизонтах и сокращение поверхностного стока. Развитие депрессионных воронок в напорных горизонтах происходит значительно быстрее, чем при осушении безнапорных пластов [6].

В региональной депрессии под воздействием водоотлива из месторождения Микашевичи прекратился сток в реки Вальчувка, Волохва, каналов Ситницкий и Гленбока. В зону заметного влияния в перспективе попадут каналы Глухая Лань, Панговский, реки Случь и Припять. Согласно исследованиям А.М. Гречко, В.Е. Волкова и др., при эксплуатации месторождения Микашевичи произошли и гидрохимические изменения поверхностных и подземных вод (привлечение соленых вод из более глубокозалегающих водоносных горизонтов).

Гидрогеологические условия месторождений Ситницкое и Микашевичи довольно схожие. Основными водоносными горизонтами и комплексами, распространенными в районе Микашевичского горнодобывающего комплекса, являются: водоносные горизонты (комплексы) четвертичных, неогеновых, палеогеновых, меловых, юрских, каменноугольных, девонских и протерозойских отло-

жений. Удельные значения водопритоков, рассчитанные для площади запасов по промышленным критериям практически одинаковы.

Гидродинамический режим безнапорно-напорных подземных вод четвертичного, палеоген-неогенового водоносного комплекса в первую очередь определяется дренирующим влиянием русел рек Лань, Случь, Припять, а также сетью мелиоративных каналов.

В естественных условиях основная область питания эксплуатируемого водоносного комплекса находилась в северной части междуречья, выше гидроизогипсы 132 м. Основные линии тока междуречья 1-4 направлены от области питания с севера на юг в сторону реки Припять. Напорные градиенты составляют $4,2-4,8 \times 10^{-4}$, скорость потока изменяется в пределах $2,8-3,2 \times 10^{-3}$ м/сут. Суммарный расход потока подземных вод, поступающих из междуречья непосредственно в русло реки Припять, равен $1576 \text{ м}^3/\text{сут}$. При этом минимальная скорость потока $2,8 \times 10^{-3}$ м/сут, характерна для линии тока 3 в центральной, наиболее заболоченной части междуречья. Линии тока 5-8 направлены в сторону русла реки Случь. Напорные градиенты составляют $4,0-5,0 \times 10^{-4}$ м/сут, а скорость фильтрации потока изменяется в пределах $2,7-3,4 \times 10^{-3}$ м/сут. Суммарный расход потока подземных вод непосредственно в реку Случь – $961 \text{ м}^3/\text{сут}$ (рис. 1).

Гидродинамическая сетка фильтрационного потока подземных вод междуречья в естественных условиях наиболее деформирована, особенно в паводковые и в меньшей степени – в межсезонные периоды. Суммарный приток подземных вод из заболоченного междуречья в естественных условиях составляет $2537 \text{ м}^3/\text{сут}$, при этом модуль подземного стока в реки Припять, Случь, Лань – не более $0,1 \text{ л/с}$ на км^2 , что объясняется значительным превышением испарения над инфильтрацией атмосферных осадков в зоне аэрации мощностью не более 1,0-1,5 м.

В прогнозируемых нарушенных условиях междуречья основное направление линий тока подземных вод определяется дренирующим влиянием водоотлива из карьеров Микашевичского горнодобывающего района при проектной глубине отработки полезного ископаемого (рис. 2).

Гидродинамический режим подземных вод в нарушенных условиях характеризуется изменением его первоначальных элементов (напоров, градиентов, скорости фильтрации и расходов) вследствие техногенной деформации гидродинамической сетки потока в междуречье. Основные линии тока 2-7 от области питания с северной части междуречья с градиентами от $1,0 \times 10^{-2}$ до $8,6 \times 10^{-3}$ направлены в стороны котлованов Микашевичского горнодобывающего района, максимальный градиент находится на линии тока 4 (центр депрессии). Линия тока 1 вдоль реки Лань ограничивает с запада современное гидродинамическое влияние водоотлива из карьеров. С севера и северо-востока в котлованы поступает около $12400 \text{ м}^3/\text{сут}$ воды. Линия тока 8 вдоль реки Случь с градиентом $4,3 \times 10^{-4}$ ограничивает совместное влияние водоотлива на востоке. Вдоль линий тока 10-13 с максимальными градиентами $1,4-1,5 \times 10^{-2}$, со стороны реки Припять, в депрессию привлекается около $15100 \text{ м}^3/\text{сут}$ подземных вод. Остаточный поток в реку Припять по линиям тока 14-17 с градиентами $2,2-4,3 \times 10^{-2}$ не превышает $560 \text{ м}^3/\text{сут}$ воды.

Естественный гидродинамический режим подземных вод в нижнем течении междуречья рек Лань и Случь на площади около 300 км^2 трансформируется под влиянием карьерного водоотлива при совместном освоении месторождений Микашевичи и Ситницкое. Увеличатся градиенты фильтрации подземных вод, возрастут скорости потоков и изменится их основное направление ламинарного потока с севера на юг в сторону реки Припять на радиальную фильтрацию в сторону карьерных котлованов. Основные потоки подземных вод будут направлены в сторону карьерных котлованов глубиной 100-150 м и более.

Стабильный приток подземных вод в карьерные котлованы (без учета атмосферных осадков и увеличения инфильтрации) составит $27,0 \text{ тыс. м}^3/\text{сут}$. Минимальный общий дренаж подземных вод речной сетью и котлованами, рассчитанный по гидродинамическим параметрам, будет равен $28,3 \text{ тыс. м}^3/\text{сут}$. Прогнозный модуль питания подземных вод за счет увеличения инфильтрации атмосферных осадков и сокращения испарения в зоне аэрации составит около $1,1 \text{ л/с}$ с км^2 , что вполне соответствует проведенным ранее исследованиям по оценке естественных ресурсов подземных вод в бассейне реки Припять.

В нарушенных гидродинамических условиях произойдет существенное изменение взаимовлияния поверхностных и подземных вод, а именно: в результате деформации гидродинамической сетки сократится приток подземных вод в речную сеть; основные линии тока подземных вод будут направлены в сторону котлованов под воздействием их дренирующего влияния.

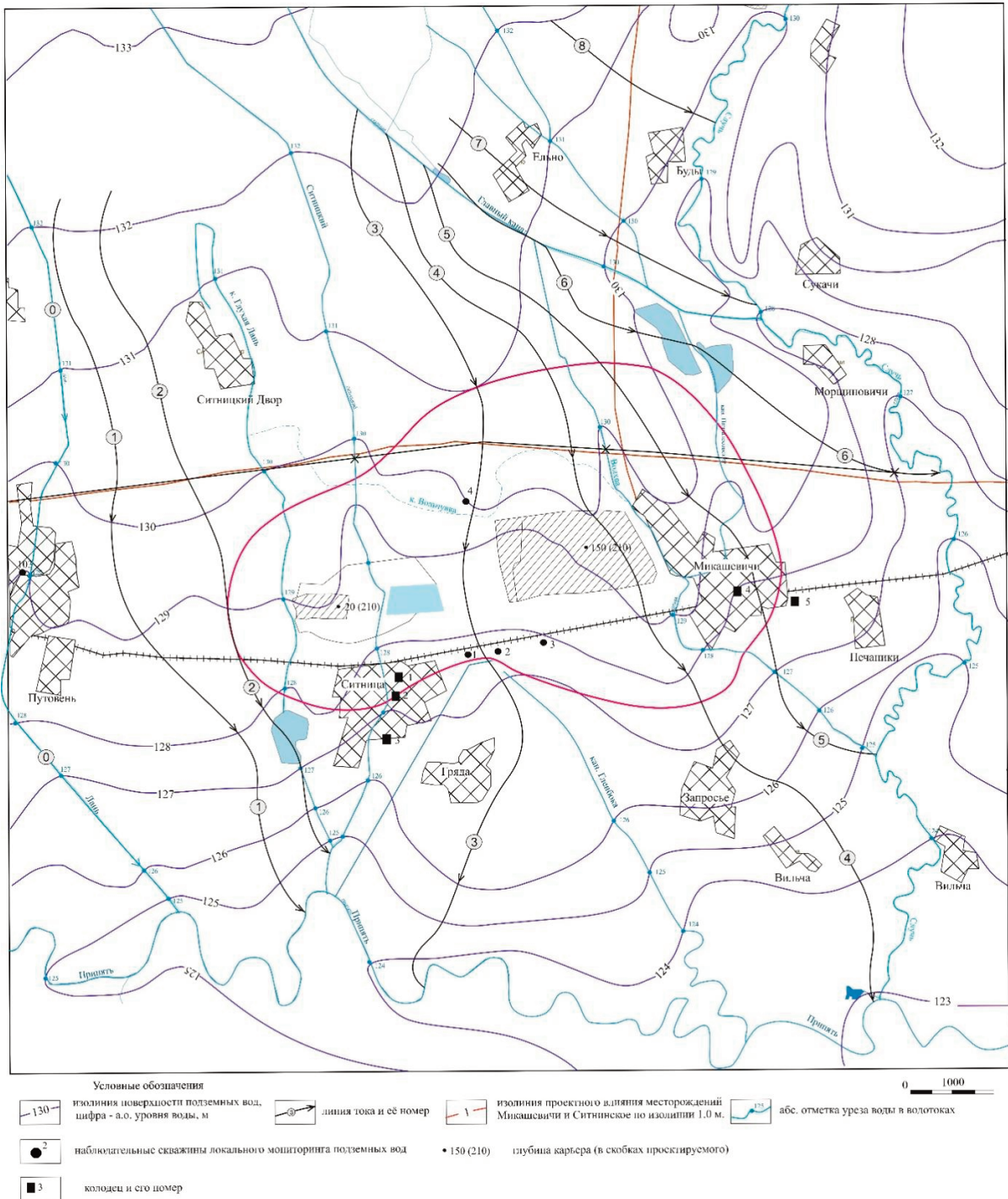


Рис. 1. Динамика подземных вод в районе расположения Микашевичского горнодобывающего района в естественных условиях

В результате регионального гидродинамического воздействия карьерного водоотлива на месторождения Микашевичи и Ситницкое на поверхности напорно-безнапорного водоносного комплекса сформируются объединенные депрессионные воронки радиусом от 3-4 до 7-8 км и общей площадью около 75 км² (см. рис. 2).

В зону влияния попадут населенные пункты Микашевичи, Ситница, каналы Глухая Лань, Ситницкий, Вольчувка, Волхва, Гленбока, Пангаловский, хвостохранилище, реки Случь и Припять. На фоне региональной депрессии от карьерного водоотлива под локальным гидродинамическим воздействием шлаохранилища сформируется купол засоленных вод радиусом 1,5-2,0 км, который частично дренируется каналом Ситницкий.

Для снижения последствий негативного воздействия водоотлива на природную среду предлагается выполнить комплекс водоохраных мероприятий, направленных на сохранение источников

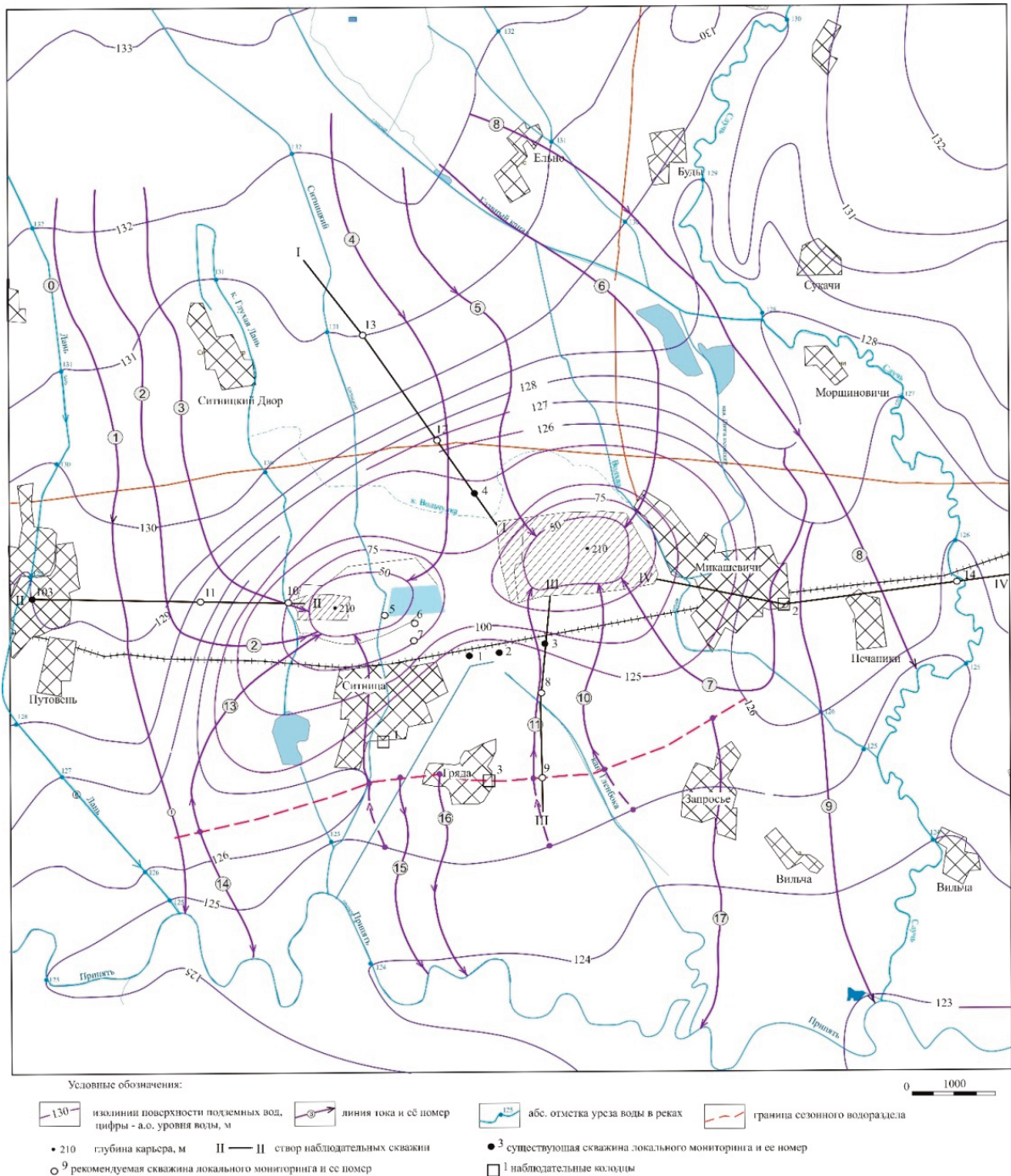


Рис. 2. Прогноз динамики подземных вод в районе расположения Микашевичского горнодобывающего района в нарушенных карьерным водоотливом условиях

водоснабжения в населенных пунктах и поддержание стока в мелиоративных каналах за счет пресных подземных вод, полученных при раздельном дренаже из карьерного котлована или путем перехвата стока атмосферных осадков в паводковые периоды, а именно:

- в краевых частях депрессии при понижении уровня воды 1-5 м в населенных пунктах возможно сохранение источников водоснабжения в виде колодцев при их чистке или углублении путем забивки иглофильтров в дно шахтных колодцев;

- при понижении уровня воды на 5-30 м в населенных пунктах, попадающих в зону влияния карьеров, рекомендуется бурение скважин для хозяйственно-питьевого водоснабжения, а при понижении уровня на 30-50 м – полный переход на централизованное водоснабжение;

- поддержание стока мелиоративных каналов возможно при создании резервного водохранилища в верховьях канала Ситницкий, между населенными пунктами Ситницкий Двор и Ельня, а также создания дополнительного накопителя пресных карьерных вод, полученных

в результате системы раздельного дренажа подземных вод на северном уступе 90 м карьера Микашевичи.

Также необходимо отметить, что при составлении прогноза изменения гидродинамического режима подземных вод междуречья, в результате совместного влияния карьерного водоотлива на месторождениях Микашевичи и Ситницкое, установлено, что существующая сеть мониторинга подземных вод, состоящая из четырех скважин на грунтовые воды глубиной 12-15 м, прилегающих к карьере Микашевичи, недостаточна (см. рис. 2). Сеть мониторинга должна быть значительно расширена и дополнена наблюдательными пунктами в виде четырех створов со скважинами глубиной до 40-50 м, и колодцами. Предлагается создать новые створы скважин для контроля изменения питания водоносного горизонта со стороны водораздела, а также позволит изучать условия взаимосвязи подземных и поверхностных вод. Кроме этого, колодцы в населенных пунктах Микашевичи, Ситница и Гряда после обследования и чистки могут использоваться в качестве постоянных пунктов наблюдения за режимом грунтовых вод.

Таким образом, разработанные рекомендации по рациональному использованию и охране подземных вод от истощения в бассейне реки Припять на примере Микашевичского горнодобывающего района позволят постепенно осуществлять водоохранные мероприятия на основе конкретных данных наблюдений оптимизированной сети мониторинга, по мере расширения влияния ключевых объектов на подземную гидросферу.

Литература

1. *Белецкий С.С. Общій подземный сток БССР // Комплексное использование и охрана подземных вод БССР. Минск: БелНИГРИ, 1976. С.20–36.*
2. *Боревский Б. В. Методика определения параметров водоносных горизонтов по данным откачек. 2-е изд., М.: Недра, 1979. 103 с.*
3. *Климентов П. П. Динамика подземных вод. М.: Высшая школа, 1973. 440 с.*
4. *Ковалевский В. С. Комбинированное использование ресурсов поверхностных и подземных вод. М.: Научный мир, 2001. 332 с.*
5. *Рекомендации по рациональному использованию и охране подземных вод от истощения в белорусской части бассейна реки Западный Буг / О.В. Васнёва [и др.] // Літасфера. 2023. № 2 (59). С. 53-60.*
6. *Шестаков, В.М. Теоретические основы подпора, водопонижения и дренажа. М. : изд-во Московского гос. ун-та, 1965. 233 с.*

ОСОБЕННОСТИ ЭКОЛОГО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ БИОЛИТОТЕХНИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ ЦЕНТРАЛЬНОЙ ЯКУТИИ

Ю.К. Васильчук, В.В. Шанина

Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова,
119234, Российская Федерация, Москва, ГСП-1, Ленинские горы
E-mail: vasilch_geo@mail.ru

Эколого-геологические системы биолитотехнических комплексов в криолитозоне – сухопутные техногенно-природные и природно-техногенные эколого-геологические системы (ЭГС), что определяется по степени техногенной измененности литотопа, для них характерен литотоп и биотоп полярных и субполярных областей [5].

В Российской Федерации значительная часть лесного фонда расположена на территории распространения многолетнемерзлых пород. В настоящее время подавляющий объем заготовок древесины в России производится при помощи современных машинных комплексов, включающих тяжелые, энергонасыщенные колесные и гусеничные лесные машины различной компоновки и назначения (харвестеры, форвардеры, валочно - пакетирующие, скиддеры, и т.д.). В замерзшем массиве грунтов криолитозоны в достаточно большом объеме присутствует лед, оказывающий существенное влияние на повышение несущей способности грунта под действием начальной вертикальной нагрузки от движителей лесных машин. При оттаивании многолетнемерзлых пород часто происходит перенасыщение их водой, в связи с чем ослабевают природные связи между твердыми частицами, и физико-механические свойства грунта утрачивают исходные значения [4].

Объект исследования – ЭГС биолитотехнических комплексов территории Центральной Якутии, включающие литотоп многолетнемерзлых пород, вмещающих крупные повторно-жильные льды, сегрегационный лед и лед-цемент. В систематике [5] ЭГС биолитотехнических комплексов территории Центральной Якутии относятся к техно-природным (измененным менее чем на 50%). Лесное хозяйство представлено лесхозами, которые занимаются заготовкой древесины. Леса покрывают около 4/5 территории Якутии, а лесистость варьируется от 93% в южных улусах до 25% в северных.

Особенности абиотических компонентов

Особенности литотопа и его техногенной трансформации. После вырубki или уничтожения древостоя пожаром глубина летнего таяния возрастает почти в 1,5-2 раза. В сосняках на песчаных почвах повышается до 2,4-2,8 м, иногда более. По данным Л.П. Лыткиной [7], на выгоревших площадях и вырубках в Центральной Якутии почва оттаивает на 0,3-0,8 м глубже, чем в лесу. Повышение температуры грунтов и увеличение мощности сезонно-талого слоя приводит к изменению мерзлотных грунтов, сопровождаемому развитием термопросадок, солифлюкции, термоэрозии и оползней. Пласт сезонного протаивания достигает слоя сильнольдистых горизонтов и лед начинает таить, что вызывает нарушение склоновых процессов с уничтожением грунта. Поверхность плодородной почвы вымывается в реки и занижается вероятность восстановления лесного участка. Без восстановления растительности территории становятся источником денудации и эрозии поверхностных отложений. Массовый сход грунтовой массы в виде селевых потоков и оползней на реке Амги в Амгинском районе произошел в 2013 г, зафиксировали 14 оползней шириной до 100 м. Лесохозяйственная деятельность в древостоях сопровождается развитием водной эрозии. При сплошнолесосечной вырубке леса, а именно в сосновых насаждениях отмечается повышение температуры грунтов на 0,3 °С на глубине 10 метров. По наблюдениям [9] в Центральной Эвенкии сезонная лесная дорога, проходящая по склону хребта, за 6-7 лет превратилась в овраг глубиной до 5 м.

Особенности геокриологических условий и их техногенной трансформации. Важной особенностью биолитотехнических эколого-геологических систем Центральной Якутии является залегание непосредственно под лесной растительностью мощного ледового комплекса едомных отложений в долинах рр. Виллой, Алдан и Яна [1, 2], мощность которого нередко составляет 20-70 м. Оказываясь

в зоне освоения массивы нередко подвергаются техногенной трансформации, как произошло, вблизи пос. Чурапча, где термоэрозионное разрушение дороги вскрыло ледовый комплекс (рис.) под лесной растительностью.

Мощность активного мерзлотного слоя в Якутии изменяется от 0,5 до 3,5 м и зависит от климатических условий: как правило, чем дальше на юг, тем выше мощность активного слоя. На 40% всей площади Якутии мощность слоя сезонного оттаивания варьирует от 0,5 до 1 м. Зона с наибольшим показателем деятельного слоя расположена в Южной Якутии, здесь мощность слоя сезонного оттаивания находится в диапазоне 3-3,5 м (всего 3% территории Якутии).



Рис. Ледовый комплекс под лесной растительностью Центральной Якутии (Батагайская едома, фото Ю.К. Васильчука)

Особенности эдафотона и его техногенной трансформации. Исследование антропогенных почв промышленной базы г. Якутска, расположенной в пределах второй надпойменной террасы реки Лены, выявило [10], что особенности их строения и свойств определяются воздействием антропогенного фактора на естественные процессы почвообразования, характерные для мерзлотных лугово-черноземных почв Центральной Якутии (гумусообразование, окарбоначивание, засоление, осолонцевание и частично криотурбация).

В результате смены лугово-степной растительности на лесную под еловыми насаждениями 45-летнего возраста на мерзлотной лугово-черноземной почве в окрестностях Якутска, в условиях криоаридного климата, произошло кардинальное изменение свойств и состава данной почвы и формирование нового типа мерзлотной перегнойно-карбонатной почвы. В почвенной толще (0–100 см) вторичной лесной почвы по сравнению с целинной луговостепной увеличилось количество обменных катионов Ca^{2+} и Mg^{2+} в 1,2 раза, сумма солей – в 1,5, содержание общего N и органического C – в 3,2 и 1,7 раза соответственно, уменьшилось количество подвижных карбонатов в 2,9 раза. Средние скорости накопления растворимых солей, общего азота и органического углерода составили соответственно 29, 20 и 137 г м⁻² год⁻¹, а выщелачивания CaCO_3 – 3 кг м⁻² год⁻¹ [12].

Особенности биотических компонентов

Особенности микробоценоза и его техногенной трансформации. Микробные сообщества мерзлотных лесных почв детально изучены в Якутском ботаническом саду Института биологических проблем криолитозоны СО РАН, где распространены почти все типы лесных почв, встречающиеся в Центральной Якутии. Установлено, что в мерзлотных почвах численность культивируемых микроорганизмов колебалась от $5,2 \times 10^2$ до $2,5 \times 10^6$ КОЕ/г почвы. Наиболее насыщенной микроорганизмами

из всех типов мерзлотных почв оказалась перегнойно-карбонатная почва, а самой бедной – солодь [6]. По общей численности микроорганизмов выделялись перегнойно-карбонатная и палевая серая почвы, образованные в результате дернового почвообразовательного процесса. В зависимости от типов почв в их микробоценозах доминировали различные функциональные группы микроорганизмов: в перегнойно-карбонатной – актиномицеты (34%), в палевой серой – мицелиальные грибы (29%), в подзоле – мицелиальные грибы (34 и 38%), в солоди – актиномицеты (40%). По профильному распределению микроорганизмов отмечено, что они сконцентрированы в верхних органогенных горизонтах и с глубиной их численность падает. Во всех исследованных лесных почвах количество микроорганизмов следовало за изменениями температуры, содержания гумуса и азота [6].

Особенности фитоценоза и его техногенной трансформации. А.П. Исаевым [3] продемонстрирована устойчивость лесов криолитозоны Центральной Якутии к антропогенным факторам. Стабилизирующая роль леса особенно важна для уязвимых к воздействию ландшафтов, включая территории, где под лесной растительностью ледовый комплекс.

Основываясь на данных пространственного распространения многолетней мерзлоты, выделены районы, в которых растительность играет особо важную роль в стабилизации мерзлотных ландшафтов. При большом количестве сохраненного предварительного подроста или массовом появлении самосева лиственницы лесовосстановление на нарушенных территориях в лиственничниках в большинстве случаев не вызывает сомнения. Направление и ход лесообразовательного процесса резко изменяются при возможных проявлениях термокарста. Характер и интенсивность экзогенных факторов в условиях некатастрофического развития криогенных процессов влияют на ход развития постантропогенной растительности главным образом на начальных этапах сукцессионного процесса. Для лиственничников Якутии в основном характерны коротковосстановительные (без смены основной породы) сукцессии. Формирование березняков, устойчивых, по крайней мере, в течение одного поколения березы, происходит редко.

Лиственничные леса Якутии характеризуются относительно невысокой производительностью. В брусничных лиственничниках Центральной Якутии надземная фитомасса древостоя в спелом и перестойном возрасте колеблется в пределах 700-1500 ц/га. Доля стволовой части и кроны в общей фитомассе молодняков составляет соответственно 65-70 и 16-18%, средневозрастных древостоев – 80-90 и 5-11%. Региональной особенностью лиственничных лесов является их адаптация к засушливому климату и периодическому воздействию огневого фактора (примерно каждые 14-23 года). Поэтому наряду с понятием пирофитности вида, можно говорить о пирофильности сообществ, формируемых этой породой, как об эволюционно обусловленном адаптационном потенциале того или иного типа леса существовать в условиях постоянного воздействия лесных пожаров. Пирофильность брусничных лиственничников выражается в упрощенности вертикальной структуры древостоев (относительная редкостойность, преимущественная одноярусность древостоев, отсутствие подлеска), составе напочвенного покрова (преимущественно монодоминантный состав, преобладание в травяно-кустарничковом покрове более огнестойких брусники и толокнянки), благоприятной трансформацией гидроклиматических условий после пожара (тепловая мелиорация, улучшение условий влагообеспеченности за счет подтаивания мерзлоты) и т.д. Нарушенные земли в большинстве своем оставляются на естественное самовосстановление.

Сосновые леса Бестяхской террасы Центральной Якутии находятся под увеличивающимся антропогенным воздействием, их площади сокращаются и отчуждаются. Сохранившиеся сосновые леса фрагментированы, развитая дорожная сеть и промышленные линейные объекты увеличивают их доступность. Возрастающая засушливость летнего пожароопасного периода приводит к увеличению площадей гарей и восстанавливаемых сосновых лесов. Оценка жизненного состояния показала антропогенную трансформацию лиственничного леса. Наиболее сильную нагрузку испытывают лесные участки, расположенные вблизи цементного завода, где большое количество сухостоя, сильная угнетенность деревьев (низкорослость, суховершинность, уменьшение количества молодых побегов, заметное изменение цвета хвои и малая густота крон). Общее жизненное состояние вблизи завода уменьшается от 60 до 15% от общего состава древостоя. По мере удаления от цементного завода на расстояние до 2 км общее жизненное состояние увеличивается до 70% [11].

Особенности зооценоза и его техногенной трансформации. Е.Г. Шадринной и др. [13] рассмотрена история инвазии 9 чужеродных видов на территории Якутии. Интродукция ондатры в 1930-1932 гг., вид хорошо адаптировался к новым условиям и распространился во всех природных зонах Якутии.

Норка интродуцирована в 1961-1964 гг., её распространение ограничивается экологическими барьерами, общая численность составляет 4-5 тыс. особей. Степной хорёк интродуцирован в 1980-1983 гг., вид плохо прижился, численность составляет всего 150-200 особей и имеет тенденцию к сокращению. Реинтродукция соболя в 1948-1958 гг., сейчас распространён по всей таёжной части Якутии, численность вида колеблется на уровне 250-300 тыс. особей. Речного бобра выпускали в 2001-2003 гг., животные не выжили на местах интродукции. Овцебык интродуцирован с 1996 по 2017 г., всего выпущено 199 особей, численность составляет 2,6 тыс. особей. Процесс натурализации вида к субарктическим экосистемам проходит успешно. Лесного бизона завозили с 2006 по 2013 г., и до 2017 г. содержали только в питомниках. Общая численность увеличилась вдвое, достигнув 184 особей. Современный ареал сибирской косули сформировался в XX столетии за счёт вселения с сопредельных территорий. Численность составляет 24 тыс. особей. Благородный олень заселил территорию Якутии одновременно с косулей из тех же регионов, численность составляет 10-13 тыс. особей.

Резко континентальный климат существенно ограничивает возможности интродукции новых видов в Якутии, число чужеродных млекопитающих по районам варьирует от 1-2 до 4-5 видов, но надо учесть, что и список аборигенных видов здесь весьма ограничен, и, следовательно, каждый новый вид может сдвинуть экологическое равновесие. Дикие северные олени населяют всю территорию Якутии. Они относятся к двум подвидам: тундровые популяции к сибирскому тундряному; лесные популяции к лесному сибирскому [8]. К основным видам антропогенного воздействия на состояние кормовой базы оленя относятся вырубки леса и лесные пожары, развитие горнодобывающей промышленности и различные виды сельскохозяйственного и промышленного освоения. Особенно сильное воздействие на состояние лишайниковых пастбищ оленя оказывают низовые пожары, уничтожающие наземный покров лесных насаждений. Другим сильнейшим фактором воздействия на популяции диких копытных является деятельность хищников. Особенно большое влияние оказывает волк в годы его высокой численности. Состояние численности волка регулируется промыслом. В настоящее время численность этого хищника высокая практически во всех регионах Якутии. Другие виды хищников – рысь, россомаха, бурый медведь – в связи с их малочисленностью существенное воздействие на популяции копытных не оказывают [8].

Выводы

1. ЭГС биолитотехнических комплексов в криолитозоне связаны с динамикой изменения свойств массива мерзлых грунтов. 2. Практически все лесные массивы Якутии в той или иной степени претерпели влияние лесных пожаров. Процессы сукцессии растительности на местах лесных пожаров в криолитозоне весьма длительны, особенно лишайников. 3. Отмечается сложное лесовосстановление в условиях распространения многолетнемерзлых пород. 4. Успехом интродукции новых видов зооценоза в Якутии является образование самовоспроизводящейся популяции двух чужеродных видов – ондатры и американской норки, а также аборигенного вида – соболя. Интродукции овцебыка за 25 лет продемонстрировала хорошие адаптивные возможности вида.

Исследование выполнено в рамках государственного задания МГУ имени М.В. Ломоносова, тема № 5-4-2026 «Эколого-геологические системы континентальных регионов России».

Литература

1. Васильчук Ю.К., Васильчук Дж.Ю., Буданцева Н.А., Васильчук А.К., Тришин А.Ю. Изотопно-геохимические особенности Батагайской едомы (предварительные результаты) // *Арктика и Антарктика*. 2017. № 3. С. 95–121. doi: 10.7256/2453-8922.0.0.24433.
2. Васильчук Ю.К., Буданцева Н.А., Васильчук А.К., Гинзбург А.П. Радиоуглеродный возраст и стабильные изотопы кислорода и водорода в позднеплейстоценовом повторно-жильном льду на реке Вилюй // *Доклады РАН. Науки о Земле*. 2022. Том 506, №2. С. 153–158.
3. Исаев А.П. Устойчивость лесов криолитозоны к антропогенным факторам // *Успехи современного естествознания*. 2012. № 11. С. 41–43.
4. Каляшов В.А., Григорьев И.В., Иванов В.А., Юдилевич А.М., Бурмистрова О.Н., Охлопкова М.К., Григорьева О.И. Особенности лесных почвогрунтов криолитозоны как объекта воздействия движителей лесных машин // *Системы Методы Технологии*. 2023. № 4 (60) с. 94–101.

5. Королев В.А., Трофимов В.Т. Систематика эколого-геологических систем. М.: ООО «Сам Полиграфист», 2025. 120 с.
6. Кузьмина Н.П., Ермолаева С.В., Чевычелов А.П. Микробоценозы мерзлотных лесных почв Центральной Якутии // Сибирский лесной журнал. 2022. № 6. С. 22–33.
7. Лыткина Л.П. Динамика растительного покрова на горях лиственничных лесов Лено-Амгинского междуречья (Центральная Якутия). Автореферат дисс на соиск. учен. степ. канд. биол. наук Якутск. 2005. 18 с.
8. Мордосов И.И., Кривошапкин А.А. Материалы по динамике численности Яно-Индигирской и Сундрукской популяции дикого северного оленя (*Rangifer Tarandus L.*) в Якутии // Вестник СВФУ. №1(51). 2016. С. 34-44.
9. Николаева Ф.В., Гаврильева Н.К., Гоголев Г.Д., Гоголева Н.И. Анализ изменения площадей сельскохозяйственных угодий в Центральной Якутии [Электрон. ресурс] // АгроЭкоИнфо. 2022. № S1. http://agroecoinfo.ru/STATYI/2022/s1/st_005.pdf.
10. Оконешиникова М.В., Иванова А.З. Почвы и техногенные поверхностные образования одной из промышленных баз города Якутска // Вестник СВФУ. 2020. № 6 (80) С. 5–19.
11. Соромотин В.А. Влияние выбросов цементного завода на растительный покров Центральной Якутии: на примере Мохсоголлохского цементного завода. Автореферат дисс. на соискание ученой степени кандидата биологических наук Якутск. 2008. 21 с.
12. Чевычелов А. П., Габышева Л. П., Исаев А. П., Коробкова Т. С., Алексеева А. А. Изменение свойств мерзлотных лугово-черноземных почв Центральной Якутии под влиянием культур ели // Лесоведение. 2021. № 3. С. 290–302.
13. Шадрина Е.Г., Вольперт Я.Л., Охлопков И.М. Интродукция млекопитающих в Якутии: анализ результативности, перспектив и негативных последствий // Российский Журнал Биологических Инвазий. 2021. № 4. С. 134-156. DOI: 10.35885/1996-1499-2021-14-4-134-156.

ЛАНДШАФТНО-ГЕОКРИОЛОГИЧЕСКОЕ РАЙОНИРОВАНИЕ УСЛОВИЙ ПРОХОЖДЕНИЯ АВТОМОБИЛЬНОЙ ДОРОГИ «ВИЛЮЙ», КАК ОСНОВА ВЫДЕЛЕНИЯ ОДНОРОДНЫХ УЧАСТКОВ РАЗВИТИЯ ГЕОКРИОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

А.С. Викторов, Д.О. Сергеев, Т.В. Орлов, В.Н. Капралова, В.В. Бондарь, М.В. Архипова, Т.В. Гонников, А.В. Зверев, А.Н. Хименков, А.П. Кулаков

Институт Геоэкологии им. Е.М. Сергеева РАН, 101000, Москва, Уланский пер., д. 13, с. 2
E-mail: tim.orlov@gmail.com

Введение

Федеральная автомобильная дорога А-331 «Виллюй» – автомобильная дорога федерального значения. Она связывает труднодоступные районы Якутии и севера Иркутской области с сетью федеральных автодорог, обеспечив круглогодичное транспортное сообщение, выход к крупным городам, а также подъезды к месторождениям полезных ископаемых (вдоль маршрута разрабатываются месторождения).

Современные условия эксплуатации автомобильной дороги требуют проведения специального ландшафтно-геокриологического районирования на ландшафтной основе.

Рассматриваемый участок (км 7+380 - км 1310+850) имеет следующие типы покрытий:

- 495 км – твёрдое покрытие (асфальтобетон, цементобетон);
- 803,5 км – переходное покрытие;
- 4,7 км – ледовые переправы.

На сегодняшний день, по данным ФКУ и эксплуатирующих организаций, на участке автомобильной дороги зафиксированы многочисленные дефекты как покрытия, так и земляного полотна.

Целью работы было разработать методику оценки опасности геокриологических процессов в зоне автодороги и в непосредственно прилегающей полосе и апробировать ее на участке автодороги.

Материалы и методы

Как показывает проведенный анализ, при проведении работы по ландшафтно-геокриологическому районированию выделяются следующие этапы:

1. Определение ландшафтных единиц районирования.
2. Сбор исходных материалов.
3. Выделение контурной части.
4. Дешифрирование «особых» элементов, влияющих на характеристику районов.
5. Наполнение контурной части атрибутивной информацией в соответствии с разработанной ландшафтно-геокриологической легендой.
6. Оформление итоговых материалов.

Выбор ландшафтных единиц районирования определялся проявлением условий однородных по ландшафтным условиям и условиям проявления геокриологических процессов, могущих оказать воздействие на автодорогу. Было определено, что оптимальной единицей районирования является природно-территориальный комплекс ранга местность или сложное урочище.

Исходными материалами для выполнения обзорного геокриологического районирования являлись следующие комплекты данных:

- материалы дистанционного зондирования
- цифровые модели рельефа;
- фондовые картографические материалы, в том числе геологические и геокриологические, геоморфологические, геоботанические, ландшафтные;

- материалы инженерно-геологических и инженерно-геодезических изысканий;
- фондовые материалы по состоянию участков дорожного полотна на рассматриваемой части трассы;
- данные мониторинга деформаций дорожной одежды и земляного полотна.

Материалы дистанционного зондирования включали в себя следующие типы съемки:

- разносезонные мультиспектральные космические снимки среднего разрешения 10-30 м/пикс. Использовались каналы – красный, зеленый, синий, ближний и дальний инфракрасные;
- сверхвысокодетаальные космические снимки с разрешением 0,5-0,7 м/пикс, доступные в тайловых покрытиях – Google Maps, Bing, Esri World.

Была использована наиболее современная глобальная цифровая модель местности Copernicus DEM с разрешением 30 м/пикс, а также модель ArcticDem с разрешением 2 м/пикс.

Фондовые картографические материалы состояли из:

- государственные геологические карты дочетвертичных отложений;
- государственные геологические карты четвертичных отложений;
- геоморфологические схемы к государственным геологическим картам;
- эколого-геологические схемы;
- геокриологические карты;
- карты растительности;
- топографические карты.

Были использованы материалы инженерно-геологических и инженерно-геодезических изысканий на отдельные участки автодороги.

В процессе дешифрирования выделялись следующие элементы:

- участки однородные по геокриологическим условиям (как правило, отвечают ландшафтными местностям и сложным урочищам);
- существенные предпосылки развития негативных криогенных процессов; скопления очагов развития негативных криогенных процессов (термокарст, подтопление и т.д.) и отдельные наиболее значимые очаги.

Были использованы дополнительные продукты, на основании которых осуществлялось дешифрирование:

- схемы концентрации подземного стока, построенные автоматически на основании ЦМР различного уровня;
- схемы сроков залегания снежного покрова, построенные автоматически на основании разносезонных космических снимков за последние 5 лет;
- участки недавних пожаров.

Комплексное геокриологическое дешифрирование осуществлялось на основе использования всей совокупности дешифровочных признаков.

Районирование проводилось в масштабе 1:100000, на полосу шириной 10 км, включающую автодорогу.

Результаты

Краткая характеристика криогенных процессов

Основные криогенные процессы рассматриваемой территории включают морозобойное растрескивание с формированием жил льда, термокарст, пучение, солифлюкцию, делювиальный снос, эоловое развевание песков (тукуланов) и образование наледей.

Морозобойное растрескивание происходит как в коренных породах, так и в рыхлых четвертичных отложениях. В рыхлых грунтах оно формирует полигональную сеть трещин, заполненных льдом: размеры полигонов – от 3-5 до 10-15 м, ширина жил – 4-5 м. Льдистость таких отложений может достигать 40-60%. По мере развития процесса поверхность приобретает полигонально-валиковый, затем бугристый и, при вытаивании льда, остаточного-полигональный рельеф с псевдоморфозами по ледяным жилам – наследием плейстоценовых морозных условий.

Склоновые криогенные формы представлены солифлюкционными и делювиальными потоками, а также курумами – скоплениями глыб на скальных склонах. Курумы усиливают охлаждение пород: на склонах р. Вилюй они снижают температуру на 3–5°C, способствуя сохранению многолетней мерзлоты на северных экспозициях и её отсутствию на южных.

Пучение сильно проявляется в мелкодисперсных, переувлажнённых отложениях – в долинах, заболоченных понижениях и днищах термокарстовых котловин. Здесь формируются бугры пучения (булгуньяхи), питающиеся водой из подозерных таликов.

Термокарст – результат таяния подземных льдов, приводящий к просадкам и образованию озёр, западин и аласов. На Лено-Вилуйском междуречье распространены мелкие (до 1 км²) термокарстовые озера глубиной 2-3 м ([3], 1978). Аласы достигают нескольких километров в длину и 3-7 м (иногда до 40 м) в глубину. Термокарст развивается при льдистости пород свыше 35% – показатель, превышаемый в большинстве районов Центральной Якутии, что объясняет массовость как современных, так и древних термокарстовых форм.

Наледи особенно характерны для севера Средней Сибири. Формируясь с декабря по март, они достигают мощности 3-4 м, затопляя русла, поймы и долины. Возникают из-за промерзания речных наносов и подпора грунтовых вод, выходящих на поверхность. Наледи постепенно тают летом, подпитывая реки, а крупные могут сохраняться весь тёплый сезон.

Ландшафтная характеристика

Автодорога А-331 «Вилуй» пересекает ландшафты с различными характеристиками. На этом участке автодорога пересекает две основные ландшафтные провинции (Мерзлотно-ландшафтная карта..., 2018, Федоров А.Н. 1991) находящихся в пределах Вилуйско-Предверхоанской геоморфологической провинции эрозионно-аккумулятивных равнин Вилуйской синеклизы и Предверхоанского краевого прогиба (Национальный атлас..., 2004).

Вилуйская аласная провинция группы среднетаежных провинций сплошного распространения многолетнемерзлых пород;

В пределах Вилуйской аласной провинции основной макроформой рельефа является Центральнo-Якутская террасовая равнина. В пределах Средневилуйской пологоувалистой провинции основной макроформой рельефа является Приводораздельная эрозионная возвышенная равнина.

Можно выделить следующие основные ландшафтные элементы в пределах Вилуйской аласной провинции.

Межаласные поверхности. Межаласные участки представляют собой плоскоравнинные поверхности озёрно-аллювиальных равнин, сложенные суглинками, супесями и песками. Произрастают лиственничные кустарничково-зеленомошные леса местами встречаются участки сосновых и берёзово-злаковых лесов. Мерзлота имеет сплошной характер, сезонный слой протаивания умеренной мощности, а льдистость пород достаточно высока.

Аласные днища. Аласные днища формируются в пределах термокарстовых понижений и сложены суглинками, супесями и песками, местами перекрытыми торфом. Растительность образована осоково-вейниковыми лугами, разнотравно-злаковыми сообществами и участками засоленных местообитаний. Мерзлота сплошная, но с широким развитием подоёрных таликов; на поверхности выражен валиково-полигональный микрорельеф, свидетельствующий о высокой льдистости аллювиально-термокарстовых отложений.

Мелкодолинные участки. Днища мелких долин сложены аллювиальными песками, супесями и суглинками, местами, перекрытыми торфом. В растительном покрове сочетаются лиственничные леса с примесью ели, кустарничково-зеленомошные сообщества, ерники и злаково-осоковые луга.

Террасы крупных рек. Террасовые поверхности имеют плоский или слабоволнистый характер и сложены разновозрастными аллювиальными песками, супесями и суглинками, а в понижениях – торфом. Растительность включает лиственнично-еловые леса и кустарничково-зеленомошные таёжные сообщества, а также пойменные и луговые участки. Многолетнемерзлые породы сплошные, с повышенной льдистостью на низких террасах, где широко развит термокарст.

Озёрно-аллювиальные межаласные равнины. Эти пространства сложены преимущественно суглинками и супесями, нередко обогащёнными карбонатами. Для растительности характерны лиственничные кустарничково-зеленомошные леса. Здесь повсеместно развиты сплошные ММП с высокой льдистостью, что способствует формированию аласности и сохраняет неустойчивость к термокарстовым процессам.

Приводораздельные плакоры плато. Приводораздельные междуречные пространства плато представляют собой выровненные поверхности, сложенные известняками, доломитами, мергелями и местами песчаниками с тонким чехлом суглинистых и глинистых отложений. Здесь формируются

мерзлотные дерново-карбонатные и дерново-карбонатные оподзоленные почвы. Растительность выражена лиственничными и сосново-лиственничными лесами с обилием кустарничково-зеленомошных ассоциаций и участками толокнянково-лишайниковых сосняков. Сплошные ММП имеют устойчивый характер, сезонный слой протаивания сравнительно невелик, а мерзлота отличается повышенной стабильностью.

Склоновые поверхности плато. На склонах плато развиты делювиальные покровы из суглинков, глин и супесей с включением дресвы, и щебня. Здесь встречаются мерзлотные дерново-карбонатные и северотаёжные глееватые почвы. Лиственничные редколесья, кустарничково-лишайниковые сообщества формируют типичный растительный покров склонов. Сплошная мерзлота сохраняется, однако в пределах склонов широко проявлены солифлюкционные и склоновые процессы, влияющие на микрорельеф и перераспределение влаги.

Слабодренированные междуречные пространства. На водораздельных участках с замедленным стоком формируются торфяные, торфянисто-болотные и северотаёжные перегнойно-глеевые почвы. Здесь развиты бореальные болота пушицевого и сфагнового типов, а также лиственничные редколесья с кустарничково-сфагновыми и лишайниково-зеленомошными сообществами. Многолетняя мерзлота сплошная, с распространением подоёрных таликов, а повышенная льдистость способствует развитию типичных болотных форм рельефа.

Средневилуйская пологоувалистая провинция отличается широким развитием пологих увалов и междуречных платообразных пространств, осложнённых эрозионной сетью мелких долин. Ведущий тип рельефа – приводораздельная эрозионная возвышенная равнина, на которой сформирован основной спектр мерзлотно-таёжных ландшафтов.

Приводораздельные междуречные пространства плато. Приводораздельные участки представляют собой широкие, сглаженные, слабоволнистые равнины, сложенные преимущественно терригенными породами – песчаниками, песками и алевролитами, иногда с вкраплениями эффузивов (базальты и липарито-дациты). В рыхлом покрове преобладают пески, супеси и суглинки с примесью щебня, формирующие типичные мерзлотные таёжные и оподзоленные почвы.

Растительность образована лиственничными лесами кустарничково-зеленомошного типа. На более сухих участках встречаются сосновые лишайниковые леса. Многолетняя мерзлота сплошная, мощная, с умеренным сезонным протаиванием; поверхностные процессы представлены морозобойным растрескиванием и слабой солифлюкцией на пониженных местах.

Карбонатные фрагменты приводораздельной равнины. На участках, сложенных известняками, доломитами и мергелями, формируются мерзлотные дерново-карбонатные почвы, отличающиеся более высоким насыщением основаниями и выраженной щебнистостью. Растительность здесь – лиственничные леса с примесью ели, кустарничково-зеленомошные и лишайниково-зеленомошные.

Приводораздельные слабодренированные участки. В пониженных, плохо дренируемых частях междуречий развиты интразональные водораздельно-маревые ландшафты, где поверхностный покров сложен торфом, суглинками и глинами. Здесь формируются мерзлотные торфянисто-болотные и перегнойно-глеевые почвы. Растительность представлена кустарничково-сфагновыми болотами, а также слабокронными лиственничными редколесьями. Эти участки характеризуются развитием подоёрных таликов, высокой льдистостью и выраженным полигональным микрорельефом.

Выводы

Анализ физико-географических, геологических и геокриологических условий прохождения автодороги А-331 «Вилуй» (км 7+380 - км 1310+850) показывает, что на рассматриваемой территории развит ряд осложняющих факторов. Прежде всего, к ним относится наличие льдистого горизонта, залегающего в верхней части многолетнемерзлых пород, которые имеют относительно высокие температуры (около -3°C). Строительство и эксплуатация автомобильной дороги, как показывает практика, приведут к значительному повышению температуры многолетнемерзлых пород и даже их оттаиванию.

Автодорога на участке работ проходит через шесть ландшафтных провинций, в составе которых развит комплекс условий, оказывающих различное влияние на протекание процессов. В зоне влияния инженерных сооружений активизируются мерзлотные процессы прежде всего термокарст, термоэрозия, термосуффозия, пучение, наледообразование, оползание грунта на склонах. Процессы

развиваются с разной интенсивностью, часто одновременно протекают несколько процессов, что может приводить к синергетическим эффектам, значительно ускоряющим суммарное воздействие на инженерное сооружение. В результате формируются комплексы процессов разной интенсивности и направленности, по-разному воздействующих на инженерные сооружения на протяжении всего жизненного цикла природно-технических систем автомобильных дорог в криолитозоне. Это обуславливает неопределенность развития и высокую интенсивность изменений особенно на начальных стадиях их формирования.

Литература

1. Мерзлотно-ландшафтная карта Республики Саха (Якутия). Масштаб 1: 1 500 000 / Федоров А.Н., Торговкин Я.И., Шестакова А.А., Васильев Н.Ф., Макаров В.С. [и др.]; гл. ред. М.Н. Железняк. – Якутск: Ин-т мерзлотоведения им. П.И. Мельникова СО РАН, 2018. – 2 л.
2. Национальный атлас России в четырех томах / Гл. редкол: А.В. Бородко (пред.), В.В. Свешников (гл. ред.) [и др.]. – М.: Роскартография, 2004–2008. – 4 т.
3. Соловьев П.А. Мощность поверхностной сезонномерзлой толщи на территории Якутии // Геокриологические и гидрогеологические исследования Якутии. – Якутск, 1978. – С. 3–12.
4. Федоров А.Н. Мерзлотные ландшафты Якутии: методика выделения и вопросы картографирования. – Якутск: Ин-т мерзлотоведения СО АН СССР, 1991. – 140 с.

ОЦЕНКА ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ ГЕОМИГРАЦИОННОЙ МОДЕЛИ УЧАСТКА ТЕЧЕНСКО-МИШЕЛЯКСКОГО МЕЖДУРЕЧЬЯ К ВЕРТИКАЛЬНОЙ СОСТАВЛЯЮЩЕЙ ПРОВОДИМОСТИ

С.В. Воронина^{1,2}

¹ МГУ им. М.В. Ломоносова, геологический факультет, 119234, г. Москва, Ленинские Горы, д. 1

² ФГБУ «Гидроспецгеология», 123060, г. Москва, ул. Маршала Рыбалко, д. 4
E-mail: voronina@specgeo.ru

Любые геофильтрационные и геомиграционные модели несут в себе ряд неопределенностей в силу того, что являются лишь приближениями к реальным объектам. Задача специалиста – понять, какие именно параметры вносят больший вклад в неопределенность и обосновать их значения.

Цель настоящей работы: определить характер влияния неопределенности в вертикальной геофильтрационной неоднородности, задаваемой в региональной геомиграционной модели участка междуречья рек Теча и Мишеляк на пространственную конфигурацию ореола распространения нитратов в подземных водах.

Упомянутая модель используется для прогнозных задач распространения загрязнения в подземных водах, связанных с различными проектными решениями ФГУП «ПО «Маяк» (г. Озерск, Челябинская область).

Модель создана в ФГБУ «Гидроспецгеологии» в 2013 году на основе модельной базы GEON-3DM [1] – уникального программного обеспечения, созданного для прогноза распространения загрязнения от озера Карачай, ныне закрытого хранилища жидких радиоактивных отходов.

Территория, входящая в границы рассматриваемой модели, имеет сложное гидрогеологическое строение. Территория относится к Восточно-Уральскому гидрогеологическому массиву. Водоносный горизонт здесь залегает в трещиноватых породах силур-девонского возраста, представленных вулканогенно-обломочными образованиями Сергайдинской свиты ($S_2-D_1 sr$) и вулканогенно-осадочными образованиями Назировской свиты ($S_1v-S_2nz_2$). Выше по разрезу залегают отложения мезо-кайнозойской коры выветривания и четвертичные образования.

Через рассматриваемую территорию проходит ряд разрывных нарушений, неизученных в гидрогеологическом отношении [2], разломы могут как являться как слабопроницаемыми барьерами, так и каналами преимущественной фильтрации.

В связи с трещиноватостью водовмещающей среды и отсутствием выраженной границы между хорошо и слабопроницаемыми породами неоднозначен выбор поверхности условного водоупора, ограничивающего распространение мигрантов по вертикали. Предполагается, что трещиноватость пород здесь обусловлена как тектоническими процессами, так и выветриванием, и количество трещин убывает с глубиной. Водоупорными считаются породы, в которых трещин становится менее 1 на 10 м разреза [1], так как трещиноватость пород неоднородна, абсолютная отметка поверхности водоупора меняется на всей площади модели.

Для исследуемой территории существует несколько концепций, описывающих характер снижения коэффициента фильтрации с глубиной, и которые могут быть учтены при моделировании.

1. Плавное снижение по экспоненциальному закону $k = k_0 \cdot e^{-\alpha z}$, где k_0 – коэффициент фильтрации на кровле трещиноватых пород, z – глубина относительно кровли трещиноватых пород, α – эмпирический параметр, определяющий характер снижения коэффициента фильтрации, который может быть определен из обобщения результатов опытно-фильтрационных работ.

2. Постоянное по глубине значение коэффициента фильтрации и работа в терминах проводимости.

3. Наличие в разрезе отдельных интервалов повышенной проводимости, приуроченных к зонам скопления большого количества трещин или интервалам разрушенных пород.

Для выявления влияния неопределённости в вертикальной геофильтрационной неоднородности проведено три тестовых эпигнозных расчета миграции нитратов из озера Карачай, соответствующих при-

веденным концепциям. При этом расчетные параметры модели одинаковы за исключением вертикального распределения коэффициента фильтрации. Вариант 1 предполагает экспоненциальное снижение k , вариант 2 – отсутствие изменений k по глубине, вариант 3 – повышенный коэффициент фильтрации на глубине 50-60 м, что показывали результаты поинтервальных откачек у реки Мишеляк [3].

Геофильтрационная и геомиграционная задачи решались в нестационарной постановке, подразумевающей изменение уровня и концентрации нитратов в водоеме В-9 (озере Карачай) в соответствии с [1]. Принято, что нитраты поступают в водоем в период с 1951 по 2015 год, после поступление нитратов прекращается.

Результаты решения геомиграционной задачи показывают заметные различия в площадной и вертикальной конфигурации ореола распространения нитратов. На рисунке 1 приведены границы ореолов распространения нитрат-иона, соответствующие ПДК (45 мг/л) на конец 2025 года для трех вариантов расчета.

Из рисунка 1 видно, что площадь ореола распространения нитратов отличается для трех вариантов модели. Для варианта 1 она составляет 32,07 км², для варианта 2 она составляет 36,69 км², для варианта 3 с повышенным коэффициентом фильтрации на глубине 40-50 м – 33,27 км².

Стоит отметить, что приведенные на рисунке 1 ореолы характеризуют средние по слоям модели концентрации нитратов, однако отличия всё же проявляются.

На рисунке 2 приведено три разреза, соответствующие вариантам модели, проведенные с севера на юг через всю площадь модели в сечении озера Карачай.

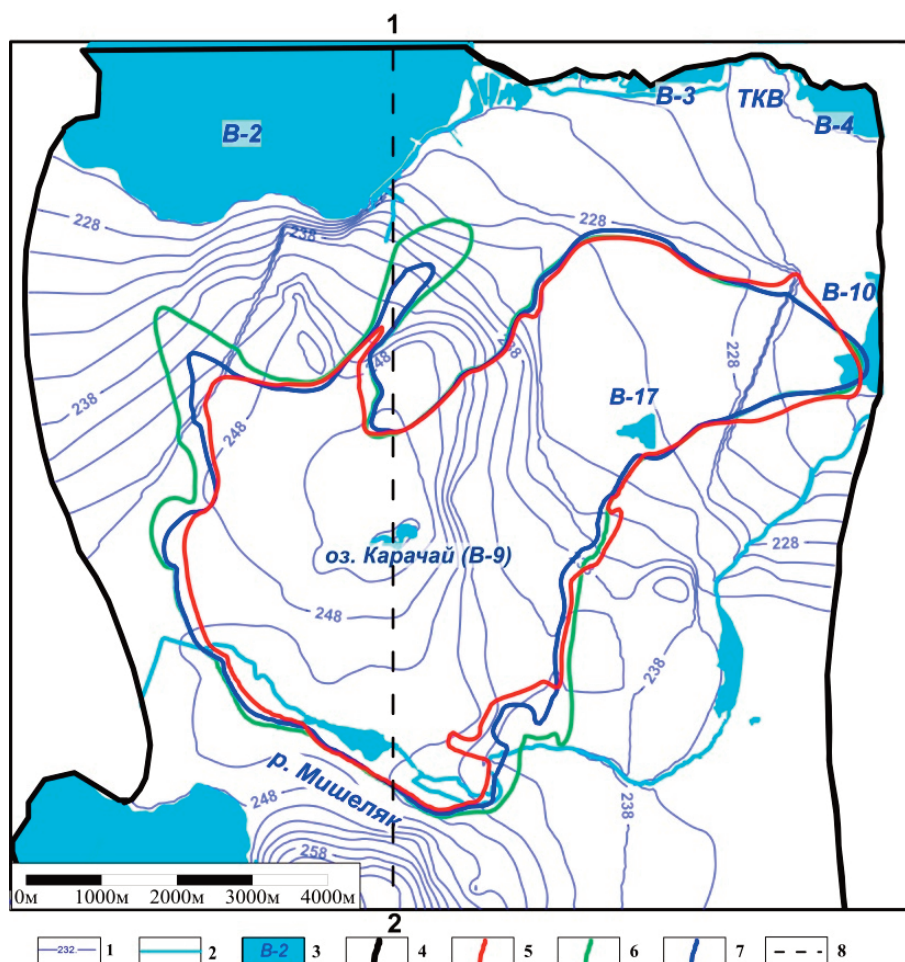


Рис. 1. Границы ореолов средней концентрации нитрат-иона, соответствующие ПДК (45 мг/л) на 2025 год для вариантов 1, 2 и 3. 1- гидроизоги́псы на 2025 год, 2 – реки, 3 – водоемы, 4 – границы модели, 5 – граница ореола распространения нитратов для варианта 1, 6 – граница ореола распространения нитратов для варианта 2, 7 - граница ореола распространения нитратов для варианта 3, 8 – линия разреза

Видно, что максимальная концентрация нитрат-иона для вариантов 1 и 3 составляет 35 г/л, в то время как для варианта 2 она составляет 25 г/л. В случае постоянного по вертикали коэффициента

фильтрации ореол сильнее распространяется по площади, что видно, как на карте (рис. 1), так и на разрезе (рис. 2), и концентрация нитратов в ореоле распределяется более равномерно.

В случае вариантов 1 и 3, не смотря на заниженную проводимость нижних слоев модели, максимальная концентрация нитратов приурочена именно к нижним слоям, что связано с тем, что раствор имеет повышенную плотность в связи с высокой минерализацией. Однако из рисунка 2 видно, что часть ореола, соответствующая низким концентрациям, преимущественно мигрирует и рассеивается в верхних слоях модели. При отсутствии эффекта плотностной конвекции, выбор того или иного варианта распределения коэффициента фильтрации по вертикали может существенно повлиять на результаты. Это особенно актуально для решения задач в крупном масштабе, например для расчета миграции загрязнения из хранилищ радиоактивных отходов.

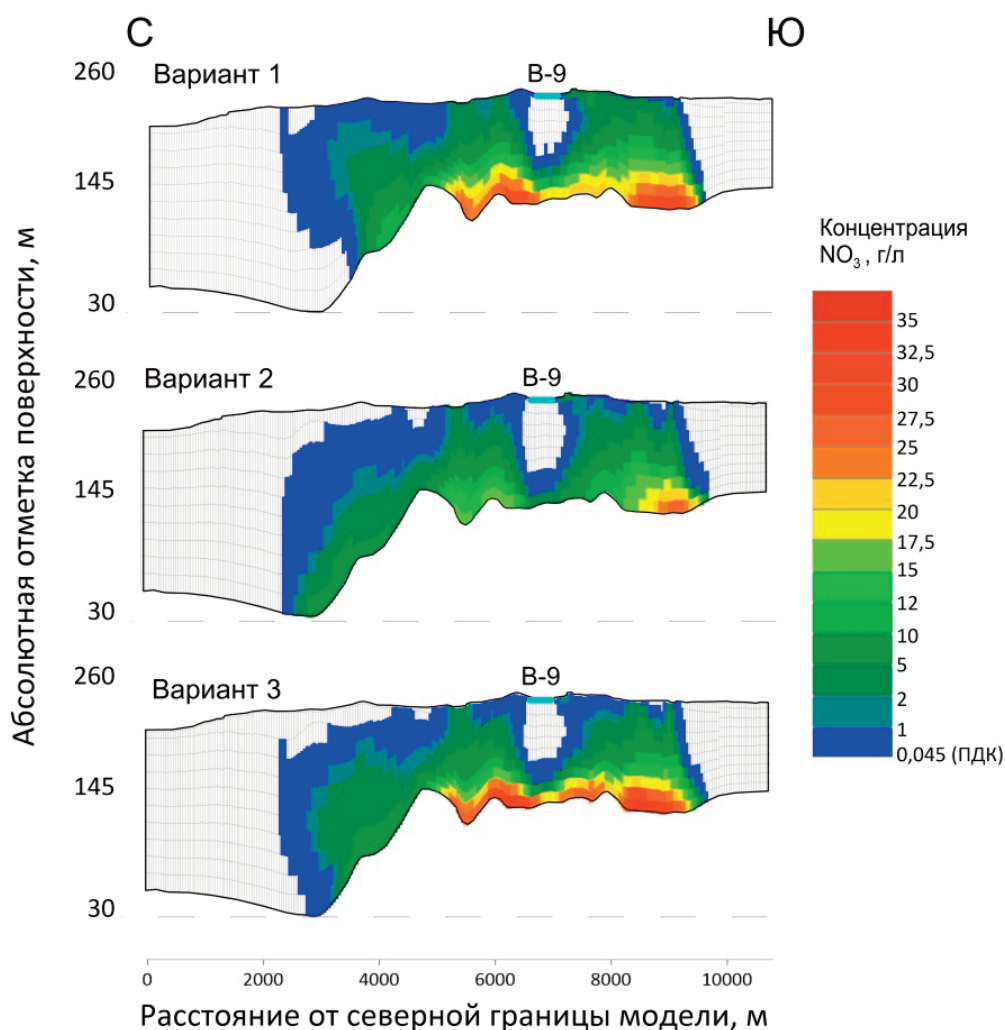


Рис. 2. Распределение концентрации нитрат-иона под озером Карачай для трех вариантов геофильтрационной модели на конец 2025 года

Параметры экспоненциальной кривой снижения коэффициента фильтрации, используемые на модели, получены из обработки результатов множества опытно-фильтрационных работ, проведенных на исследуемой территории (рис. 3). Однако одиночные и кустовые откачки позволяют получить лишь интегральную характеристику проводимости водоносного горизонта, а не ее распределение в разрезе, для подобных целей следует проводить поинтервальное опробование горизонта. Также подобную кривую возможно получить из обобщения данных о трещиноватости пород, что планируется осуществить в дальнейшем.

Таким образом, выявлено, что изменение вертикальной составляющей проводимости влияет на результаты расчетов. Показано, что различия проявляются даже в мелком масштабе для осредненных результатов. Выявлено, что различия в профильном распределении концентраций снижаются за счет эффекта плотностной конвекции.

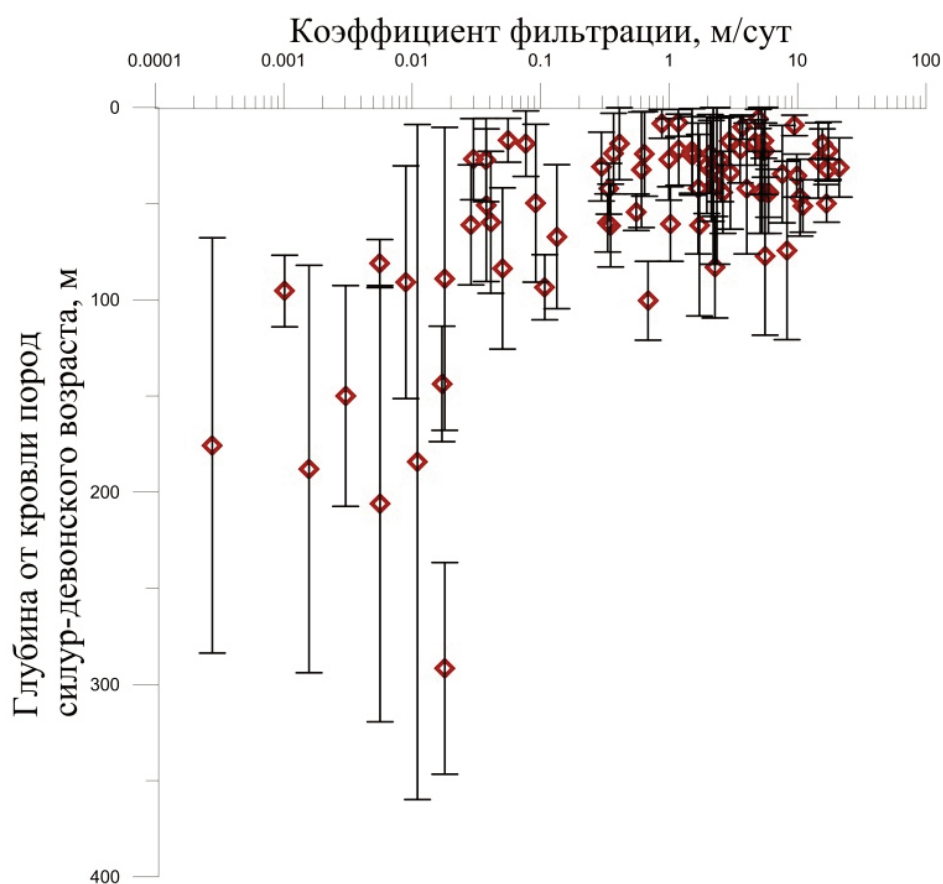


Рис. 3. График изменения коэффициента фильтрации с глубиной по результатам опытно-фильтрационных работ. Отрезками показаны интервалы опробования, точками – глубины средин интервалов

Имеющиеся данные о вертикальной составляющей проводимости целесообразно использовать для региональной модели, однако более крупномасштабные задачи могут потребовать детального изучения трещиноватости пород.

Литература

1. Алексахин А.И., Глаголев А.В., Дрожко Е.Г. и др. Водоем-9 — хранилище жидких радиоактивных отходов и воздействие его на геологическую среду / Под ред. Е.Г. Дрожко, Б.Г. Самсонова. М.: ООО «Лига Принт», 2007. 250 с.
2. Атлас геоэкологических карт на территорию зоны наблюдения ФГУП ПО «Маяк», масштаб 1:100 000–1:50 000. М.: Гидроспецгеология: ИГЕМ, 2006. 172 с.
3. Дрожко Е.Г., Иванов И.А., Самсонова Л.М. и др. Определение гидрогеологических параметров в неоднородных анизотропных трещиноватых средах. (Часть I. Постановка полевых экспериментов и предварительные результаты) // Вопросы радиационной безопасности. 1998, № 1, с. 9-22

КРИОГЕННЫЕ РЕСУРСЫ СЕВЕРО-ВОСТОКА РОССИИ – РЕАЛЬНАЯ ОСНОВА ИННОВАЦИОННОЙ ЭКОНОМИКИ (НА ПРИМЕРЕ ПРОИЗВОДСТВА ВОДОРОДА)

В.Е. Глотов

Северо-Восточный комплексный научно-исследовательский институт ДВО РАН, 685000, Магадан, ул. Портовая, 16
E-mail: geocol@neisri.ru

Широко применяемый термин – инновация (инновационная экономика, инновационное развитие, инновационная технология и т.д.) включает в себя сочетание нескольких признаков: создание нового товара или нового качества товара; создание нового метода производства, еще не испытанного в данной отрасли промышленности; открытие рынков, на которых новый товар или товар с новыми качествами еще не появлялся; создание новых промышленных и/или торговых организаций [17]. До настоящего времени и в ближней перспективе, Северо-Восток России является поставщиком на рынки золота, серебра, олова, которые относятся к традиционным промышленным товарам. Возможны инновационные производства на базе месторождений цветных, редкоземельных, черных металлов и неметаллических полезных ископаемых, перспективы открытия которых изложены в монографии [4]. Однако все ресурсы недр имеют ограниченные запасы и, соответственно, ограниченный срок отработки. Поэтому еще на стадии эффективного развития традиционных отраслей необходимо выявление новых ресурсов – сырья для получения инновационных товаров, получаемых с привлечением возобновляемых источников энергии [3].

В составе таких ресурсов внимание привлекают криогенные (КрР). Они включают в себя *материальные объекты и силы природы, происхождение и развитие которых обусловлены сферой холода*. В их составе отчетливо выделяются естественные КрР и искусственные [1; 10]. *Естественные* образуют природные процессы, а *искусственные* создаются человеком с использованием естественных. В предлагаемом докладе основное внимание уделено естественным КрР. На базе этих ресурсов наиболее перспективно производство «зелёного» водорода (H_2), который через несколько десятилетий может стать основой инновационной экономики нашего региона. Ранее мы показали, что на Северо-Востоке (СВ РФ) центры производства «зеленого» H_2 будут использовать бесхлорную воду с ультрамалым содержанием солей и электроэнергию, получаемую на солнечных электростанциях (СЭС) [5; 8]. *Выявление криогенной природы этих и других ресурсов – цель настоящего доклада*. Объектом исследования является внутриконтинентальный район СВ РФ, расположенный на арктическом склоне Главного водораздела Земли, характеризующийся сплошным распространением криолитозоны (КЗ).

В настоящее время для электролиза воды используют один из 3-х видов электролизеров: щелочной; с протонообменной мембраной; твердооксидный; но во всех случаях воду деионизируют. Поскольку такая вода не проводит электрический ток, в ней растворяют NaOH или KOH до 25-50% по массе (в щелочном электролизере). Деионизирование необходимо для увеличения сроков работы электродов, но, прежде всего, для очищения от иона хлора (Cl^-). Ионный радиус Cl^- в водном растворе -1,67 нм, совпадающий с ионным радиусом гидроксида (OH^-) 0,16-0,17 нм. Следовательно, ионообменные мембраны, используемые в электролизерах, не препятствуют выделению газообразного Cl на аноде. Высокая токсичность его общеизвестна.

Воду без иона хлора можно получить только путем дистилляции, расходуя электроэнергию порядка 1 кВт/ч на кг, в том числе на нагревание её до 100 °С - 0,28 кВт/час и на испарение - 0,74 кВт/ч. Для получения 1 кг H_2 теоретически необходимо затратить 9 л (кг) воды. В масштабах производства в тоннах на получение 1 т H_2 потребуется 9 м³ деионизированной воды. Фактически при КПД около 50% - около 13 м³ дистиллята. На производство 1 т H_2 необходимо затратить электроэнергию 50 МВт/ч [15]. Дополнительно около 13 МВт/ч надо израсходовать на деионизацию или более затратно купить дистиллят.

Природные условия СВ РФ благоприятны для формирования поверхностных и подземных вод с ультрамалой общей минерализацией (менее 50 мг/дм³) и отсутствием Cl^- . Эти воды являются настоящим сырьём для производства H_2 без предварительной деионизации. Образование их связано с факторами географической, геоморфологической, геологической и геокриологической природы.

К факторам географической природы мы относим расположение региона в высоких широтах (севернее 59° с.ш.) в зоне очень холодного климата, со средней годовой температурой ниже минус 6 °С и длительностью холодного периода 7 и более месяцев. Выпадение атмосферных осадков во внутриконтинентальных районах связано с циклоническими воздушными массами, поступающими из акватория Атлантического океана. В процессе их перемещения теряется часть минерализованной влаги, поэтому зимние атмосферные осадки в центральной части Северо-Востока РФ имеют общую минерализацию порядка 5-10 мг/дм³ при отсутствии Cl⁻ [14]. При таянии снега в конце мая вода по мерзлому основанию стекает в речные долины, формируя сток ультрапресных бесхлорных вод, выявленных Колымским управлением гидрометеослужбы (КУГМС) [13].

В теплое время года происходит поступление Cl⁻ в атмосферу при испарении, микрокаплями в зоне прибоя и с гребней морских волн при штормовой погоде. Содержание его в дождевых водах достигает 5-6 мг/дм.

Факторы геокриологической и геоморфологической природы определяют распространение сплошной КЗ при глубине сезонно-талого слоя (СТС) в сентябре около 1,5 м. Горный рельеф способствует большим уклонам речных долин (>1 ‰) и активному водообмену. Последнее является причиной промытости СТС и очень малой минерализации полой воды в бассейне р. Колыма (до 13 мг/дм³) и до 5 мг/дм³ в горных районах на Чукотском п-ове [14].

Геологические факторы проявляются летом на площадях развития гидротермальной минерализации, где в грунтовые воды поступают ионы серебра (Ag), золота (Au), ртути (Hg), меди (Cu), которые, соединяясь с Cl⁻, образуют соли очень малой растворимости. Допускаем, что распространенные мезозойские терригенные породы обогащены этими элементами [15], что способствует возникновению бесхлорных вод на довольно значительных по площади водосборах, например, в правых притоках р. Колыма – реках Кулу и Сугой (табл. 1).

<i>Таблица 1</i>			
Гидрогеохимические характеристики стока бесхлорных речных вод по данным КУГМС и работы [8]			
№.№ п/п	Река; площадь водосбора, км ² ; режим стока	Средний расход, м ³ /с	Химический состав воды; содержание хлор-ион, мг/дм ³
1	Кулу; 10300; половодье, 1980 г.	955	$M0,01 \frac{HCO_3 57 SO_4 43}{Ca 100}; pH 6,2; Cl'0$
2	Там же, осенний паводок, 1980 г.	592	$M0,02 \frac{HCO_3 61 SO_4 39}{Ca 61 (Na + K) 25}; pH 6,6; Cl'0$
3	Там же, осенне-зимняя межень, 1980 г.	65,8	$M0,02 \frac{HCO_3 60 SO_4 33}{Ca 67 Na 20}; pH 6,5; Cl'0$
4	Сугой; 5880 км ² ; половодье, 1980 г.	640	$M0,016 \frac{HCO_3 72 SO_4 19}{Ca 56 Na 42}; pH 6,2; Cl'0$
5	Там же, летне-осенний паводок, 1980 г.	388	$M0,02 \frac{HCO_3 64 SO_4 36}{Ca 60 Na 34}; pH 6,8; Cl'0$
6	Там же, летне-осенняя межень, 1980 г.	59,4	$M0,03 \frac{HCO_3 65 SO_4 35}{Ca 58 Na 22}; pH 6,8; Cl'0$

За пределами бассейна стока р. Колыма бесхлорные воды характерны для бассейна р. Амгуэма. В реках Индигирка и Яна среднее содержание Cl⁻ в тёплое время года 0,35-0,82 мг/дм³ [2].

Инженерно-геологические и геокриологические условия СВ РФ, изученные ранее [6; 8], благоприятны только для реального освоения в крупных промышленных масштабах прямого солнечного излучения (ПСИ). Это обусловлено холодным климатом и геокриологическими особенностями.

Как известно, приход солнечной радиации в северном полушарии Земли максимален в июне и на границе с атмосферой составляет $1,365 \text{ кВт/м}^2$ в 1 с. Проникая в атмосферу, излучение поглощается пылью, газами и влагой атмосферы. С возрастанием широты местности, как известно, климат становится холоднее, что связано с уменьшением общей солнечной радиации (ОСР). Вместе с тем ПСИ на высокоширотных метеопостах в теплое время года значительно больше, чем на метеопостах низких (тёплых) широт (табл. 2).

<i>Таблица 2</i>					
Данные о прямой солнечной радиации в условиях средней облачности (числитель) и при ясной погоде (знаменатель) [13]					
№№ п/п	Метеостанция, абс. отметка, м; координаты (широта)	Высота Солнца над горизонтом, июнь, 12-30 час., в градус.	Солнечная прямая радиация, МДж/м ²		
			Теплый сезон (IV-IX)	Холодный сезон (X-III)	Годовая сумма радиации
1	Островное, 98; 68°06' с. ш.	44,7	$\frac{3260}{7746}$	$\frac{544}{1687}$	$\frac{3804}{9433}$
2	Омолон, 260; 65°32' с. ш.	47,8	$\frac{3262}{7619}$	$\frac{724}{2205}$	$\frac{3986}{9824}$
3	Марково, 26; 64°13' с. ш.	48,2	$\frac{3030}{7305}$	$\frac{758}{2208}$	$\frac{3757}{9513}$
4	Среднекан, 206; 62°25' с. ш.	50,5	$\frac{3008}{7189}$	$\frac{780}{2388}$	$\frac{3788}{9577}$
5	Краснодар, Круглик*, 98; 45°06' с. ш.	67,1	$\frac{2824}{5322}$	$\frac{1072}{3447}$	$\frac{3896}{8769}$

*Приведена для сравнения

В этом парадоксальном факте, проявляемом в теплом полугодии, сказывается не только более длительное нахождение Солнца выше горизонта, но и чистота атмосферного воздуха на Северо-Востоке России. Массовая концентрация аэрозолей в полярных и субполярных районах не превышает 7 мкг/м^2 , понижаясь до $0,1 \text{ мкг/м}^2$. В пустынях и полупустынях Евразии она достигает 250 мг/м^2 [9]. Это связано с тем, что в северных районах из-за глубокого промерзания горных пород и малой глубины кратковременного сезонного протаивания образование тонкозернистых (пылевидных) частиц замедлено. Препятствует поступлению аэрозолей в атмосферу в теплое время года и постоянное увлажнение пород на обширных площадях, связанное с распространением тундр и лесотундр не только на равнинах, но и на выположенных склонах и водоразделах в горных районах. Всё это способствует отсутствию природных очагов образования пыли. Слабая промышленная освоенность региона, носящая очаговый характер, который предопределяет и незначительную роль очаговых техногенных производителей аэрозолей.

Велика роль и СТС, который имея температуру в приповерхностном слое ниже атмосферной, вызывает поступление влаги из атмосферы в почву и в подстилающие талые грунты, участвуя в питании подземных вод за счет конденсации [12]. Следовательно, СТС является своеобразным осушителем атмосферы на СВ РФ. Действительно, здесь среднемесячная упругость водяного пара в атмосфере на метеопостах в июле $10,1 \text{ мб}$ (пост Островное). На посту Круглик (г. Краснодар) $18,4 \text{ мб}$. Вышеприведенные материалы дают основание считать прямое солнечное излучение криогенным ресурсом, сезонное проявление которого совпадает с сезонностью формирования бесхлорных вод. Это является благоприятным показателем для организации производства «зелёного» H_2 .

Важным фактором крупнотоннажного производства H_2 а во всех странах является необходимость создания его хранилищ. Это миграционно самый активный газ, легко воспламеняемый, взрывоопасный. На СВ РФ нет водородонепроницаемых соленосных пластов, нет подземных хранилищ водородометановых смесей. Однако есть признаки малой водородопроницаемости мерзлых глинистых толщ. На это указывают случаи вскрытия газовых скоплений в подмерзлотных толщах в Чаунской депрессии и в Анадырской впадине. Газ самовозгорался на выходе из обсадной трубы, но, к сожалению, его считали метаном и пробы не отбирались. В настоящее время научные иссле-

дования показывают, что гидраты метана в мерзлых глинах затрудняют диффузию H_2 [19]. Если эти исследования будут подтверждены в естественных условиях, то в межгорных бассейнах региона можно создавать искусственные криогенные покрывающие аккумуляторы H_2 .

Перспективны для создания аккумуляторов пласты базальтов и диабазов, развитые в пределах региона. На их водородонепроницаемость указывают факты вскрытия скоплений H_2 и водород-метановых смесей скважинами при разведке месторождений алмазов. Однако такие случаи не изучались, объекты газопроявлений изолировали, считая их проявлениями естественной нефтегазонасыщенности, хотя содержание H_2 превышало 70% [18]. Проблему предстоит изучать, приложив повышенные усилия познанию водородопроницаемости мерзлых пород.

К ресурсам криогенной природы мы также относим выположенные и плоские водоразделы, особо благоприятные для размещения СЭС. Это Юкагирское плато, Анадырское плоскогорье, Колымское нагорье, базальтовые плато в пределах вулcano-плутонических поясов, крупнейшим из которых является Охотско-Чукотский. На таких элементах рельефа солнечная освещенность более длительна, чем в низинах, здесь выше прозрачность атмосферы. На площади водоразделов развиты тундры и лесотундры, достаточно благоприятные для обеспечения пожарной безопасности.

Таким образом, природные условия на Северо-Востоке России, сложившиеся в четвертичном периоде, способствовали формированию естественных криогенных ресурсов: бесхлорных ультрапресных вод, повышенных значений прямой солнечной радиации, плоских водоразделов, перспективных с инженерно-геологических позиций для сооружения СЭС, мерзлых рыхлых и слабосцементированных пород, а также наличие площадей базальтов и диабазов, возможно перспективных для создания хранилищ водорода. По прикидочным расчетам [8] на современном техническом уровне в нашем регионе можно получать с апреля по сентябрь 38 млн. т водорода, используя ежедневно 18,12 м³/с воды. Это соответствует экологически допустимому изъятию её из такой реки, как р. Кулу в летнюю межень.

Литература

1. Алексеев В.Р. Криогенные ресурсы и судьба цивилизации // *Наука и техника в Якутии*. 2011. № 1 (20). – С. 85 -90.
2. Габышева О.И., Габышев В.А. Химический состав воды крупных рек Северо-Востока России и компоненты водной биоты в условиях сезонной деградации мерзлоты. Новосибирск: СО РАН, 2023. – 121 с.
3. Гальцева Н.В. Предпосылки и перспективы реструктуризации экономики Магаданской области / отв. ред. Н.А. Горячев. М.: Книга, 3009. – 320 с.
4. Геология СССР. Т. 30. Северо-Восток СССР. Полезные ископаемые / под ред. П. В. Бабкина, М. Е. Городинского. М.: Недра, 1983. – 263 с.
5. Глотов В.Е. Перспективы Крайнего Северо-Востока России на производство «зеленого» водорода с использованием климатических источников возобновляемой энергии // *Вестник СВНЦ ДВО РАН*. – 2023. – № 4. – С. 30-41.
6. Глотов В.Е. Гидрологические, гидрогеологические и экологические изменения в долине р. Колыма в связи со строительством КГЭС // *Экология и развитие общества*. – 2024. – № 1/2 (41/42). – С. 9-15.
7. Глотов В.Е. Природные предпосылки использования возобновляемой энергии гидросферы для развития «зеленой» энергетики на Крайнем Северо-Востоке России // *Альтернативная энергетика и экология*. – 2025. – № 2(421) – С. 133-146.
8. Глотов В.Е., Абукова Л.А. «Зеленый» водород – новый вид криогенного ресурса в горных районах Северо-Востока России // *Вестник СВНЦ ДВО РАН*. – 2025. – № 3. – С. 53-65.
9. Исмаилов Ф. Атмосферный аэрозоль. LAP LAMBERT Academic Publishing RU, 2019, 455с. DOI:10.36719/2019/288
10. Мельников В.П. К созданию цельного образа криосферы // *Криосфера Земли*. – 2014. – Т. XVIII. – № 4. – С. 3-14.
11. Научно-прикладной справочник «Климат России». 2022. URL: aisori-m.meteo.ru/climsprn/Дата обращения 28.XI.2024
12. Рейнюк И.Т. Конденсация в деятельном слое вечной мерзлоты. Тр. ВНИИ-1. Мерзлотоведение. Вып. 15. Магадан: ВНИИ-1, 1959. – 73 с.

13. *Ресурсы поверхностных вод СССР. Т. 19. Северо-Восток / под ред. В. В. Куприянова. – Л.: Гидрометеиздат, 1969. – 282 с.*
14. Семенец Е.С., Свистов П.Ф., Таких А.С. *Химический состав атмосферных осадков в Российской Субарктике // Вестник Томского ПГУ. Геоинформатика. – 2017. – № 328 (3). – С. 27-36.*
15. Сидоров В.В., Томсон И.Н. *Рудоносность черных сланцевых толщ: сближение альтернативных концепций // Вестник РАН, 2000. – Т. 70. – № 8. – С. 719-724.*
16. Терехов Е.Ю., Елистратов В.В. *Эколого-экономическое сравнение технологий производства водорода в рамках стратегии низкоуглеродного развития // Альтернативная энергетика и экология. – 2025. – № 2 (431). – С. 56-70.*
17. Феликс Янсен. *Эпоха инноваций (перевод с англ.). М.: Инфра-М, 2002. – XII. – 308 с.*
18. Фомичев А.С. *Еще раз о нефтегазопроявлениях в кимберлитовых трубках Якутии // Геология нефти и газа. – 2008. – № 5. – С. 58-64.*
19. Чувилин Е.М., Давлешина Д.А., Лупчак М.В. *Гидратообразования в мерзлых и оттаивающих метанонасыщенных породах // Криосфера Земли. – 2019. – Т. XXIII. – № 2. – С. 50-61.*

ФОРМИРОВАНИЕ ТЕХНОГЕННЫХ ГЕОХИМИЧЕСКИХ АНОМАЛИЙ ПРИ ОТРАБОТКЕ МЕСТОРОЖДЕНИЙ В СЕВЕРО-ЯНСКОМ ОЛОВОНОСНОМ РАЙОНЕ ЯКУТИИ

В.Н. Макаров

Институт мерзлотоведения имени П.И.Мельникова СО РАН,
677010, г. Якутск, Мерзлотная, 36
E-mail: vnmakarov@mpi.ysn.ru

Введение

В РФ олово входит в перечень стратегических видов минерального сырья и относится к полезным ископаемым первой группы, сырьевая база которых достаточна для обеспечения потребностей экономики [11].

Традиционно олово используется как безопасное, нетоксичное, коррозионностойкое покрытие в чистом виде или в сплавах с другими металлами. В последнее десятилетие олово стало востребованным индустрией высоких технологий и приобрело совершенно новые перспективы, связанные с ускоренным развитием производств электроники, электротехники, химии, сложного машиностроения. Расширяющийся спрос на продукцию IT-индустрии стал основным мотивом роста интереса к олову [1]. Очевидным следствием влияния фундаментальных факторов спроса и предложения стал непрерывный взрывной рост цены на олово, которая за последние десять лет на Лондонской бирже металлов (London Metal Exchange, LME) увеличилась с 24 818 \$/т до 41 751 \$/т (по состоянию на 13.12.2025), т.е. почти в два раза, а средняя цена олова с 1 января 1993 по 13 декабря 2025 возросла на 36 189 \$/т (751%): было 5 562, стало 41 751 \$/т.

В перспективе ожидается устойчивый рост спроса на металлическое олово. Его возможные темпы International Tin Association (ITA) оценивает в 3-6% в год [9, 10].

Доля РФ в глобальных запасах олова, сконцентрированных на востоке страны составляет не менее 7% от мировых (5 место в мире).

Цель настоящей работы – обобщить и проанализировать имеющуюся информацию о техногенном воздействии отработки месторождений олова на окружающую среду региона. Дать оценку возможной геоэкологической опасности при активной отработке месторождений олова в арктической зоне Якутии. Экологические проблемы – важные факторы, тормозящие строительство новых рудников, как в отечественной, так и в зарубежной Арктике [5]. Знание вероятной опасности загрязнения окружающей среды при добыче олова позволит определить необходимый комплекс природоохранных и компенсирующих мероприятий при возрождении оловодобывающей промышленности в регионе.

Результаты исследований и обсуждение

В Арктической зоне России сосредоточена крупнейшая минерально-сырьевая база олова в мире. Доля российского олова в арктических запасах планеты составляет 100%, а в запасах страны – около 50%. Здесь известны два уникальных оловорудно-россыпных района: Северо-Янский в Республике Саха (Якутия) и Пыркакайский в Чукотском АО. В 1990-х годах добыча олова из рудных месторождений и россыпей в этих районах превышала 10 тыс. т олова в год, а затем была прекращена по экономическим причинам [4, 8]. В настоящее время добыча олова начинает возрождаться.

Основные месторождения олова сосредоточены на востоке и северо-востоке Якутии в Северо-Янском оловоносном районе, где находится 50% российских запасов и ресурсов олова. К настоящему времени здесь известны 114 собственно оловянных объектов, в том числе девять коренных и шесть россыпных месторождений, большинство которых находится за полярным кругом: рудные – Чурпунья, Депутатское, Дьяхтардахское, Одинокое, Эге-Хая, Кестер, Улахан-Эгеляхское; россыпные – Чокурдахская, Смольникова, Одинокое, Тасаппа, Тирехтях. Большинство месторождений оло-

ва, преимущественно касситерит-силикатных и касситерит-кварцевых, числится в нераспределённом фонде недр [13].

Большая часть запасов олова (около 76%) содержится в коренных породах. В крупнейшем в стране Депутатском месторождении, с богатыми касситерит турмалиновыми рудами, содержится 12,1% запасов Российской Федерации, со средним содержанием олова – 1,15% [4]. Среди россыпей выделяются две уникальные – на ручьях Тирехтях и Одинокий, запасы каждой из которых превышают 50 тыс. т металла при содержании олова в песках более 800 г/м³. Каждая из россыпей по количеству заключенного в них металла сопоставима с крупными коренными месторождениями (табл. 1).

<i>Таблица 1</i>				
Основные месторождения олова в Северо-Янском оловоносном районе [4]				
Месторождение	Тип месторождения	Запасы (А+В+С₁) на 01.01.21г., тыс. т	Доля в запасах РФ, %	Содержание Sn
Подготовленные к эксплуатации и разведываемые				
Депутатское	Касситерит- силикатный	198,3	12,1	1,15%
Тирехтях	Россыпной	65,9	3,2	959,22 г/м ³
Нераспределенный фонд недр				
Одинокое	Касситерит- кварцевый	125,8	6,0	0,32%
Одинокий	Россыпной	50,9	2,5	828,71 г/м ³
Чокурдах	Россыпной	18,2	0,9	492,97 г/м ³

Горнодобывающие и горнообогащительные предприятия являются одними из наиболее сильных загрязнителей окружающей среды, что связано с целым комплексом факторов отработки, наряду с тем, что месторождения сами являются природными загрязнителями, которые неизбежны при технологических процессах разведки и эксплуатации месторождений. К таким факторам относятся: дефляция и размыв отвалов и хвостохранилищ; стоки водоотлива из подземных и поверхностных горных выработок; стоки обогатительных фабрик после очистки; рассеяние рудного материала при транспортировке; организованные и неорганизованные выбросы в процессе обогащения. Ведущими факторами, определяющими специфику развития природных комплексов в Якутии, являются суровый резко континентальный климат и повсеместное развитие многолетнемерзлых пород [15], геохимический состав руд, эндогенных ореолов и вмещающих пород [16].

Технологическими факторами воздействия на экосистемы являются способ и система разработки месторождений, применяемая технология добычи и переработки сырья, комплекс основной и вспомогательной техники.

Геохимические особенности региона определяются широким распространением юрских терригенно-осадочных отложений с подчиненным развитием эффузивов риолитового и андезитового состава. Менее распространены крупные массивы гранитов, диоритов, гранитоидов [14].

Оловорудные месторождения в регионе принадлежат касситерит-пегматитовой, касситерит-кварцевой, касситерит-силикатной, касситерит-сульфидной формациям и формации оловоносных скарнов. Основное значение среди них по количеству месторождений и объему запасов и ресурсов имеют касситерит-силикатная и касситерит-кварцевая формации, подчиненное – касситерит- сульфидная.

Большинство россыпных месторождений олова обрабатываются открытым способом с бульдозерной технологией вскрыши и добычи.

Разработка оловоносных россыпных месторождений в регионе привела к значительной деградации экосистем и образованию локальных природно-техногенных комплексов, основной особенностью которых является бурное развитие термоэрозионных явлений при разрушении почвенно-растительного слоя на всех стадиях горного производства, что объясняется наличием порового льда и ледяных жил (повторно-жильных льдов) во вмещающих породах. Наиболее серьезные изменения происходят в почвенно-растительном покрове и в химическом составе водных объектов.

Отработка рудных и россыпных месторождений олова связана с извлечением на поверхность больших масс горных пород, оборотных технических вод, эксплуатацией хвостохранилищ. Про-

цессы техногенеза сопровождаются активизацией физико-химических и биогеохимических процессов и приводят к резкому изменению химического состава природных вод и формированию протяженных техногенных лито- и гидрохимических потоков в речной сети, отрицательно влияющих на экосистемы.

Материал россыпей уже прошел переработку в зоне гипергенеза, неустойчивые минералы (в первую очередь, сульфиды) в значительной степени переработаны, поэтому загрязнение среды при эксплуатации россыпей носит, преимущественно, механический характер, определяемый высокой мутностью водотоков, а также вторичный химический при преобразовании техногенных осадков.

Комплекс химических элементов, концентрирующихся в зоне гипергенеза рудных месторождений олова, и формирующих геохимические аномалии во вторичных литохимических ореолах, лито- и гидрохимических потоках рассеяния представлен в табл. 2.

<i>Таблица 2</i>			
Состав и параметры вторичных геохимических аномалий на рудных месторождениях Северо-Янского оловоносного района			
Рудная формация	Литохимические		Гидрохимические
	ореолы	потоки	Потоки
Касситерит-кварцевая (Одинокое)	Sn, Mo, Cu, Ag, Zn, Co	Sn, Co, Zn, Pb, P, Ti, Cu, As -	Sn, Li, As, Bi, Ag, Be, P
	Ореолы в сотни раз превышают размеры выходов рудных тел	Протяженность потоков до 2 км	Протяженность потоков до 1 км
Касситерит-силикатная (Депутатское)	Sn, Mo, Cu, Pb, Zn	Sn, Mn, Cu, Pb, Zn, Co, Ni	Sn, As, B, F, Pb, Zn, Cu, Hg, SO ₄ ²⁻ , pH
	Ореолы в десятки раз превышают размеры выходов рудных тел	Протяженность потоков от 2-3 до 6-7 км	Протяженность потоков до 1 км

Общей чертой гидрогеохимии оловорудных месторождений является формирование вокруг них слабокислых и кислых, иногда очень кислых, природных гидрогеохимических полей с высокими концентрациями сульфатов и присутствием в солевом составе рудных элементов [7].

В поверхностных водах концентрации сульфатов достигают первых граммов в литре, меди и фтора – n мг/л, ртути, олова, вольфрама – 0,0 n мг/л. В надмерзлотных водах содержание рудных элементов еще выше, однако параметры аномалий менее значительны.

В результате процессов криогенеза в надмерзлотных рудничных водах формируются сульфатные криопэги. Величина сухого остатка этих вод достигает 250 г/л, а в составе микроэлементов обнаружены аномальные концентрации Cu, Sn, As, Ag, Pb, Cd, Be, Nb, Ta, Li, Hg.

Повышенная сульфатность характерна и для подмерзлотных вод, вскрытых скважинами в пределах рудных полей на глубинах 200-600 м. В составе подмерзлотных вод наблюдается обширный комплекс тяжелых металлов – Sn, As, Cu, Ag, Pb, Zn, Ni, типоморфных составу рудных тел [7].

Отработка россыпных месторождений олова связана с извлечением на поверхность больших масс льдистых пород, оборотных технических вод, эксплуатацией их накопителей. Это приводит к высокой техногенной нагрузке на водные системы, попадающие в зону антропогенного воздействия. Естественная мутность вод водотоков, составляющая около 0,1 г/л [12], ниже обрабатываемых россыпей олова, в период активной добычи, увеличивалась на несколько порядков (россыпь Хаханнах, июнь 1982 г. – 4091 мг/л). Тонкоизмельченные различные минералы в техногенных взвесах образуют устойчивую слабоосаждающуюся в воде муть, загрязняющую водотоки на большом протяжении. В восьмидесятые годы XX века, во время активной отработки россыпей олова (Смольниковка, Тенкели, Суор, Озерный, Крайний и др.), взвешенные вещества засорили р. Хрому на протяжении до 500 км [9,14].

В большинстве случаев концентрация тяжелых металлов в минеральных взвесах возрастает в 2-3 раза, однако их общее количество в системе вода-взвесь увеличивается на 1-2 порядка. Например, если суммарное содержание растворенной и взвешенной меди в фоновых водотоках составляет

0,1-0,2 мг/л, то ниже месторождений достигает 9,4 мг/л (р. Хаханнах, ниже россыпи Озерной) и 6-13 мг/л (р. Тенкели, ниже россыпи Тенкели).

Наблюдается отчетливая зависимость содержания минеральных взвесей в техногенных водных системах от площади нарушенных земель на месторождениях (рис. 3).

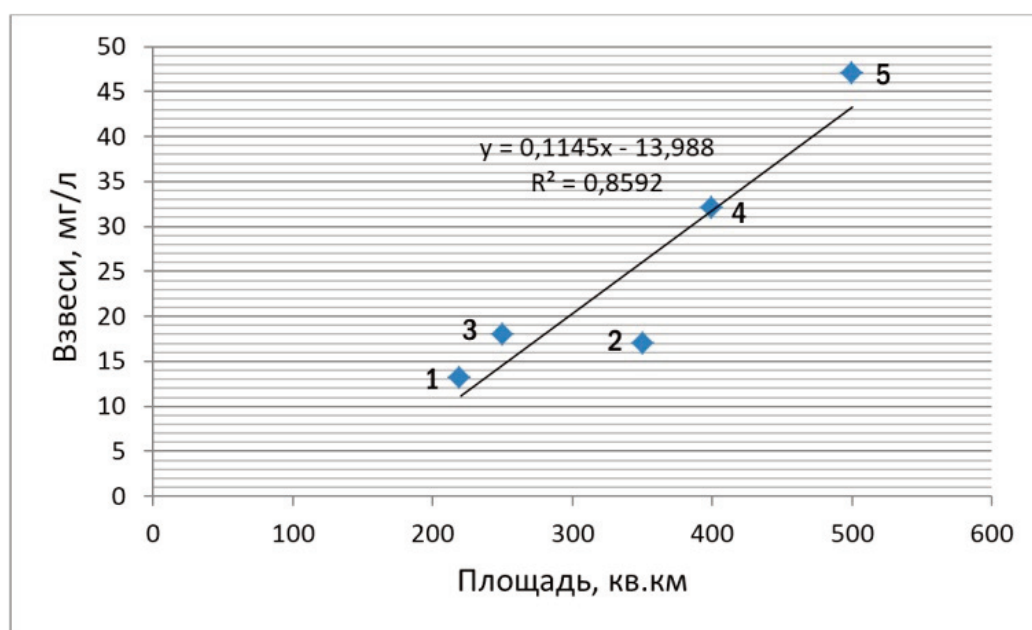


Рис. 3. Соотношение площади нарушенных земель и содержания минеральных взвесей в устьях рек дренирующих месторождения

1-5 – река (месторождение): 1 – Хаханнах (Озерный), 2 – Тенкели (Тенкели), 3 – Буор-Юрях (Суор), 4 – Силир (Смольникова), 5 – Артык (Крайний, Перевальный)

Отрицательные экологические последствия разработки месторождений олова имеют локальный характер по загрязнению атмосферы и литосферы, но являются региональными по уровню техногенного давления на водные системы. Контрастность техногенных гидрогеохимических аномалий на рудных (Zn, Cu, Mn, Co, Pb, La, SO₄) и россыпных (Mn, Cu, Cr) месторождениях олова достигает 100×n и даже 1000×n по отношению к фоновым концентрациям в природных водах.

Заключение

Оловодобывающая отрасль в Северо-Янском оловоносном районе характеризуется высокими запасами полезного ископаемого. Большинство крупных оловянных месторождений, таких как коренные: Чурпунья, Депутатское, Дьяхтардахское, Эге-Хая, Кестер, Улахан-Эгеляхское и россыпные: Чокурдахская, Смольникова, Тасаппа, Тирехтях, располагаются за полярным кругом в экстремальных природных условиях, существенно затрудняющих освоение минеральных ресурсов.

Растущий спрос и устойчивый рост мировых цен на олово определяет перспективы возрождения оловодобывающей промышленности в регионе. Возрождение оловодобывающей промышленности в Северо-Янском оловоносном районе приведет к осложнению экологической ситуации. Для всех способов разработки месторождений олова характерно воздействие на биосферу, затрагивающее практически все её элементы: водный и воздушный бассейны, землю, недра, растительный и животный мир.

Решение о будущем оловодобывающей отрасли должно быть принято с учетом информации о геокриологических, геохимических и геоэкологических условиях Северо-Янского оловоносного района. Создание и реализация системы природоохранных и компенсирующих мероприятий, горноэкологического мониторинга, позволят проводить эффективную добычу олова с минимальным ущербом для северных геосистем и способствовать возрождению оловодобывающей отрасли.

Исследования выполнены при поддержке комплексной программы фундаментальных научных исследований ИМЗ СО РАН (Проект СО РАН АААА-А20-120111690008-9).

Литература

1. Айкашев А. Н. Мировой рынок олова переживает ренессанс // *Российский внешнеэкономический вестник* №1 – 2014. С. 82-93.
2. ГН 2.1.5.1315-03. *Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в воде водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования*. М.: Минздрав России. 2003 (с изменениями на 13.07.17).
3. ГН 2.1.7.2041-06. *Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в почве. Гигиенические нормативы*. М.: Стандартинформ, 2006. 15 с.
4. *Государственный доклад «О состоянии и использовании минерально сырьевых ресурсов Российской Федерации в 2021 году»*. — М.: ВИМС, 2022. — 622 с.
5. Лаломов А.В., Бочнева А.А., Чефранов Р.М., Чефранова А.В. (2015) *Россыпные месторождения Арктической зоны России: современное состояние и пути развития минерально-сырьевой базы.*// *Арктика: экология и экономика*, (2), 66–77.
6. Макаров В.Н. *Геохимическая оценка хвостохранилищ горно-обогатительных комбинатов Якутии // Недропользование XXI век. 2023 , №3-4 (100) , С. 35-41.*
7. Макаров В.Н., Мокшанцев Б.К. *Техногенные геохимические потоки месторождений олова в арктической зоне Якутии. - В сб.: Формирование подземных вод криолитозоны. Якутск: Ин-т мерзлотоведения СО РАН. 1992, с. 48-65.*
8. Матвеев, А.И. *Технологическая оценка месторождений олова Якутии / А.И. Матвеев, Н.Г. Еремеева / Отв. ред. Ткач С.М. – Новосибирск : Академическое изд-во «Гео», 2011 – 119 с.*
9. *Олово мира. Электронный ресурс. Дата обращения 13.12.254. Источник: <https://nedradv.ru/nedradv/ru/ratings?rubric=0a8b7ef8e482110b22e0685d6c3b1c93>*
10. *Перспективы добычи олова в России [электронный ресурс]: YkTiMES.RU / 26 января 2017. URL: <http://www.yktimes.ru> (дата обращения: 11.06.2017).*
11. *Распоряжение Правительства РФ от 16.01.1996 N 50-р «Об основных видах стратегического минерального сырья».*
12. *Ресурсы поверхностных вод СССР. Том 17, Лено-Индигирский район. Л.: Гидрометеиздат, 1972. 651 с.*
13. *Состояние и пути повышения эффективности добычи олова в Республике Саха (Якутия). Якутск: Изд-во ЯНЦ СО РАН, 2000. – 100 с.*
14. *Тектоника, геодинамика и металлогения территории Республики Саха (Якутия). - М.: М АИК «Наука/Интерпериодика», 2001 - 571 с.*
15. *Шац М.М. Макаров В.Н. Геоэкологические особенности недропользования в Восточной Сибири. – Всероссийская конференция с международным участием «Устойчивость природных и технических систем в криолитозоне», посвященная 60-летию образования ИМЗ СО РАН (28-30.09.2020 г.), Якутск: Ин-т мерзлотоведения СО РАН – С.204-207.*
16. *Шац М.М. Геокриологические и геоэкономические аспекты освоения месторождений олова Яно-Индигирская провинция (Якутия) //Маркшейдерия и Недропользование. №5(103) 2019 г. С. 3-8.*

НАТУРНЫЕ ИСПЫТАНИЯ УСОВЕРШЕНСТВОВАННОГО МНОГОКАНАЛЬНОГО СКВАЖИННОГО ИНЪЕКТОРА ДЛЯ ОЧИСТКИ ПОДЗЕМНЫХ ВОД ОТ РАСТВОРЕННЫХ НЕФТЕПРОДУКТОВ

Н.Г. Максимович^{1,2}, А.Д. Деменев^{1,2}, О.А. Березина^{1,2}, В.Т. Хмурчик^{1,2}, А.А. Мизев^{1,2}

¹Пермский государственный национальный исследовательский университет,
г. Пермь, ул. Букирева, 15
E-mail: nmax@psu.ru, demenevartem@gmail.com, artem.mizev@bk.ru

²ООО «МИП «Геоинновация Плюс», г. Пермь, ул. Букирева, 15
E-mail: berezina.olga16@gmail.com

Разработка и усовершенствование методов очистки подземных вод от растворенных нефтепродуктов является актуальной задачей в сфере рационального природопользования. Это связано в первую очередь с тем, что функционирование нефтегазового сектора остается высоко развитым как в России, так и во всем мире. Ежедневно добывается около 7,1 млн тонн нефти, при этом по данным Федерального агентства по недропользованию в России добывается около 11% от этого объема. Техногенное влияние на компоненты окружающей среды при этом прослеживается практически во всех технологических процессах [3, 7, 8, 12]. Разработано множество методов очистки природных объектов от нефтяного загрязнения [2, 6, 5, 10]. В целом методы предотвращения загрязнения можно разделить на несколько групп: механические, физические, химические, биологические, а также комбинированные [4]. В случае растворенных нефтяных углеводородов биологическое разрушение загрязнений является одним из самых эффективных и широко применяемых подходов. Биологическая обработка (биоремедиация) загрязненных подземных вод и грунтов основана на естественной способности микроорганизмов разлагать углеводороды [4, 13].

Разрушение нефтяных углеводородов в окружающей среде происходит как в аэробных, так и в анаэробных условиях. Однако разложение в аэробных условиях происходит значительно быстрее, поэтому предпочтительно использовать кислород в качестве окислителя. В то же время, хотя физико-химические процессы играют существенную роль в самоочищении биоценозов от нефти и нефтепродуктов, полное разрушение нефтяных углеводородов возможно только при участии углеводородоокисляющих бактерий [11]. Поскольку кислород расходуется в процессе окисления нефтяных углеводородов, его концентрацию необходимо поддерживать на уровне, требуемом для жизнедеятельности углеводородоокисляющих бактерий. Установлено, что концентрация растворенного кислорода в подземных водах должна поддерживаться на уровне не менее 5-10 мг/л для эффективного разложения нефтяных углеводородов [9]. На предыдущих этапах исследований, авторами была подтверждена высокая эффективность очистки подземных вод при дозированной подаче кислорода [1].

В рамках полевых испытаний летом 2025 года выполнялось опробование усовершенствованного многоканального скважинного инжектора, используемого для очистки подземных вод от растворенных нефтепродуктов. В качестве реагента через инжектор в подземные воды подавался также кислород. Усовершенствование технологического процесса заключалось в использовании новых материалов и соединений в конструкции скважинного инжектора, доработки функции дистанционной передачи данных с целью оптимизации энергопотребления, внесение изменений в регламент натурного опробования подземных вод и методику выполнения химических анализов.

Испытания усовершенствованного многоканального скважинного инжектора проводились на территории г. Перми в гидрогеологической скважине, глубиной 6 м, уровень вод фиксировался на глубине 3,2 м. Химический состав вод до начала испытаний характеризовался типичным для этого водоносного горизонта $\text{HCO}_3\text{-Ca}$ составом, TDS – 380 ppm, pH – 7,4, содержание растворенного кислорода составляло 1-2 мг/дм³. Концентрация растворенных нефтепродуктов изменялась в пределах 0,35 мг/дм³, что превышает нормативные значения. Для оперативного получения данных о ходе технологического процесса был организован дистанционный мониторинг содержания растворенного кислорода в подземных водах в зоне очистки, а также периодический отбор

проб с целью последующего определения содержания растворенных нефтепродуктов в лабораторных условиях.



Рис. Усовершенствованный многоканальный скважинный иньектор

В период проведения натурных испытаний для получения наиболее достоверной информации о функционировании системы очистки подземных вод пробы воды отбирались с интервалом 14-30 дней, замеры концентрации растворенного кислорода выполнялись в дистанционном режиме, данные передавались по беспроводной связи ежедневно. Содержание растворенных нефтепродуктов в воде за 4 месяца снизилось с 0,35 мг/дм³ до 0,06 мг/дм³, что свидетельствует о высокой эффективности очистки без существенных эксплуатационных затрат на её проведение. Работоспособность системы подтверждена данными оперативно контроля – содержание растворенного кислорода не опускалось ниже 19,43 мг/дм³ за весь период проведения испытаний.

Использование усовершенствованного иньектора с внесенными конструкционными изменениями существенно упростило проведение отбора проб и в целом повысило надежность системы.

Проведенные исследования показали, что предлагаемые технологические решения могут быть успешно использованы при очистке подземных вод от загрязнения нефтепродуктами. Усовершенствованная модель многоканального скважинного иньектора позволила обеспечить постоянное насыщение в диффузионном режиме подземных вод кислородом до необходимой концентрации. В период испытаний обновленного оборудования концентрация растворенных нефтепродуктов значительно снизилась до 0,06 мг/дм³.

Применение разработанного иньектора для биостимуляции может быть использовано как в дополнение к широко применяемым методам очистки подземных вод, так и использовано как самостоятельное технологические решение для проведения природоохранных мероприятий. Также стоит учитывать, что основная концепция предлагаемой технологии может быть использована и адаптирована под конкретные задачи на объекте, где необходимо проведение работ по экологическому восстановлению подземных вод и грунтов.

Исследование выполнено при поддержке при финансовой поддержке Министерства образования и науки Пермского края в рамках Соглашения № С-26/354.2.

Литература

1. Березина О.А., Деменев А.Д., Максимович Н.Г., Мизев А.А. Хмурчик В.Т. Применение биостимуляции для очистки подземной гидросферы от растворенных нефтепродуктов //

- Современные проблемы водохранилищ и их водосборов: труды X Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участ. Пермь. 2025. С. 423-426.*
2. Давыдова С.Л., Тагасов В.И. *Нефть и нефтепродукты в окружающей среде. М.: Изд-во РУДН, 2004. 163 с.*
 3. Максимович Н.Г., Деменев А.Д., Хмурчик В.Т., Березина О.А., Мухаметдинов А.В. *Моделирование процесса очистки подземных вод от растворенных нефтепродуктов при использовании биотехнологических методов // Георесурсы. 2024. Т. 26. № 2. С. 124-134. <https://doi.org/10.18599/grs.2024.2.11>*
 4. Максимович Н.Г., Хмурчик В.Т., Деменев А.Д., Березина О.А., Мизев А.А., *Технологические решения очистки подземных вод от растворенных нефтепродуктов // Вестник Пермского университета. Геология. 2023. Т. 22. № 4. С. 390-396.*
 5. Оборин А.А., Хмурчик В.Т., Иларионов С.А., Маркарова М.Ю., Назаров А.В. *Нефтезагрязненные биогеоценозы (Процессы образования, научные основы восстановления, медико-экологические проблемы). Пермь: Изд-во УрО РАН, 2008. 511 с.*
 6. Пряничникова В.В. *Электрохимический способ ликвидации последствий нефтяного загрязнения грунтов. Дис. канд. техн. наук. Уфа. 2018. 162 с.*
 7. Соколов Э.М., Максимович Н.Г., Мецзякова О.Ю. *Формирование нефтяного загрязнения сульфатного массива в карстовых районах и методы его ликвидации // Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле. 2015. № 2. С. 79-89.*
 8. Фащук Д.Я., Овсиенко С.Н., Леонов А.В., Егоров А.П., Зацева С.Н., Ивченко А.А. *Геозкологические последствия аварийных морских разливов нефти // Известия Академии наук. Серия географическая. 2003. № 5. С. 57-73.*
 9. *Chapelle, F.H. Bioremediation of petroleum hydrocarbon-contaminated ground water: The perspectives of history and hydrology. Groundwater 1999. 37. P. 122-132*
 10. *Demenev A., Maksimovich N., Khmurchik V., Rogovskiy G., Rogovskiy A., Baryshnikov A. Field test of / in situ / groundwater treat-ment applying oxygen diffusion and bioaug-mentation methods in an area with sustained total petroleum hydrocarbon (TPH) contami-nant flow // Water. 2022. Vol. 14, article 192.*
 11. *Oborin, A.A.; Khmurchik, V.T.; Ilarionov, S.A.; Makarova, M.Y.; Nazarov, A.V. Oil-Polluted Biogeocenoses; UB of RAS: Perm, Russia, 2008; 511p.*
 12. *Ossai, I.C.; Aziz, A.; Auwalu, H.; Fauziah, S.H. Remediation of soil and water contaminated with petroleum hydrocarbon: A review. Environ. Technol. Innov. 2020, 17, P. 3–42.*
 13. *Parmar, N.; Singh, A.; Khan, H. Bioremediation of Contaminated Sites and Aquifers. Geomicrobiol. Biogeochem. Soil Biol. 2014, 39, P. 261–296.*

ИССЛЕДОВАНИЕ СОВРЕМЕННОГО СОСТОЯНИЯ ПРИРОДНЫХ СИСТЕМ АРКТИЧЕСКОЙ ЗОНЫ ЯКУТИИ

И.Е. Мисайлов, С.В. Калиничева

ФГБУН Институт мерзлотоведения им. П.И. Мельникова СО РАН
677010, Якутск, ул. Мерзлотная, 36, Россия
E-mail: ventura-83@mail.ru

Введение

Криолитозона Арктики, являющаяся ключевым компонентом глобальной климатической системы, в настоящее время испытывает значительные изменения под воздействием климатического потепления [1] и усиления антропогенной нагрузки. Особую уязвимость демонстрируют тундровые и лесотундровые ландшафты, характеризующиеся высокой льдистостью пород. Территории Анабарского и Оленёкского районов Республики Саха (Якутия) остаются одними из наименее изученных в геокриологическом отношении в циркумполярной зоне, представляя собой «белое пятно» на карте мерзлотного мониторинга. Отсутствие режимных наблюдений за температурным состоянием многолетнемерзлых пород (ММП) и их взаимодействием с атмосферой затрудняет прогнозирование последствий деградации мерзлоты для экосистем и инфраструктуры [4].

Цель работы: создание опорной сети геокриологического мониторинга и получение базовых данных о современном состоянии и динамике мерзлотных условий в арктических районах Якутии.

Задачи:

1. Организация сети мониторинговых геотермических скважин, оснащенных автоматическими логгерными системами.
2. Проведение комплексных ландшафтно-геокриологических исследований для выявления взаимосвязей между природными условиями и параметрами мерзлоты.
3. Установка метеорологической станции для корреляции климатических и мерзлотных процессов.
4. Получение данных о температурном режиме пород, мощности сезонно-талого слоя (СТС) и их пространственной изменчивости.

Район работ

Исследования проводились в двух ключевых районах Арктической зоны северо-востока Якутии:

1) Окрестности с. Саскылах (Анабарский район): расположен в зоне типичной тундры и лесотундры. Рельеф представлен террасированной долиной нижнего течения р. Анабар и сильно расчлененными водораздельными пространствами с развитием термокарста.

2) Окрестности с. Оленёк (Оленёкский район): расположен в зоне лесотундры и северной тайги. Район работ включает как плоские водоразделы, так и склоновые и долинные ландшафты.

Для обоих районов характерен резко континентальный арктический климат со среднегодовой температурой воздуха от $-9,9$ °С до $-14,1$ °С и мощностью снежного покрова 0,6-0,85 м. Многолетнемерзлые породы (ММП) распространены сплошным покровом с прогнозируемой мощностью от 500 до 900 м [4].

Методы

Применен комплексный подход, интегрирующий современные методы полевых исследований: *Геотемпературный мониторинг*. Бурение скважин глубиной 15-20 м с полным отбором керна. Оборудование скважин автоматическими логгерными системами [3]:

- на начальном этапе: одно- и двухканальные логгеры (глубина заложения датчиков до 1,5-2,0 м).
- на основном этапе: многоканальные цифровые датчики МЦДТ 0922 («термокосы») с логгерами ЛЦД-1/100-СД, позволяющие измерять температуру с высоким разрешением по глубине (до 20 м) с шагом 0,5-1,0 м.

Ландшафтно-индикационные исследования: Заложено 50 ландшафтных точек с описанием растительности, микрорельефа, литологии. Проведено 60 измерений мощности сезонно-талого слоя (СТС) шупом, заложено 15 шурфов для определения влажности и литологического состава деятельного слоя.

Картографирование: на основе полевых данных и дешифрирования космоснимков составлена мерзлотно-ландшафтная карта района исследования масштаба 1:100 000 с выделением типов местности и урочищ [5].

Метеорологические наблюдения: установлена автоматическая метеостанция «Сокол-М1» (северный вариант), регистрирующая полный комплекс погодных параметров (температура и влажность воздуха, ветер, давление, осадки, высота снега) и влажность грунта до глубины сезонного протаивания.

Основные Результаты

В ходе работ 2021-2024 гг. создана опорная сеть, включающая:

- 6 мониторинговых геотермических площадок (4 в Анабарском районе и 2 в Оленёкском).
- 1 автоматическая метеостанция в районе н.п. Саскылах.
- Получены первые массивы непрерывных данных о температуре пород и атмосферы.

Температурный режим многолетнемерзлых пород

Обработка данных термометрических измерений позволила установить:

- Глубина слоя годовых теплооборотов варьирует от 10-12 метров (в долинных условиях) и до 13-14 метров (на водораздельных плато).
- Температура ММП на глубине 15-20 м демонстрирует значительную пространственную изменчивость (рис. 1):
 - на водоразделах: $-6,4\text{ }^{\circ}\text{C}$... $-8,8\text{ }^{\circ}\text{C}$;
 - в долинах: $-2,6\text{ }^{\circ}\text{C}$... $-3,8\text{ }^{\circ}\text{C}$.

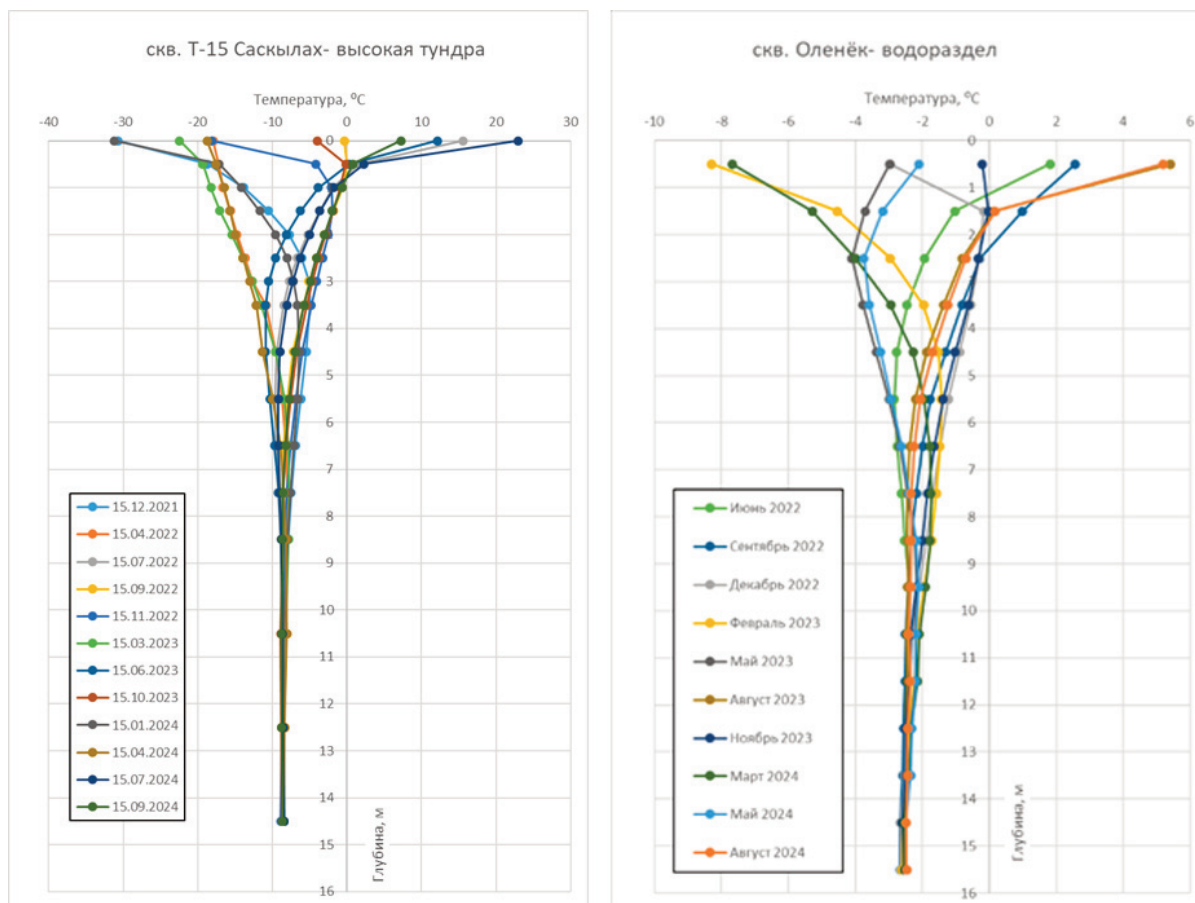


Рис. 1. График изменения температуры пород

Такая разница обусловлена различиями в условиях теплообмена (снежный покров, растительность, влажность грунтов и др.).

Взаимосвязь ландшафтных условий и температурного режима грунтов

Полевые исследования выявили четкую зависимость параметров мерзлоты от типа ландшафта (на примере района Саскылах), которые приведены в таблице 1. Это объясняется тем, что на лесных участках высота снежного покрова больше, чем на тундровых открытых участках.

<i>Таблица 1</i>			
Данные по мощности СТС и температуре пород			
Ландшафтная зона	Средняя мощность СТС, м	Диапазон мощностей СТС, м	Температура пород, °С
Тундра	0,87	0,30-1,43	-6,4 ... -6,8
Лесотундра (молодой лес)	0,75	0,60-0,90	-5,1 ... -5,8
Лесотундра (коренной лес)	0,70	0,48-0,91	-5,1 ... -5,8

По результатам полученных данных составлен ряд мерзлотно-ландшафтных карт (рисунок 2), которые служат основой для пространственного анализа и экстраполяции данных мониторинга на подобные территории.

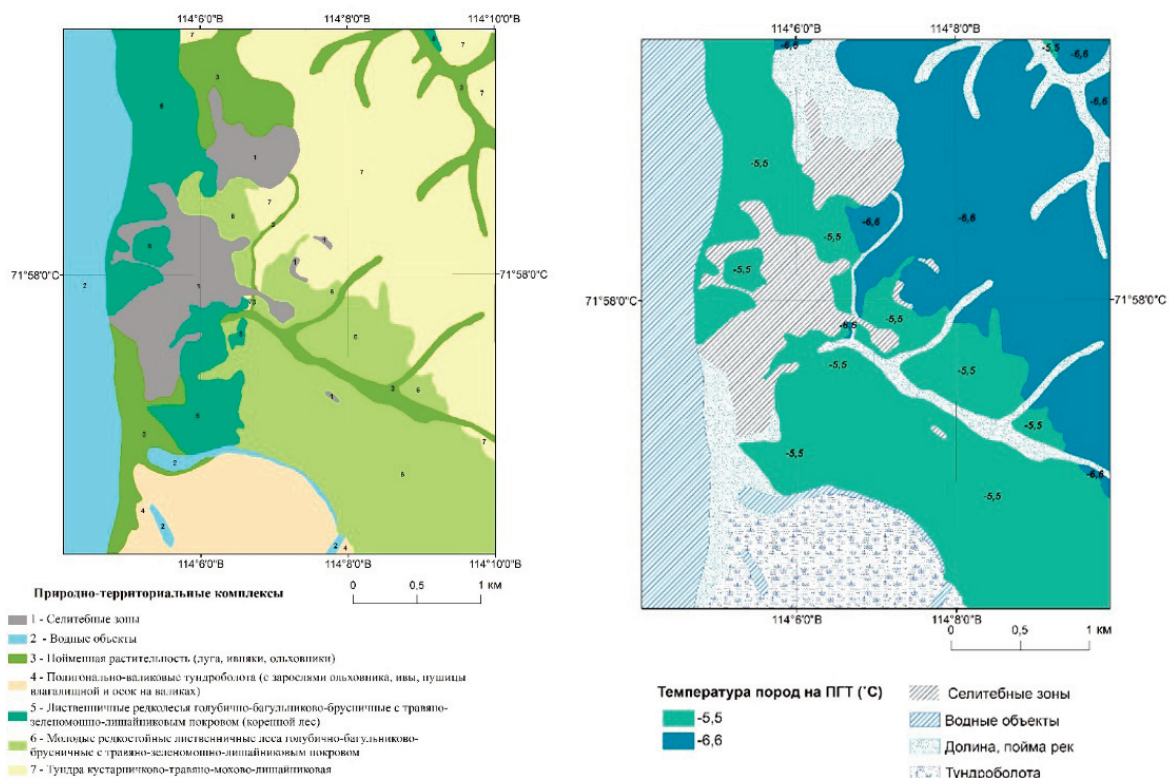


Рис. 2. Карты района р. Анабар

Заключение и значимость

Впервые для северо-западных арктических районов Якутии создана сеть режимного геокриологического мониторинга, оснащенная современным оборудованием, и получены новые репрезентативные данные о температурном режиме ММП.

Установлены количественные параметры мерзлотных условий (глубина СТС, температура ММП, глубина слоя годовых теплооборотов) для ключевых ландшафтов тундры и лесотундры.

Полученные данные служат базисом для верификации и калибровки геокриологических и климатических моделей, прогнозирующих реакцию криолитозоны на глобальное потепление.

Созданная инфраструктура мониторинга является основой для долгосрочных исследований и имеет важное прикладное значение для оценки геокриологических рисков при хозяйственном освоении арктических территорий Якутии.

Литература

1. Железняк М.Н. Геотемпературное поле и криолитозона юго-востока Сибирской платформы. — Новосибирск: Наука. Сиб. отделение, 2005. — 228 с.
2. Константинов П.Я. Методика оборудования наблюдательных площадок для температурного мониторинга многолетнемерзлых грунтов: научно-справочное пособие. — Якутск: ИМЗ СО РАН, 2009. — 68 с.
3. Мониторинг вечной мерзлоты. — М.: Академический проект, 2024. — 468 с. + 48 с. цв. вкл. — DOI 10.61828/9785829142780-2024-1-468.
4. Федоров А.Н. Мерзлотные ландшафты Якутии: методика выделения и вопросы картографирования. — Якутск: Изд-во ИМЗ СО РАН, 1991. — 140 с.

ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ КРУПНОЙ НЕФТЕПЕРЕРАБАТЫВАЮЩЕЙ ПРОМЗОНЫ В РЕСПУБЛИКЕ ТАТАРСТАН

Р.Х. Мусин, А.Р. Галиева

Казанский федеральный университет, г. Казань, Кремлёвская, 18
E-mail: Rustam.Musin@kpfu.ru

Резко негативные изменения природных ландшафтов и качественных показателей основных компонентов окружающей среды обычно отмечаются в пределах и окрестностях крупных городов, промышленных зон и в районах функционирования горнодобывающей промышленности.

Татарстан является одним из наиболее развитых в экономическом отношении регионов в европейской части России. Основными отраслями промышленности являются: нефтедобывающая, нефтехимическая, машиностроительная, сельскохозяйственная. Здесь находится и одна из крупнейших в Европе Нижнекамская промзона, включающая такие предприятия нефтепереработки и нефтехимии, как: ПАО «Нижнекамскнефтехим», ПАО «Нижнекамскшина», ОАО «ТАИФ-НК», АО «ТАНЕКО» и ряд более мелких предприятий. В настоящее время объём ежегодно перерабатываемой нефти превышает 20 млн. т., а годовая стоимость выпускаемой продукции составляет многие сотни миллиардов рублей.

Нижнекамская промзона, функционирование которой началось в 1967 г., расположена на достаточно высоком (абсолютные отметки 200-210 м) и широком залесённом водоразделе по левобережью р. Кама, восточнее г. Нижнекамска. Общая её площадь – не менее 20 км², превышение над основным базисом эрозии (дренирования) – 150-160 м. Верхняя часть геологического разреза сложена платформенными комплексами полигенных пестроцветных карбонатно-терригенных образований уржумского, казанского и уфимского ярусов средней и нижней перми общей мощностью около 250 м. Характерной особенностью рассматриваемой осадочной толщи является её разнопорядковая ритмичность, на основании которой очень часто проводится стратиграфическое расчленение разрезов. Ритмы обычно начинаются песчаниковыми пачками, которые сменяются алевролитами и глинами, а завершаются карбонатными породами. Мощности прослоев отдельных литологических разностей редко когда превышают 5-7 м. Другой особенностью разреза является преобладание в нем глинистых пород, доля которых в строении отдельных стратонов может достигать 80% (табл. 1). Венчает геологический разрез комплекс покровных четвертичных элювиально-делювиальных суглинков мощностью 1-20 м.

Нижнекамская промзона является областью развития межпластовых подземных вод (ПВ), формирующих типичные междуречные потоки. Областями их питания являются водораздельные пространства, а разгрузки – речные долины. Разноуровневые водоносные горизонты связаны нисходящим перетеканием. Мощность зоны пресных ПВ достигает 250-300 м. Поверхностная гидросеть в районе исследований представлена верховьями многочисленных ручьёв. В меженное время их существование связано лишь с разгрузкой ПВ.

Породный состав верхней части разреза				
Ярус, подъярус	Мощность, м	Глины, %	Песчаники, %	Известняки, %
Уржумский (P _{2ur})	42	54	36	10
Верхнеказанский (P _{2kz2})	78	67	28	5
Нижнеказанский (P _{2kz1})	80	80	12	8

Вышеотмеченные промпредприятия отличаются самыми современными технологиями переработки сырья, на них внедрена оборотная система водоснабжения; твердые и пастообразные (в меньшей степени жидкие) отходы производства складированы на полигонах захоронения отходов, хорошо осна-

ценных в инженерном отношении (системы поверхностного и подземного дренажа, противофильтрационные завесы, скважинная наблюдательная сеть и др.); часть жидких отходов закачивается в поглощающие горизонты, залегающие в основании осадочного платформенного чехла на глубинах около 1800 м; другая их часть перекачивается на биологические очистные сооружения [3, 4].

Максимально негативное воздействие предприятия промзоны оказывают на атмосферу. Так величина выбросов в 2015 г. составила около 75 тыс. т. Приоритетными загрязнителями являются диоксид серы (26%), диоксид азота (17%), оксид углерода (15%), смеси предельных углеводородов C1-C5, C6-C10 и C12-C19 (19%) [7]. Загрязнение атмосферы ощущается на отдельных участках промплощадок и в пределах полигонов отходов проявлением неприятных запахов. Более масштабно это влияние сказывается на закислении атмосферных осадков. При этом повышенная кислотность отмечается лишь по южному залесенному обрамлению промзоны на расстоянии не менее 6 км от её ограничения, где рН проб снегового покрова, отобранных в конце марта 2019 г., составлял 4,89-5,6; в целом минерализация талой снеговой воды – 7,4-123,0 мг/л. В меньшей степени негативное воздействие сказывается на качестве подземных вод первых от поверхности водоносных горизонтов. Так на промплощадке одного из предприятий минерализация грунтовых вод достигала 1,25 г/л, при значениях общей жесткости и перманганатной окисляемости – 17,7 мг-экв/л и 17,3 мг О/л, тогда как в природных условиях преобладающие значения указанных параметров практически не превышали 600 мг/л, 7-8 мг-экв/л, 3-4 мг О/л [3]. В пределах промплощадок уже на уровне второго от поверхности водоносного горизонта особенности состава ПВ приближаются к природным (табл. 2).

Более интенсивно трансформирован состав грунтовых вод в районе действующего с 1982 г. полигона захоронения промышленных отходов ПАО «Нижекамскнефтехим», где минерализация может достигать 12,8 г/л, жесткость 74 мг-экв/л, а концентрации основных загрязнителей (мг/л): нефтепродукты – до 982, фенолы – 13,9, железо – 153. Интересно и важно, что на удалении 1,0-1,5 км от этого полигона по направлению фильтрационного потока, совпадающего с направлением поверхностного стока, признаки загрязнения как поверхностных, так и подземных вод отсутствуют [4].

<i>Таблица 2</i>					
Особенности состава подземных вод на промплощадке одного из предприятий					
Водоносный горизонт	Кол-во проб	Минерализация, мг/л	Жёсткость, мг-экв/л	Окисляемость, мг О/л	Преобладающий тип воды
Первый (от поверхности)	31	$\frac{264-1249}{772 \pm 232}$	$\frac{3,56-17,74}{10,02 \pm 3,63}$	$\frac{1,28-17,28}{5,39 \pm 3,59}$	HCO ₃ /Mg-Ca, Cl-HCO ₃ /Ca
Второй	6	$\frac{390-681}{560,7 \pm 119}$	$\frac{5,08-9,76}{7,51 \pm 2,01}$	$\frac{1,92-4,12}{3,48 \pm 0,82}$	HCO ₃ /Ca, HCO ₃ /Mg-Ca

Примечание. В этой и нижеследующих таблицах: в числителе – предельные значения (минимум, максимум), в знаменателе – среднее и стандартное отклонение; тип (наименование) воды – согласно [5].

Загрязнение грунтовых вод (подземных вод первого от поверхности горизонта) носит исключительно локальный характер. Подтверждением этого являются данные обработки разновременных площадных геолого-гидрогеологических исследований ближайших (0,2-7 км) окрестностей Нижнекамской промзоны, характеризующихся широким развитием нисходящих родников, составы вод которых практически не претерпели каких-либо изменений во временном диапазоне 1979-2018 гг. (рис., табл.3 [2]).

Величина инфильтрационного питания ПВ в природных условиях территории промзоны на участках с уклоном земной поверхности 0,016 составляла 14,3% от годовой нормы атмосферных осадков в 554,6 мм/год. Из них 12,2% приходилось на водоносный горизонт в составе уржумских отложений и 2,1% на подземные воды верхнеказанского водоносного комплекса [3].

Сложение верхней части разреза слабопроницаемыми суглинками и планировка территории в пределах промплощадок привели к тому, что некоторые из них испытывают подтопление грунтовыми водами, что чревато неблагоприятными последствиями, в первую очередь в виде изменения физико-механических свойств грунтов. Обработка данных режимных наблюдений за уровнями

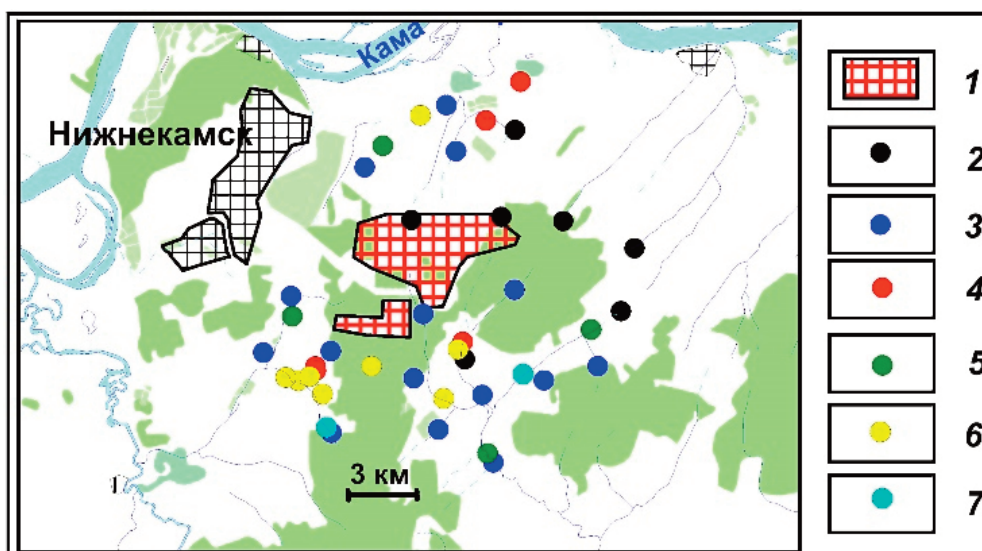


Рис. Карта расположения опробованных родников:
 1 – Нижнекамская промзона; 2-7 родники опробованные: 2 – в 1970-х гг., 3 – в 1990-х гг., 4 – в 2018 г.,
 5 – в 1970-х и 1990-х гг., 6 – в 1990-х и 2018 гг., 7 – в 1970-х, 1990-х и 2018 гг.

Таблица 3

Интегральные показатели состава родниковых вод в окрестностях Нижнекамской промзоны

Период времени	Кол. проб	Минерализация, мг/л	Жёсткость, мг-экв/л	Окисляемость, мгО/л	Преобладающий тип воды
1979-1980 гг.	9	$\frac{382-509,5}{448,9 \pm 50}$	$\frac{3,8-6,0}{5,12 \pm 0,68}$	$\frac{1,1-5,7}{3,3 \pm 1,79}$	HCO ₃ /Ca, HCO ₃ /Mg-Ca
1994-1999 гг.	27	$\frac{347,6-623}{489,9 \pm 61}$	$\frac{4,1-7,6}{5,44 \pm 0,77}$	$\frac{1,28-4,48}{2,28 \pm 1,0}$	HCO ₃ /Mg-Ca
2018 г.	16	$\frac{417,3-587}{482,8 \pm 37}$	$\frac{3,02-6,33}{5,38 \pm 0,76}$	$\frac{0,48-4,08}{1,60 \pm 1,4}$	HCO ₃ /Ca, HCO ₃ /Mg-Ca

грунтовых вод по сети скважин одного из предприятий и проведение в его пределах балансовых расчетов согласно [6] показали, что величина инфильтрационного питания подземных вод на не дренируемых участках достигла 27-30,5% от нормы осадков, а на участках с наличием поверхностного лоткового дренажа с малым радиусом действия это питание – 21,7% [3]. Суммарная величина испарения в природных ландшафтах рассматриваемого района составляет ~ 70–75% от нормы осадков [6]. В природных условиях 10-15% от последней приходилось на поверхностный сток, который на спланированных и не дренируемых участках современных промплощадок полностью переведен в подземный сток (инфильтрационное питание), к которому добавляются утечки из разных водоводов и емкостей хранения. Так величина питания грунтовых вод в пределах вышеупомянутого действующего полигона захоронения промышленных отходов ПАО «Нижнекамскнефтехим» через ~30 лет его функционирования достигла 37,5% от нормы осадков [4].

Локальный характер развития загрязнения и негативной трансформации состава пресных ПВ в Нижнекамской промзоне связан с двумя основными причинами. Это сам локальный характер интенсивного техногенного воздействия (в первую очередь полигоны отходов, шламонакопители, в меньшей степени сами промплощадки), а также значительные буферные (защитные) свойства геологической среды. Последние определяются преобладанием в геологическом разрезе глин, широким распространением карбонатных пород, а также довольно значительной эрозионной расчлененностью территории. Карбонаты нейтрализуют кислые атмосферные осадки, вероятность выпадения которых в этом районе очень высока, при этом нейтрализация будет проходить уже на уровне поч-

венного горизонта. Преобладание в разрезе глин определяет его высокую сорбционную емкость (табл. 4). А в совокупности с эрозионной расчлененностью глинистые прослои определяют короткие пути фильтрации для межпластовых ПВ верхней части разреза. Эти воды, формирование которых связано с инфильтрацией атмосферных осадков и, возможно, каких-то сточных вод или полигонных фильтратов, пройдя довольно ограниченный путь плановой фильтрации (на котором они подвергаются самоочищению за счет чистого инфильтрационного питания, сорбции, диффузии, дисперсии) начинают разгружаться в оврагах и малых речных долинах. Здесь процессы самоочищения продолжают за счет разбавления чистыми водами (атмосферными, поверхностными), сорбции, хемо- и биодеструкции.

<i>Таблица 4</i>					
Емкостные параметры пород в окрестностях Нижнекамской промзоны					
Минеральный субстрат	Кол-во проб	Индекс возраста	Емкость поглощения, мг-экв/100 г	Площадь поверхности, м²/г	Коэффициент диффузии, 10⁻⁵ м²/сут
Почвы	8	Q	$\frac{9,39-13,86}{11,07\pm 1,79}$	$\frac{53,7-79,3}{63,3\pm 10,2}$	–
Суглинки	7	Q	$\frac{9,7-16,79}{13,53\pm 2,26}$	$\frac{55,5-96,0}{77,4\pm 12,9}$	$\frac{1,405-1,63}{1,51\pm 0,08}$
Пестроцветные глины	5	P ₂ kz-P ₂ ur	$\frac{6,93-14,01}{11,55\pm 2,88}$	$\frac{39,6-80,2}{66,1\pm 16,5}$	–
Сероцветные глины	3	P ₂ kz	$\frac{7,08-10,32}{8,73\pm 1,62}$	$\frac{40,5-59,0}{49,9\pm 9,3}$	
Монтмориллонит	2	–	$\frac{12,32-19,1}{15,71\pm 4,79}$	$\frac{70,5-109,2}{89,9\pm 27,4}$	
Каолинит	2		$\frac{2,16-3,39}{2,77\pm 0,87}$	$\frac{12,3-19,4}{15,9\pm 5,0}$	
Гидрослюда	1		8,32	47,6	
Уголь активированный	1		18,17	103,9	

Примечание. Данные в 4-х нижних строках – в качестве сравнительного материала; сорбционная емкость определена методом Л.И. Кульчицкого, коэффициент диффузии – методом диффузионного насыщения образцов хлористым натрием в термостатированных трубках [1].

В большинстве случаев процессы хемо- и биодеструкции должны играть определяющую роль в самоочищении загрязненных поверхностных и подземных вод. Это исходит из того, что основными загрязняющими веществами в данной промышленной зоне являются органические вещества (нефтепродукты, фенолы, ароматические углеводороды и др.), интенсивная деструкция которых проявлена на действующем полигоне промышленных отходов «Нижнекамскнефтехим». Если принять значение параметра деструкции (λ) нефтепродуктов, равным 10^{-3} сут⁻¹, и использовать уравнение кинетики первого порядка [8]:

$$\frac{\partial C}{\partial t} = -\lambda * C, \quad C = C_0 e^{-\lambda t},$$

где C_0 – начальная концентрация мигранта (контаминанта), то при начальной концентрации нефтепродуктов в грунтовых водах на выходе с полигона отходов 1000 мг/л их содержание снизится до 0,1 мг/л (ПДК для вод питьевого качества) за 9210 суток (25 лет). За это время загрязненный фильтрационный поток при существующих условиях должен пройти от ограничения полигона 1440 м, на всем протяжении которого он еще будет разбавляться чистым инфильтрационным питанием минимальной интенсивностью 0,185 мм/сут (67,57 мм/год или 67,6 л/(м²*год)) [2].

Буферные свойства геологической среды проявляются и в том, что на территории Нижнекамской промзоны проявлена вертикальная гидрогеохимическая зональность. Вниз по разрезу (от образо-

ваний уржумского яруса до шешминского горизонта уфимского яруса в глубинном интервале 0-240 м) происходит смена состава ПВ с гидрокарбонатного магниево-кальциевого на гидрокарбонатный и сульфатно-гидрокарбонатный натриевый. Данные изменения происходят за счет процессов ионного обмена и, в большей степени, за счет высаливания карбонатов кальция и магния, которое фиксируется с глубин 45-50 м. При этом минерализация ПВ варьирует в нешироких пределах – 400-600 мг/л. Данные изменения ведут к увеличению мощности зоны пресных ПВ до более чем 250 м и возможности получения вод благоприятного питьевого качества с глубин 150-240 м непосредственно с производственных площадок вышеотмеченных предприятий. Подтверждением этого является многолетняя работа одного из водозаборов, расположенного на северо-восточном ограничении промзоны, питьевое качество воды которого остается неизменным. Кроме этого, непосредственно на территории предприятий имеются одиночные скважины, каптирующие нижнеказанский водоносный комплекс, воды которых при благоприятном питьевом качестве используются для технических целей [2].

Литература

1. *Методическое пособие по инженерно-геологическому изучению горных пород: В 2-х т. М.: Изд-во МГУ, 1968. Т. 2. 370 с.*
2. *Мусин Р.Х., Галиева А.Р., Кудбанов Т.Г., Курлянов Н.А. Особенности влияния на гидросферу комплекса нефтеперерабатывающих и нефтехимических предприятий в Нижнекамской промзоне Республики Татарстан //Нефтяное хозяйство. 2020. № 3. С. 108–112.*
3. *Мусин Р.Х., Галиева А.Р., Кудбанов Т.Г. Характер и степень трансформации гидрогеоэкологических условий на одной из современных промплощадок в Республике Татарстан //Геоэкология. 2020. № 2. С. 48–52.*
4. *Мусин Р.Х., Галиева А.Р., Курлянов Н.А. Особенности строения, функционирования и реконструкции полигона захоронения отходов ПАО «Нижнекамскнефтехим» //Геоэкология. Инженерная геология, гидрогеология, геокриология. 2023. № 3. С. 76–87.*
5. *Отраслевой стандарт. Воды подземные. Классификация по химическому составу и температуре. М.: ВСЕГИНГЕО, 1986. 12 с.*
6. *СТП ВНИИГ 210.01.НТ–2010 Методика расчета гидрологических характеристик техногенно-нагруженных территорий. СПб.: ВНИИГ, 2010.*
7. *Шагидуллин А.Р., Гилязова А.Ф., Амирянова Г.Ф., Магдеева А.Р., Шагидуллин Р.Р. Общая характеристика источников загрязнения атмосферного воздуха города Нижнекамска // Российский журнал прикладной экологии. 2015. № 3. С. 30–35.*
8. *Шестаков В.М., Поздняков С.П. Геогидрология. М.: ИКЦ «Академкнига», 2003. 176 с.*

ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ ОЗЁР ПРИКАЗАНСКОГО РАЙОНА

Р.Х. Мусин¹, Н.А. Курлянов²

¹Казанский федеральный университет, г. Казань, Кремлевская, 18
E-mail: Rustam.Musin@kpfu.ru

²ООО «Экостандарт «Технические решения», г. Москва, пер. Переведеновский, 13
E-mail: world11@yandex.ru

Приказанский район охватывает площадь г. Казани и прилегающих к ней территорий. Он расположен в левобережной части р. Волги (Куйбышевского водохранилища), на южном окончании Казанско-Кировского прогиба Волго-Уральской антеклизы Русской платформы [1]. Одной из особенностей района является широкое развитие озёр (так только в городской черте Казани насчитывается около 280 озерных водоемов [5]), тяготеющих к Волжской долине и обладающих варьирующими размерами, генезисом, характером использования, уровнем техногенной нагрузки, источниками питания, показателями биологической продуктивности и т.д. Относительно крупные озера представляют собой своеобразные жемчужины и интенсивно используются в рекреационных и оздоровительных целях [8, 10].

В геологическом строении района принимают участие терригенно-карбонатные участками загипсованные образования казанского и уржумского ярусов, вскрывающиеся лишь в наиболее возвышенной восточной его части, и нелитифицированные песчано-глинистые преимущественно аллювиальные плиоцен-четвертичные отложения. Мощность последних может достигать 180 м. Пользующиеся максимальным приповерхностным распространением четвертичные отложения участвуют в сложении надпойменных террас рек Волга и Казанка аккумулятивного типа – микулинско-калининской (Q_{III}), одинцовско-московской (Q_{II}), лихвинско-днепровской (Q_I) и окской (Q_I), закономерно сменяющих друг друга по мере удаления от р. Волги. Плиоценовые и четвертичные образования в основном подстилаются породами нижеказанского подъяруса [4].

Нормальный подпорный уровень водохранилища составляет 53 м, террасы воздымаются до отметок 140 м, более высокие гипсометрические уровни (до 190 м) представляют собой коренной борт Волжской долины. В пермских и плиоцен-четвертичных отложениях локализованы трещинные и поровые воды, формирующие ряд взаимосвязанных водоносных горизонтов, основной областью разгрузки которых являются указанные реки. Уровень грунтовых вод в сглаженной форме повторяет поверхностный рельеф, глубина его залегания варьирует от 0 до 35-40 м. Состав подземных вод довольно пестрый. Воды плиоцен-четвертичных отложений при слабом проявлении техногенного воздействия и отсутствии перетоков из пермских горизонтов характеризуются в основном гидрокарбонатным магниево-кальциевым составом с минерализацией до 0,4-0,5 г/л и общей жесткостью до 5-7 мг-экв/л, воды же пермских отложений могут обладать минерализацией до 2,5 г/л и жесткостью до 30-40 мг-экв/л при сульфатном и хлоридно-сульфатном натриево-магниево-кальциевом составе (наименование состава воды приводится по [9]).

Изученные озера (13 объектов, рис.) также отличаются высокой степенью изменчивости состава и минерализации вод – от гидрокарбонатных и сульфатно-гидрокарбонатных кальциевых и магниево-кальциевых с минерализацией 54-70 мг/л и жесткостью 0,4-1,0 мг-экв/л до сульфатных кальциевых с солесодержанием 2,0-2,4 г/л и жесткостью 25-33 мг-экв/л (табл. 1). Озера различаются уровнями техногенного воздействия, но основные особенности их гидрохимии определяются типом питания (табл. 2).

Все озёра, обладающие глубиной более 3-4 м, характеризуются вертикальной (глубинной) гидрохимической зональностью, типичной для бессточных озёр средних широт [3]. Наиболее ярко она проявлена относительно температуры, содержания водорастворенного кислорода, значений окислительно-восстановительного потенциала, концентраций ряда металлов (Fe, Mn, Zn) и, в меньшей степени, pH и минерализации [3, 7].

За последние 40-50 лет существенных изменений в положении уровней и составе воды не фиксируется лишь в пределах озёр Кабан, Глубокое, Раифское и Голубое. Озёра Кабан имеют подземное

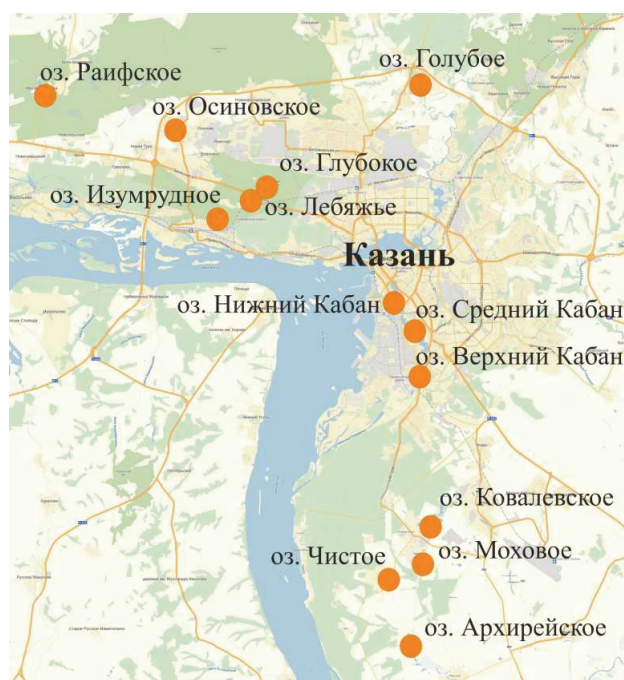


Рис. Расположение изученных озёр

питание и уровень их регулируется (качество воды здесь улучшилось после масштабных очистных мероприятий, проведенных в ходе подготовки к Универсиаде-2013); оз. Раифское расположено в пределах Волжско-Камского заповедника, где любая хозяйственная деятельность строго регламентирована; оз. Глубокое занимает карстово-суффозионную воронку с относительно крутыми залесенными бортами, что является своеобразной его самозащитой от антропогенного вмешательства; оз. Голубое представлено несколькими озерными чашами, в которые разгружаются напорные соленоватые воды нижнепермских отложений, здесь хозяйственная деятельность также регламентирована и для сохранения этого уникального памятника природы в 1994 г. был создан заказник «Голубые озера» общей площадью 2000 га [6].

<i>Таблица 1</i>					
Некоторые морфометрические и гидрохимические характеристики озёр					
Озеро	Площадь, га	Глубина, м (max)	Минерализация, мг/л	Жесткость, мг-экв/л	Преобладающий тип воды
Архирейское	66,62	20,3	113–194	1,2–3,4	HCO ₃ /Ca
Чистое	2,88	7,3	56–138	0,6–1,6	HCO ₃ /Ca
Моховое	8,73	9,2	54–86	0,4–0,9	HCO ₃ /Ca
Ковалевское	112	9,8	83–160	0,8–2,4	HCO ₃ /Ca
Глубокое	9,65	12,4	100–137	1–1,4	Cl–HCO ₃ /Mg–Ca
Осиновское	10,23	24,4	133–234	1,4–2,5	Cl–HCO ₃ /Mg–Ca
Раифское	34,12	20,4	207–343	2,2–6,0	HCO ₃ /Mg–Ca
Изумрудное	25,5	20,5	186–231	2,4–3	HCO ₃ /Mg–Ca
В. Кабан	2,5	13,2	375–491	4,4–6,8	Cl–HCO ₃ /Mg–Ca
Ср. Кабан	135,1	12,5	1072–1328	12,4–16	HCO ₃ –SO ₄ /Mg–Ca
Н. Кабан	47,4	12,0	947–1816	11,6–24,8	HCO ₃ –SO ₄ /Mg–Ca
Лебяжье	4,8	2,9	714–1032	11,2–13,4	HCO ₃ –SO ₄ /Mg–Ca
Голубое	0,7	16,0	2047–2369	27,2–32,6	SO ₄ /Mg–Ca

Примечание. Первые 6 озёр характеризуются исключительно атмосферным питанием, приведены предельные значения (минимум-максимум) минерализации и жёсткости.

<i>Таблица 2</i>				
Зависимость гидрохимических показателей озёр от типа их питания				
Преобладающее питание озера	Кол-во озера	Минерализация, мг/л	Жесткость, мг-экв/л	Преобладающий тип воды
Атмосферное	6	54–234 (100–150)	0,4–3,4 (1,0–2,2)	HCO ₃ /Ca
Подз. воды N ₂ -Q отложений	3	186–491	2,2–6,8	HCO ₃ /Mg–Ca
Подз. воды P ₂ kz ₁ отложений	3	714–1816	11,26–24,8	HCO ₃ –SO ₄ /Mg–Ca
Подз. воды P ₁ отложений	1	2047–2369	27,2–32,6	SO ₄ /Mg–Ca

Примечание. В скобках приведены преобладающие значения параметров.

Все остальные озера характеризуются некоторым ухудшением качественных показателей состава воды и (или) постепенным снижением уровня. Это снижение имеет катастрофический характер в оз. Чистое и Моховое, площади которых с конца 1970-х начала 1980-х гг. уменьшились более чем в 3 раза. Неблагополучные в гидрогеоэкологическом отношении озёра связывает то, что они не имеют подземного питания и их прибрежные участки стали застраиваться (дачные и коттеджные поселки прямо от уреза воды).

Озера, не имеющие подземного питания – Архирейское, Чистое, Моховое, Ковалевское, Глубокое, Осиновское – расположены в палеодолине Волги, сложенной хорошо проницаемыми песчаными породами. От полной инфильтрации поверхностных вод озёрные котловины «спасают» слабопроницаемые глинистые экраны, выполняющие их днища. При нарушении этих экранов озера могут очень быстро исчезнуть, ярким примером может послужить оз. Лебяжье, которое существовало за счет подачи в него воды из скважины, каптирующей нижеказанский водоносный комплекс, а сейчас в оз. Лебяжье вода подается из оз. Изумрудное.

В Приказанском районе норма осадков составляет примерно 560 мм/год, а испаряемость – 600 мм/год [2]. Минерализация атмосферной влаги обычно не превышает 30 мг/л (табл. 3).

<i>Таблица 3</i>				
Состав снежного покрова г. Казани и его окрестностей				
Функциональные зоны	Кол-во проб	Минерализация, мг/л	pH	Преобладающий тип талых вод
Акватории озера	4	6,9-8,4	5,6-6,0	HCO ₃ /NH ₄ -Ca
Поля	28	6-17	5,6-6,5	HCO ₃ /NH ₄ -Ca
Леса	20	6-14	5,6-6,5	HCO ₃ /NH ₄ -Ca
Парки	19	8-21	6,0-6,7	HCO ₃ /Na-NH ₄ -Ca
Жилые массивы	20	8-23	5,8-7,0	HCO ₃ /NH ₄ -Ca
Транспортные	40	12-153	6,4-7,8	HCO ₃ -Cl/Ca-Na

Примечание. Приведены данные опробования авторов 2016, 2018 гг.; в последних 3 строках – функциональные зоны в городской черте.

Поддержание уровня озера в природных (ненарушенных) условиях осуществляется за счет поверхностного стока с водосборной площади, который должен обеспечить не только ежегодный подъем уровня на 40 мм, но и компенсировать инфильтрацию через донные отложения. Любое сокращение водосборной площади без компенсации уменьшения поверхностного стока в озёрные котловины приведет к снижению уровней.

Застройка прибрежных зон, сопровождающаяся нарушением естественного растительного покрова, всегда приводит к сокращению поверхностного стока в водоемы, тем более это касается песчаных почв по периферии отмеченных озер. Здесь любая вспашка почвы переведет поверхностный сток в инфильтрацию, любое оголение песчаных грунтов может обнулить поверхностный сток.

Ниже приведены балансовые характеристики по оз. Чистое (Лаишевский район Татарстана), которое до конца 1970-х гг. характеризовалось довольно постоянным уровнем, а с этого времени, когда интенсивной застройке практически от уреза воды подверглась юго-западная часть озера, идет непрерывное снижение его уровня (табл. 4, 5). Важным является то, что в условиях резко преобладающего развития в геологическом разрезе песчаных грунтов уменьшение площади озера сразу сопровождается уменьшением его водосборной площади даже без антропогенного вмешательства.

<i>Таблица 4</i>				
Площадные характеристики оз. Чистое				
Период, годы	Площадь озера, м ²	Площадь водосбора, м ²	Норма атмосфер. осадков, мм/год	Испаряемость, мм/год
1975	130902	170275	560	600
1980	130902	82358		
2018	27992	34324		

Отрицательный водный баланс свидетельствует об обмелении озера. Реальный темп снижения уровня после застройки начала 1980-х гг. скорее всего превышал 5,6 см/год, т.к. сразу после сокращения поверхностного стока должно было начаться уменьшение площади озера, а величина 5,6 см/год получена за счет отнесения невязки баланса в 20,1 м³/сут к первичной площади озера 130902 м². Также темп снижения мог быть немного выше за счет не учета нами отбора воды из озера на полив огородов.

<i>Таблица 5</i>					
Водный баланс оз. Чистое					
Период, годы	Приходные статьи		Расходные статьи		Баланс
	осадки	поверх. сток	испарение	инфильтрация	
1975	560 мм/год 200,7 м ³ /сут	109 мм/год 39,2 м ³ /сут	600 мм/год 215 м ³ /сут	69 мм/год 24,7 м ³ /сут	0 мм/год 0 м ³ /сут
1980	560 мм/год 200,7 м ³ /сут	53 мм/год 18,9 м ³ /сут	600 мм/год 215 м ³ /сут	69 мм/год 24,7 м ³ /сут	-56 мм/год -20,1 м ³ /сут
2018	560 мм/год 52,6 м ³ /сут	103 мм/год 7,9 м ³ /сут	600 мм/год 56,4 м ³ /сут	69 мм/год 5,3 м ³ /сут	-6 мм/год -1,2 м ³ /сут

Застройка прибрежной части озер, расположенных на песчаных грунтах и не имеющих подземного питания, сразу начнет приводить к постепенному снижению их уровня. Масштаб этого снижения в первую очередь определяется масштабом застройки и первоначальными размерами озер. Судьбу оз. Чистое и Моховое сейчас повторяет оз. Ковалевское, которое интенсивно застраивается и также обладает преимущественно песчаным характером верхней части геологического разреза. Уровень этого озера испытывает довольно существенное снижение в последние 2-3 года. Несколько более благоприятна ситуация с оз. Осиновское и Архирейское, которые отличаются развитием в верхней части разреза слабопроницаемых суглинков. К этому в случае оз. Осиновское добавляются крутые склоны с южной и западной стороны, затрудняющие безумное освоение его берегов. Оз. Архирейское не обладает такой природной защитой. Пока застроена его северная оконечность и выделяются земельные участки под индивидуальное строительство на других участках. Если не

будут сохранены водоохранные зоны и строительство пойдет непосредственно от береговой линии, то судьба и этого озера весьма незавидна.

По предварительным расчетам для озер типа Чистое достаточно 50-80 метров ненарушенной залуженной прибрежной зоны для сбора необходимого количества воды за счет поверхностного стока. Указанное озеро при сохранении существующих условий будет продолжать мелеть, для поддержания и некоторого повышения его уровня необходимо провести комплекс работ на остающейся свободной водосборной площади в восточной его части. Этот комплекс должен включать – планировку территории с уклоном к озеру, перекрытие части территории привозным суглинистым грунтом с высевом на нем травянистой растительности, ликвидацию всех ям и траншей, бетонирование имеющейся здесь грунтовой дороги с уклоном в сторону озера. Данный комплекс работ довольно прост и эффективен в плане сохранения атмосферной влаги на поверхности. Его проведение сохранит еще остающееся озеро. Для увеличения же площади озера придется предусмотреть его подпитку подземной водой из скважинного водозабора после восстановления слабопроницаемого слоя на иссушенном дне.

В общем, можно считать, что для сохранения озер Приказанского района, не имеющих подземного питания, и планируемых к освоению в виде создания дачных или коттеджных поселков, каких-то предприятий и др. необходимо строго соблюдать режим водоохранных зон в виде сохранения ненарушенной залуженной (заросшей) вдольбереговой полосы шириной 80-100 м. Также необходимо и разумное ограничение водоотбора из озер такого типа.

Литература

1. *Геология Татарстана: стратиграфия и тектоника / гл. ред. Б. В. Буров; отв. ред.: Н. К. Есаулова, В. С. Губарева. М.: ГЕОС, 2003. 401 с.*
2. *Климат Казани и его изменения в современный период /Под ред. Ю. П. Переведенцева, Э. П. Наумова. Казань: Казанский гос. ун-т, 2006. 216 с.*
3. *Курлянов Н.А., Мусин Р.Х. Вертикальная гидрохимическая зональность озер Среднего Поволжья // Современные проблемы гидрогеологии, инженерной геологии и гидрогеоэкологии Евразии: Материалы Всероссийской конференции с международным участием «Современные проблемы гидрогеологии, инженерной геологии и гидрогеоэкологии Евразии» с элементами научной школы. Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2015. 517–521 с.*
4. *Мальшева О. Н., Нелидов Н. Н., Соколов М. Н. Геология района г. Казани / под ред. С.Г. Кашиганова. Казань: Изд-во Казан.ун-та, 1965. 96 с.*
5. *Мингазова Н.М., Деревенская О.Ю., Палагушкина О.В. и др. Инвентаризация и экологическая паспортизация водных объектов как способ сохранения и оптимизации их состояния // Астраханский вестник экологического образования. 2014. № 2 (28). С. 37-43.*
6. *Мусин Р. Х., Идиятуллина А. Р., Хамитов А. Д., Миннебаев К. Р. Геохимия и условия формирования состава природных вод северной окраины г. Казань // Геоэкология. Инженерная геология, гидрогеология, геокриология. 2024. № 4. С. 71-85.*
7. *Мусин Р.Х., Курлянов Н. А. Особенности и природа химического состава озёр Среднего Поволжья // Озёра Евразии: проблемы и пути решения. Материалы II Международной конференции (19-24 мая 2019). Казань: Изд-во АН РТ, 2019. В 2 ч. Ч. 2. С. 139-143.*
8. *Озера Среднего Поволжья. Л.: Наука, 1976. 236 с.*
9. *Отраслевой стандарт. Воды подземные. Классификация по химическому составу и температуре. М.: ВСЕГИНГЕО, 1986. 12 с.*
10. *Уникальные экосистемы солончатоводных карстовых озер Среднего Поволжья /Под ред. А.Ф. Алимova и Н.М. Мингазовой. Казань: Изд-во Казан. ун-та, 2001. 256 с.*

ГИДРОГЕОЭКОЛОГИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ ЦЕНТРАЛЬНОЙ ЧАСТИ ЧАРСКОЙ КОТЛОВИНЫ (СЕВЕРНОЕ ЗАБАЙКАЛЬЕ)

В.А. Паламарчук¹, Л.С. Лебедева², Н.А. Павлова², Д.О. Сергеев¹

¹Институт геоэкологии им. Е. М. Сергеева РАН, 101000, г. Москва, Уланский пер., д. 13, с. 2
E-mail: palamarchuk97@inbox.ru

²Институт мерзлотоведения СО РАН, 677010, г. Якутск, ул. Мерзлотная 36
E-mail: milaslebedeva@yandex.ru

Чарская котловина – уникальный природный регион, с суровыми климатическими условиями, повсеместным распространением многолетнемерзлых пород (ММП) и сложной геолого-тектонической обстановкой [6]. Несмотря на лимитирующую роль криолитозоны, водные ресурсы котловины обладают значительным потенциалом. В котловине развита густая сеть рек (рр. Средний Сакукан, Апсат, Нирунганкан, Чара и др.), питание которых формируется ледниковым стоком, подземными водами многочисленных таликов сквозного и несквозного типа, включая гидрогеогенные талики тектонических разломов. Обрамляющие котловину хребты Кодар и Удокан обладают значительными запасами полезных ископаемых (медь, золото, уран и уголь и т.д.) [4]. Это определяет как естественный геохимический фон вод, так и высокие риски их техногенного загрязнения в связи с освоением недр. Следовательно, подземные и поверхностные воды Чарской котловины, формирующиеся в таких специфических условиях, представляют собой не только ценный ресурс, но и ключевой индикатор экологического баланса, чутко реагирующий на всю совокупность природных и техногенных воздействий [14].

В настоящее время активный промышленный рост в регионе, связанный с освоением минерально-сырьевой базы хребта Удокан, выдвигает на первый план задачу изучения экологического состояния водных ресурсов. Комплексная оценка их современного состояния, закономерностей формирования и уязвимости к воздействию необходима для прогнозирования изменений и обеспечения экологически устойчивого развития хозяйственного комплекса Чарской котловины и прилегающих горных территорий.

Цель данной работы – оценка современного экологического состояния подземных и поверхностных вод центральной части Чарской котловины на основе данных химического анализа для выявления рисков, обусловленных природными и техногенными факторами.

Полевые работы проводились в летние периоды 2022-2025 гг. и включали геохимическое опробование речных, озерных и родниковых вод в центральной части Чарской котловины. В 2025 г. отобраны водные пробы в пределах троговых долин рек Средний Сакукан (хребет Кодар) и Нижний Ингамакит (хребет Удокан). Всего собрано более 200 водных проб, из них больше половины из родников (урочище Пески, Чарский ключ, Беленький) и около 60 проб озерных (Лябичи, Аленушка и др.) и речных (рр. Чара, Средний Сакукан, Верхний Сакукан, Хавагда, Анарга, Нирунганкан, Наминганкан, Нижний Ингамакит, Сангиях, Эмегачи) вод (рис.1). Также отобраны 2 пробы дождевых вод.

Содержания главных ионов определены методами титриметрии и капиллярного электрофореза, фторидов – потенциометрическим методом в химической лаборатории ИМЗ СО РАН. Дополнительно в 9 пробах подземных вод был исследован микрокомпонентный состав. Анализ выполнен в лаборатории ИПТМ РАН (г. Черноголовка) с использованием масс-спектрального (ICP-MS) и атомно-эмиссионного (ICP-AES) методов с индуктивно связанной плазмой. Анализ результатов выполнен с привлечением фондовых данных ПГО «Читагеология» (1980-е гг.).

Физико-географические условия как факторы формирования гидрогеоэкологических условий

Чарская котловина расположена в области резко континентального климата с экстремальными годовыми перепадами температур воздуха (амплитуда $>50^{\circ}\text{C}$). На основной площади котловины мощность мерзлых толщ достигает 450 м при температурах до $-6,2^{\circ}\text{C}$ [5]. При этом 5-6% территории

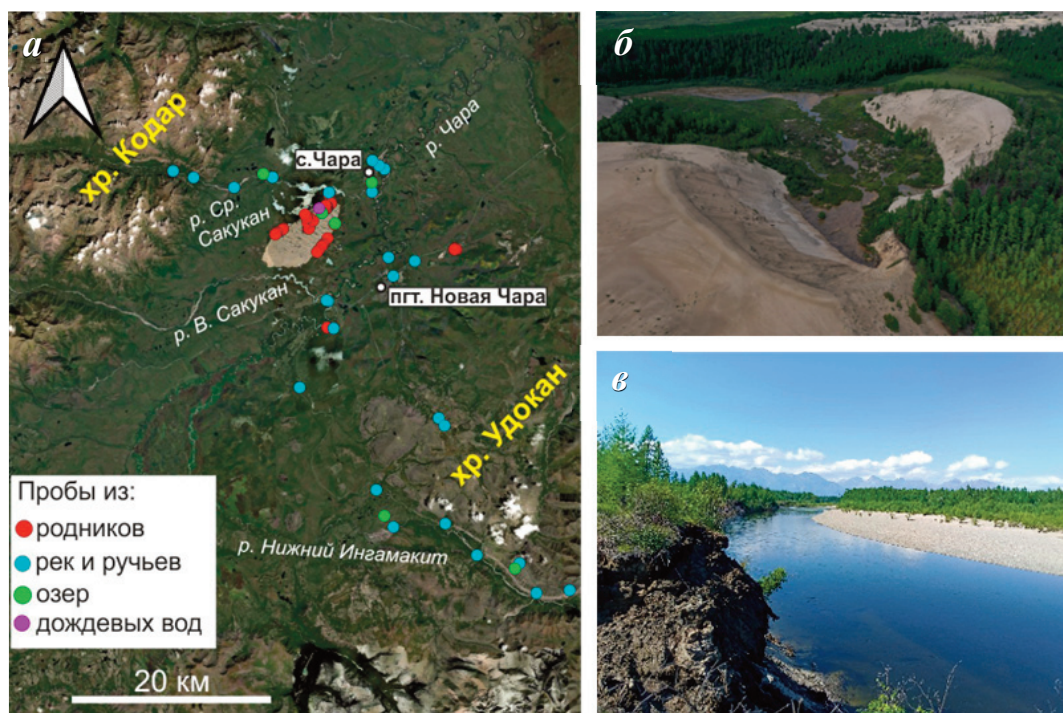


Рис. 1. Схема отбора водных проб в Чарской котловине в 2022–2025 гг. (а) и некоторые точки отбора: родник на урочище Пески (б) и р. Чара (в)

занимают талики различного генезиса, многие из которых гидравлически взаимосвязаны. В горном обрамлении (хребты Кодар и Удокан) мощность криолитозоны составляет 700-1100 м, сокращаясь в троговых долинах до 100-200 м [9, 15]. В геологическом строении Чарской впадины принимают участие кристаллические породы архея, метаморфизованные осадочные и эффузивно-осадочные отложения нижнего протерозоя (сланцы, песчаники), различные интрузивные породы того же возраста (гранитоиды и основные породы), нижнепалеозойские, мезозойские (сланцы, песчаники, алевролиты) и кайнозойские образования [1]. В пределах Кодаро-Удоканской зоны локализованы различные типы пород с проявлениями благороднометалльной минерализации: медистые, железистые песчаники и черносланцевые отложения в составе удоканского комплекса; базиты рифейского чинейского комплекса; золото-кварцевые жильные образования, сформированные в период палеозойско-мезозойского тектогенеза [1].

Окружающие Чарскую котловину горные хребты Кодар и Удокан характеризуются высоким модулем стока (до 20 л/с·км²). Реки Кодара, берущие начало из ледников или подпрудных озер, характеризуются уклонами 0,021-0,12 и глубинами до 1,5-2,0 м. Водотоки, стекающие с Удокана, при выходе в котловину имеют меньшие уклоны (0,006-0,02), их русла часто теряют четкие очертания, дробясь на многочисленные протоки. Водный режим рек относится к горному типу со смешанным питанием (дожди, снежное и наледное таяние, подземный сток [10].

В гидрогеологическом отношении котловина представляет собой межгорный артезианский бассейн байкальского типа. С учетом характера взаимосвязи подземных вод и ММП здесь выделяются надмерзлотные, межмерзлотные и подмерзлотные воды сквозных и несквозных таликов. Повсеместно развиты воды сезонно-талого слоя (СТС). Важнейшим элементом, определяющим гидрогеологические условия, является тектоническая дислоцированность территории, которая активно перераспределяет подземный сток [4]. Разгрузка подземных вод часто происходит в виде родников. Крупные родники в котловине приурочены к развеваемому эоловому массиву «Пески», урочищу Чарский ключ, отложениям конечных морен, тектоническим разломам (родник Беленький). Хребты Кодар и Удокан представляют собой гидрогеологические массивы с трещинными и трещинно-жильными водами метаморфических образований архея и нижнего протерозоя и разновозрастных интрузивных образований. Подземные воды здесь развиты на отдельных участках. Воды СТС приурочены к верхней части коры выветривания. Подмерзлотные воды залегают на глубинах до 100-200 м в долинах рек и до 800-1000 м под водоразделами. Их питание и разгрузка контролируются таликовыми зонами [4].

Результаты и их обсуждение

Атмосферные осадки Чарской котловины и прилегающих горных систем варьируют по составу: дожди в центре котловины имеют $\text{HCO}_3\text{-Na-Ca}$ состав, а в троговых долинах Удокана – $\text{Cl-HCO}_3\text{-Na}$. Снеговые осадки горной части, при схожем анионном составе, отличаются повышенной долей ионов Ca^{2+} (до 62%-экв.) [13].

Основной фон вод Чарской котловины формируют нейтральные и слабокислые реки $\text{HCO}_3\text{-Ca}$ состава (рис. 2а) с минерализацией 20–75 мг/л. Содержание F^- часто превышает ПДК_{рх} (0,75 мг/л) [12] в 2-3 раза, что характерно для природных вод Забайкалья [7]. При чем наиболее высокие концентрации фтора характерны для рек хребта Кодар, а также для подземных вод (рис.2б). Источником F^- могут являться горные породы. Отмечено, что в железистых песчаниках Кодаро-Удоканской зоны концентрируются акцессорные минералы, в том числе апатит [1]. Наблюдаемое в горных водосборах Кодара и Удокана повышение доли SO_4^{2-} (до 30-50%-экв.) позволяет предполагать наличие типичных для данной территории природных ореолов рассеяния сульфидных месторождений [1]. При этом обнаружены аномалии, существенно отклоняющиеся от природного геохимического фона. В водах руч. Блуждающий и р. Эмегачи концентрации SO_4^{2-} увеличиваются до 80–94%-экв., и превышают ПДК_{рх} (100 мг/л) в 3 и 20 раз, соответственно. Для них также характерны повышенная минерализация (0,5–3,0 г/л), а в водах р. Эмегачи концентрации F^- достигают 11 мг/л. Совокупность этих признаков указывает на техногенный источник загрязнения, связанный, вероятно, с горнорудной деятельностью.

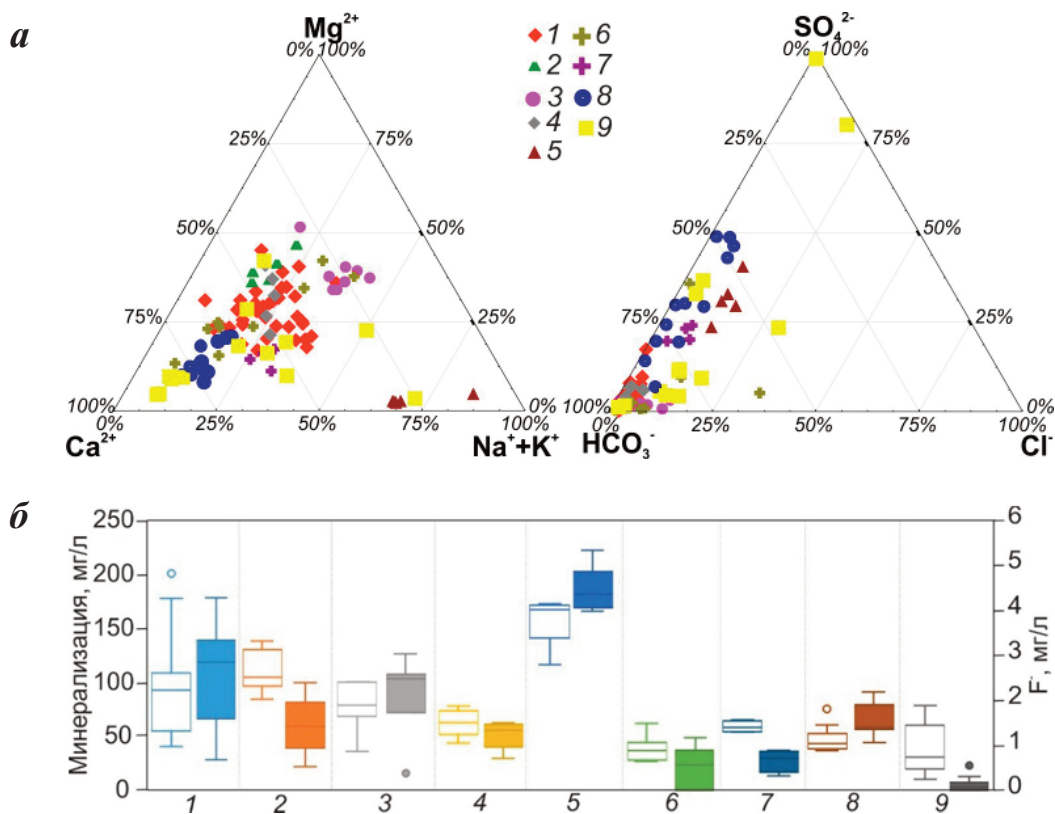


Рис. 2. Соотношения основных ионов (а) и диаграмма размаха минерализации и фтора в природных водах (б) Чарской котловины в 2022–2025 гг.: 1 – урочище Пески (родники ручьев Аленушка и Песчаный), 2 – родники на западной периферии урочища Пески, 3 – родники на восточной периферии урочища Пески, 4 – родник Чарский ключ, 5 – родник Бельский, 6 – озера, 7 – р. Чара, 8 – реки с истоком на хр. Кодар, 9 – реки с истоком на хр. Удокан. На диаграмме (б) минерализация воды обозначена контурным прямоугольником, а концентрация F^- – закрашенным

Исследованные озера различаются по составу в зависимости от генезиса и питания. Озера конечных морен имеют $\text{HCO}_3\text{-Ca}$ состав (pH~7,3, минерализация 30–45 мг/л, содержание F^- ~1 мг/л на хр. Кодар) и иногда связаны сквозными таликами с подземными водами [13]. Озера горных седловин Удокана ($\text{Cl-HCO}_3\text{-Ca}$, минерализация до 30 мг/л, pH~8,5) питаются преимущественно та-

лыми снеговыми водами. Озера на урочище Пески обладают $\text{HCO}_3\text{-Na-Ca}$ или Ca-Mg составом с минерализацией 25-61 мг/л, содержание в них фтора 0,6-1,2 мг/л. Активная реакция среды (рН) в летний период варьирует от нейтральной до щелочной. Воды этих озер гидравлически связаны с подземными водами эоловых и озерно-аллювиальных отложений песчаного массива.

Родниковые воды урочища Пески имеют $\text{HCO}_3\text{-Ca-Mg}$ состав с минерализацией 45-225 мг/л и содержанием F^- 0,7-4,0 мг/л. Диапазон рН составил 6,8-8,8 при среднем значении 7,5. Химический состав родников пространственно неоднороден из-за смешения в зоне разгрузки вод из двух водоносных комплексов (ВК): первого ВК эоловых и озерно-аллювиальных отложений, преимущественно, метеорного происхождения, и второго ВК флювиогляциальных отложений, в формировании которых участвуют подмерзлотные воды [11]. В водах родников отмечаются превышения ПДК_{гн} по Mn (100 мг/л) в 1,1-1,6 раз и As (10 мг/л) в 1,4-2,3 раза. На западной периферии урочища родники имеют $\text{HCO}_3\text{-Ca-Mg}$ состав (минерализация 100-138 мг/л, F^- 0,6-2,4 мг/л). На восточной периферии – состав меняется на $\text{HCO}_3\text{-Na-Mg}$ (минерализация 56-102 мг/л, F^- 1,7-3,0 мг/л), что связано с выпадением в осадок гидрокарбонатов кальция при более глубоком промерзании песчаных пород. Для вод, разгружающихся на периферии урочища, характерны концентрации Fe, превышающие ПДК (300 мг/л) в 10 раз, что является типичной гидрогеохимической особенностью песчаных эоловых отложений [2].

Воды урочища Чарский ключ схожи по составу с родниками урочища Пески, но отличаются более низким содержанием F^- (1,5-1,8 мг/л). Родник Беленький (зона Удоканского разлома) отличается щелочным типом вод, $\text{SO}_4\text{-HCO}_3\text{-Ca-Na}$ составом, более высокой минерализацией (169-180 мг/л) и концентрациями F^- до 5,6 мг/л. Кроме того, концентрации Li, Sb, W, Mo, U в роднике превышают на один-два порядка все другие опробованные типы вод.

Выводы

Современное экологическое состояние вод Чарской котловины определяется сочетанием природных факторов и локального техногенного воздействия. Природный фон характеризуется ультрапресными и пресными водами с устойчивыми повышенными концентрациями F^- , а в подземных водах – также As, Mn и Fe, что связано с литологическим составом пород и влиянием оруденения. Ключевой техногенный риск – локальное загрязнение ручьев Блуждающий и Эмегачи, стекающих с хр. Удокан, сульфатами и фтором, указывающее на поступление вод горнорудных объектов.

Высокая скорость водообмена обуславливает и высокую скорость миграции загрязнений в речную сеть. Наличие ледников и сезонных накопителей воды (наледи, коллекторные емкости подрусловых таликов переуглубленных долин) влияет на характер гидрографа и требует специального учета при моделировании стока с территории. Источниками риска служат хроническое воздействие природных геохимических аномалий и точечное загрязнение от горнорудной деятельности, требующие приоритетного контроля.

Исследование выполнено в рамках государственного задания FMWM-2025-0003 (ИГЭ РАН) и проекта НИОКТР 122012400106-7 «Подземные воды криолитозоны: закономерности формирования и режима, особенности взаимодействия с поверхностными водами и мерзлыми породами, перспективы использования» (ИМЗ СО РАН).

Авторы выражают благодарность сотрудникам Национального парка «Кодар», студентам и аспирантам геологического и географического факультетов МГУ имени М. В. Ломоносова, МГРИ и ИГЭ РАН за помощь в проведении полевых работ.

Литература

1. Абрамов Б.Н. Условия, источники образования и закономерности размещения благороднометалльного оруденения Кодаро-Удоканской зоны и средневитимского фрагмента Муйской зоны: дис. ... д-ра геол.-мин. наук: 25.00.11. Чита, 2007. 394 с.
2. Анисимова Н.П., Павлова Н.А. Гидрогеохимические исследования криолитозоны Центральной Якутии. Новосибирск: Академическое издательство «Гео», 2014, 189 с.
3. ГН 2.1.5.1315-03. Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в воде водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования. Гигиенические нормативы.

4. Государственная геологическая карта СССР масштаба 1:200 000. Сер. Бодайбинская. Лист О-50-XXIX. Объяснит. зап. М., Союзгеолфонд, 1984, 117 с.
5. Железняк М.Н., Жижин В.И., Сериков С.И. Геокриологические условия Олекмо-Чарского поднятия в зоне проектируемых линейных сооружений на участке Икабъекан-Тарыннах // *Соврем. пробл. науки и образования*, 2014, № 6, с. 1675.
6. Караушева А.И. Климат и микроклимат района Кодар–Чара–Удокан. Л.: Гидрометеиздат, 1977. 125 с.
7. Кашин В. К., Иванов Г. М. Фтор в природных водах Забайкалья // *Водные ресурсы*, 1999, № 4, с. 502–505.
8. Крайнов С.Р. Геохимия редких элементов в подземных водах (в связи с геохимическими поисками месторождений), Недра, 1973, 296 с.
9. Некрасов И.А., Шасткевич Ю. Г. Некоторые данные о многолетнемерзлых породах хребта Кодар // *Геокриологические условия Забайкальского Севера*. М.: Наука, 1966.
10. Недешев А.А., Преображенский В. С. (ред.). Природные условия освоения Севера Читинской области. М.: Изд-во АН СССР, 1962.
11. Паламарчук В.А., Лебедева Л. С., Павлова Н. А., Гинзбург А. П. Гидрохимия родниковых вод Центральной части Чарской котловины, Северное Забайкалье // *Криосфера Земли*, 2025, т. 29, № 3, с. 18-30.
12. Приказ от 13 декабря 2016 г. № 552 Об утверждении нормативов качества воды водных объектов рыбохозяйственного значения. в том числе нормативов допустимых концентраций вредных веществ в водах водных объектов рыбохозяйственного значения (с изменениями на 10 марта 2020 г.).
13. Федоров А.М. Пойменный талик р. Нижний Ингамакит // *Геокриологические условия Забайкальского Севера*. М.: Наука, 1966, с. 123-131.
14. Чеснокова И.В., Лихачева Э.А. Экологические последствия антропогенного воздействия в арктической зоне // *Сергеевские чтения: геоэкологические аспекты реализации национального проекта «Экология»*. Диалог поколений, 2020, с. 215–221.
15. Шасткевич Ю.Г. Многолетнемерзлые породы высокогорной части хребта Удокан и условия формирования их температурного режима // *Геокриологические условия Забайкальского Севера*. Новосибирск: Наука, 1966, с. 24-43.

ИССЛЕДОВАНИЕ ГИПЕРГЕНЕЗА ПРИОТВАЛЬНОЙ ТЕРРИТОРИИ (НА ПРИМЕРЕ ЛЁВИХИНСКОГО РУДНИКА, СРЕДНИЙ УРАЛ)

П.А. Рыбников, Л.С. Рыбникова, А.Н. Галин, В.Ю. Наволокина

Институт горного дела УрО РАН, 620219, г. Екатеринбург, ул. Мамина-Сибиряка, 58
E-mail: ribnikoff@yandex.ru; luserib@mail.ru

Горнодобывающая деятельность приводит к образованию отвалов, которые негативно влияют на окружающую среду: отчуждают земли, вызывают запыление и загрязняют почву и воду подотвальными водами. Чем дальше отвал не рекультивирован, тем больше вреда он наносит.

Отвалы медно-колчеданных месторождений особенно опасны. Ярким примером накопленного вреда в Свердловской области является территория отработанного Лёвихинского месторождения. С 1927 года здесь складировались вскрышные и некондиционные породы на неподготовленное основание. В результате выщелачивания происходит непрерывное загрязнение: атмосферные осадки, просачиваясь через отвал, насыщаются металлами и сульфатами, формируя кислые фильтрационные воды, которые десятилетиями загрязняют почву, водные объекты и экосистемы прилегающих территорий.

Целью исследования является изучение влияния формирования отвала и подотвальных вод на грунты зоны аэрации прилегающих к отвалу территорий.

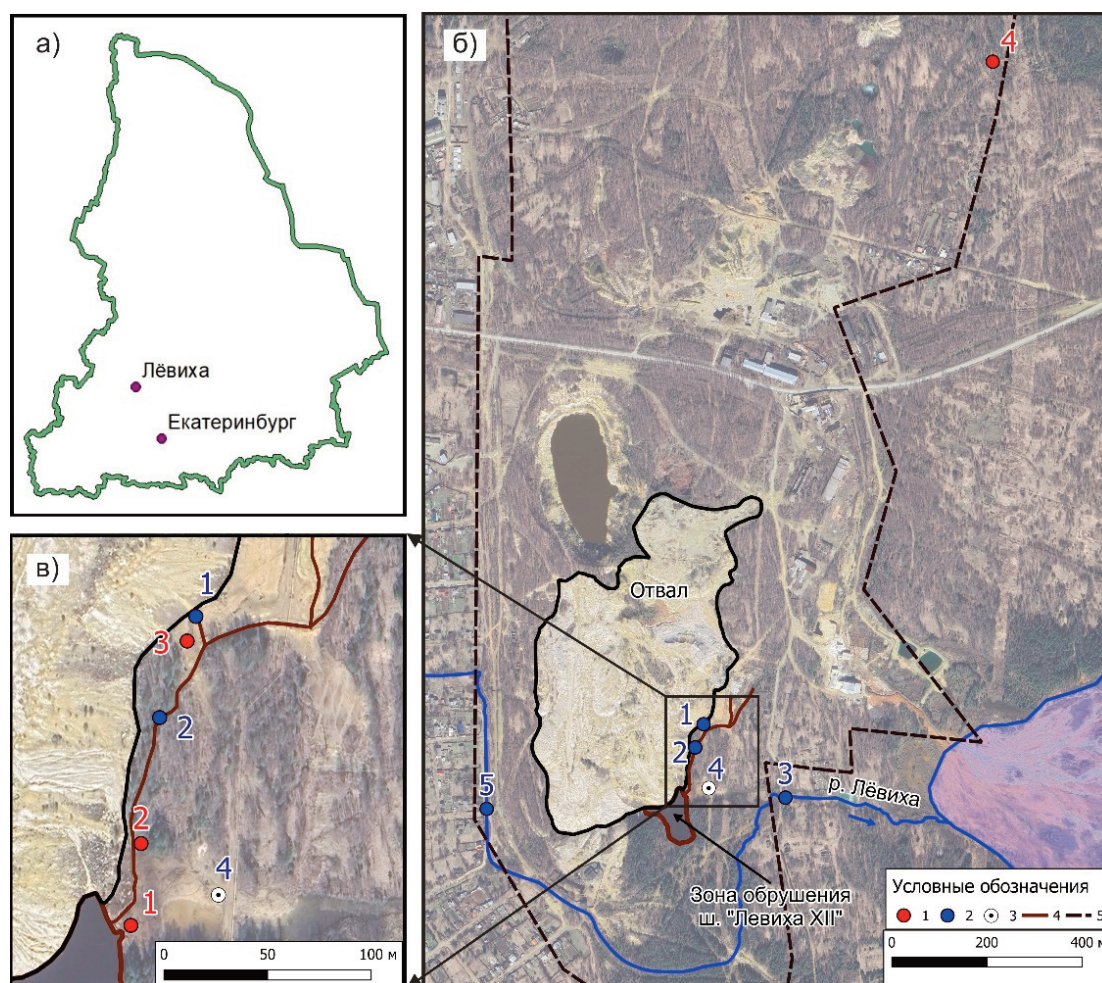


Рис. 1. Карта–схема расположения объектов: а) п. Лёвиха; б) район исследования; в) приотвальная территория с точками обследования: 1-4 шурфы; 2 – места отбора проб воды; 3 – наблюдательная скважина № 5 (место отбора пробы подземных вод 4); 4 – русло подотвальных вод; 5 – горный отвод

Результаты гидрохимического опробования

Номер точки опробования (см. рис. 1)	Формула Курлова
1	$M63,7 \frac{SO_4 100}{Fe41 Al37 Mg19} pH1,46 T12,2 Eh525 TDS -^* EC -^*$
2	$M50,9 \frac{SO_4 100}{Fe38 Al32 Mg24} pH1,72 T9,3 Eh541 TDS9,36 EC18,7$
3	$M1,4 \frac{SO_4 95}{Al40 Ca26 Mg23} pH3,0 T11,9 Eh472 TDS0,87 EC1,75$
4	$M25,5 \frac{SO_4 100}{Al44 Fe29 Mg17} pH2,43 T10,8 Eh339 TDS6,81 EC13,6$
5	$M0,3 \frac{HCO_3 45 SO_4 33 Cl22}{Ca52 Mg24 Na20} pH6,65 T10,9 Eh233 TDS0,21 EC0,42$

Примечание: в формуле М.Г. Курлова >10% экв; t в оС, Eh в мВ, TDS в ppt, EC в μS; * – выше предела обнаружения (предел обнаружения для TDS и EC составляет 20 ppt и μS, соответственно)

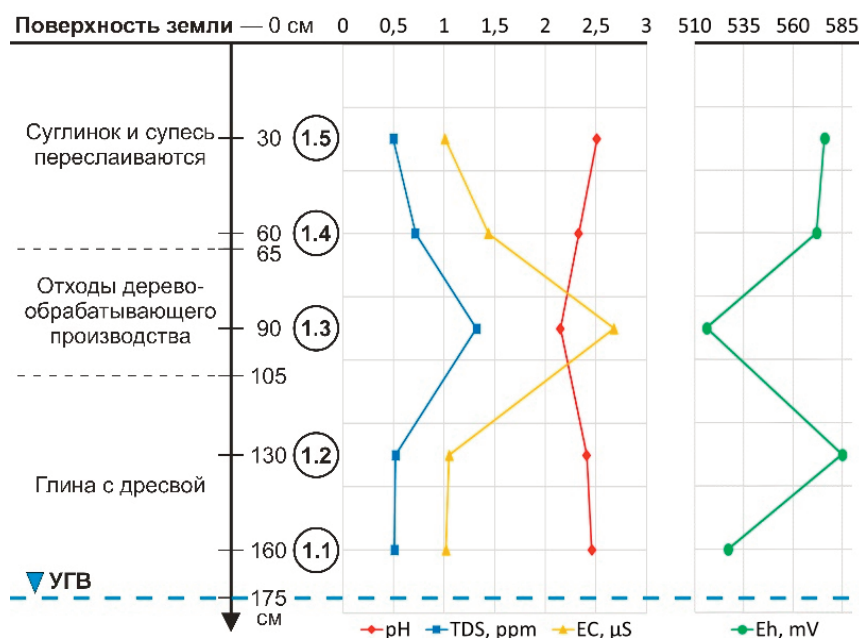


Рис. 2. Результаты опробования грунтов в шурфе №1 по глубине

Лёвихинская группа медноколчеданных месторождений находится в Кировградском районе Свердловской области (рис. 1). Месторождения открыты в 20-30 годах прошлого века. В 1927 году начата эксплуатация открытым способом, позднее началась разработка месторождений подземным способом. В 2003 году водоотлив на руднике был остановлен и началось затопление горных выработок, которое завершилось в 2007 г. формированием сосредоточенного выхода кислых шахтных вод в самой низкой точке горного отвода с расходом до 2,9 тыс. м³/сут.

На территории Лёвихинского рудного поля расположено 11 отвалов общей площадью 0,3 км² объемом 1,7 млн м³. Самый большой из них находится в южной части возле шахты «Лёвиха-ХII», имеет площадь 22,6 га и объем 1,45 млн м³ (рис. 1) [3]. Здесь в течение нескольких десятков лет разгружаются кислые подотвальные воды, расход которых в паводок достигает 1250 м³/сут. Отдельного сбора подотвальных вод не осуществляется. Стекая с бортов карьера и разгружаясь по периметру, они накапливаются в провале ш. «Лёвиха ХII» и далее попадают в русло р. Лёвиха [5].

В районе исследования было отобрано 5 проб воды (рис. 1): 1 – подотвальные воды непосредственно в месте выхода из-под отвала; 2 – подотвальные воды, текущие по руслу; 3 – р. Лёвиха

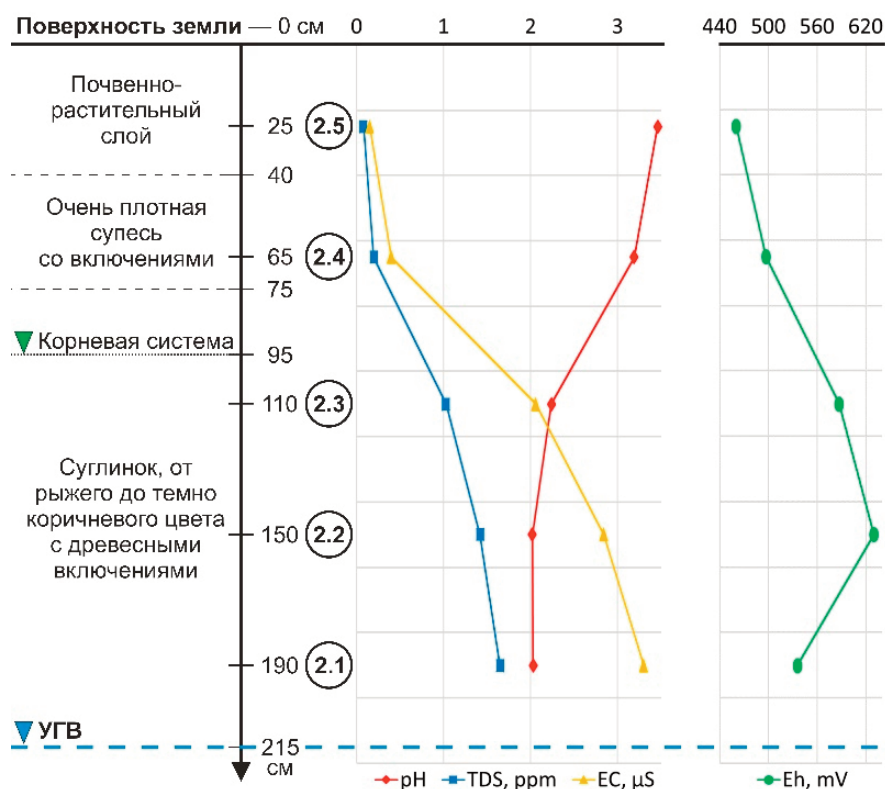


Рис. 3. Результаты опробования грунтов в шурфе № 2 по глубине

после поступления подотвальных вод; 4 – скважина №5 (рядом с отвалом) и 5 – р. Лёвиха в верховье (фон). В пробах воды определялись следующие показатели: pH, H^+ , Na^+ , K^+ , NH_4 , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Al^{3+} , $Fe_{общ}$, Cu^{2+} , Zn^{2+} , Mn^{2+} , Cl^- , SO_4^{2-} , NO_3^- , NO_2^- , HCO_3^- , CO_3^{2-} , Si, Be, Cd (AA), Co, As, Ni, Se, сухой остаток, минерализация, SiO_2 , окисляемость и жесткость. Пробы отбирались в соответствии с ГОСТ Р 59024-2020 [2]. Химический состав проб воды получен по данным следующих методов: пламенно-эмиссионной спектрометрией, пламенно атомно-абсорбционной, фотометрической с реактивом Грисса, потенциметрической с ионоселективным электродом, гравиметрическим, меркуриметрическим, титриметрическим, масс-спектрометрией с ионизацией в индуктивно связанной плазме. Анализы выполнены в химико-аналитическом центре Института промышленной экологии УрО РАН.

Для детального изучения грунтов из зоны аэрации в сентябре 2025 года было выкопано 4 шурфа, 3 из которых расположены рядом с отвалом вдоль русла подотвальных вод, один – на границе горного отвала в 1,6 км севернее (фон). Шурфы представляли из себя прямоугольный вертикальный раскоп длиной -2,5 м, шириной -0,6 м и глубиной от 1,95 м до 2,3 м. Углубление велось до появления грунтовых вод. Исключением является фоновый шурф, так как при достижении глубины 3,8 м от поверхности земли грунтовые воды не были обнаружены. По вертикальным разрезам (по стенкам шурфов) описана зональность и опробованы все визуально различающиеся слои. Из каждого шурфа были отобраны 5 проб -2,0 кг в герметично закрывающиеся пластиковые пакеты.

Вдобавок непосредственно в полевых условиях *in situ* в соответствии с ГОСТ 26423-85 [1] в водных вытяжках проб пород и в пробах воды проводился анализ быстроизменяющихся параметров, таких как: pH и окислительно-восстановительный потенциал (Eh) с использованием портативного иономера «И-510»; солесодержание (TDS), удельная электрическая проводимость (EC) и температура с использованием портативного кондуктометра «HANNA HI 98312 Dist6».

Подотвальные воды непосредственно в месте выхода из-под отвала и подотвальные воды, текущие по руслу, показывают сильно кислую реакцию среды (pH=1,46 и 1,72, соответственно), составы вод сульфатные магниевое-алюминиево-железистые, минерализация 63,7 и 50,9 г/л, воды имеют высокую концентрацию сульфат-иона (48,1 и 38 г/л), железа (9,7 и 7,2 г/л), алюминия (2,9 и 2,0 г/л), магния (1,9 и 2,0 г/л), меди (0,2 и 0,2 г/л) и цинка (0,15 и 0,2 г/л, соответственно) (табл. 1).

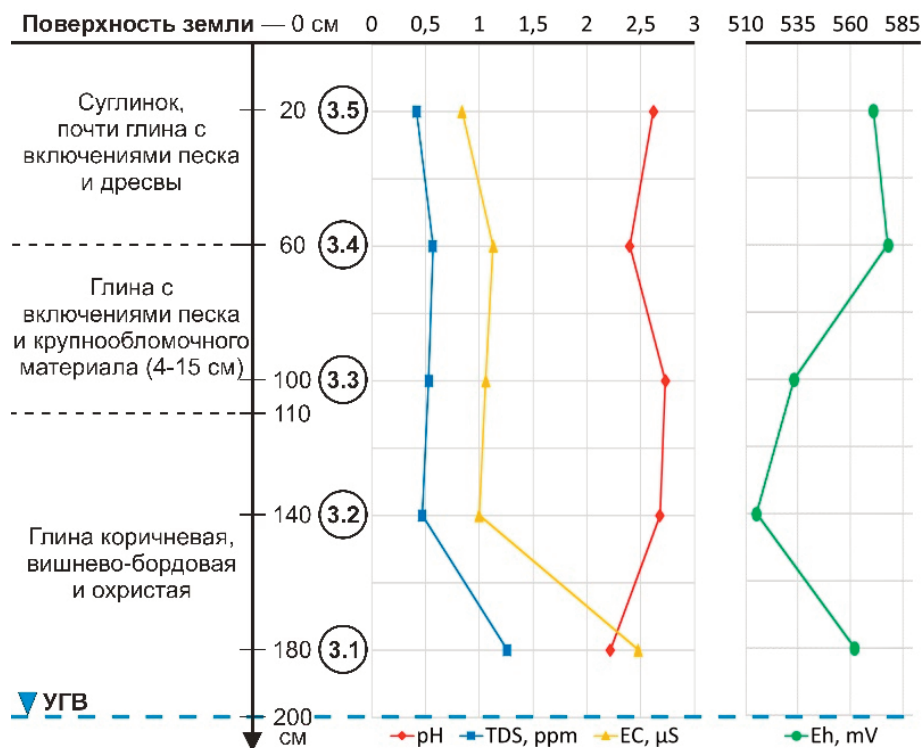


Рис. 4. Результаты опробования грунтов в шурфе № 3 по глубине

Воды р. Лёвиха после поступления подотвальных вод показывают сильно кислую реакцию среды ($\text{pH}=3,0$), состав воды сульфатный магниевый-кальциево-алюминиевый, минерализация 1,4 г/л, воды имеют высокую концентрацию сульфат-иона (1,0 г/л), алюминия (0,08 г/л), кальция (0,1 г/л) и магния (0,06 г/л) (табл. 1).

Воды из скважины №5 показывают сильно кислую реакцию среды ($\text{pH}=2,43$), состав воды сульфатный магниевый-железисто-алюминиевый, минерализация 25,5 г/л, воды имеют высокую концентрацию сульфат-иона (18,8 г/л), железа (2,9 г/л), алюминия (1,4 г/л), магния (0,7 г/л), цинка (0,4 г/л) и меди (0,3 г/л) (табл. 1).

Воды р. Лёвиха в верховье (фон) показывают нейтральную реакцию среды ($\text{pH}=6,65$), состав воды хлористо-сульфатно-гидрокарбонатный натриево-магниевый-кальциевый, минерализация 0,3 г/л, воды имеют высокую концентрацию сульфат-иона (0,06 г/л), кальция (0,04 г/л), хлора (0,03 г/л) и натрия (0,02 г/л) (табл. 1).

На рисунках 2-5 схематично представлены лицевые стороны шурфов №№ 1-4 с описанием пород, отметками мест отбора пробы (внутри круга – номер пробы) и с результатами, полученные *in situ*. В шурфе № 1 (рис. 2) с 65 см до 105 см от поверхности земли был обнаружен слой отходов деревообрабатывающего производства, который в основном состоял из древесного опила и волокна. Этот слой служит геохимическим барьером, что объясняет изменение параметров в пробе почвы № 1.3 с глубины 90 см относительно проб, отобранных выше и ниже. В шурфе № 2 (рис. 3) с углублением показатели увеличиваются. Это связано с вымыванием элементов инфильтрацией и транспирацией, так как ниже уровня корневой системы показатели в разы увеличиваются. В шурфе № 3 (рис. 4) с углублением показатели остаются примерно на одинаковом уровне, исключение точка опробования 3.1. Так как данный шурф находится прямо у основания отвала, то на качество пробы почвы № 3.1 влияет капиллярное поднятие грунтовых вод, которые преимущественно состоят из подотвальных вод, исходя из качества пробы воды из скважины № 5 (табл. 1). В шурфе № 4 (рис. 5) с углублением pH повышается, а Eh снижается. Слабо кислое значение pH и более высокое значение Eh в пробе № 4.5 возможно обусловлено остаточным влиянием горнодобывающего предприятия, так как этот шурф тоже находится внутри горного отвала.

Полученные результаты показывают, что влияние отвала прослеживается не только в процессах формирования экстремально кислых подотвальных вод. Преобразование зоны гипергенеза притвальной территории за 100 лет существования отвала проявляется в метаморфизации подземных вод и формировании кислой среды в зоне аэрации.

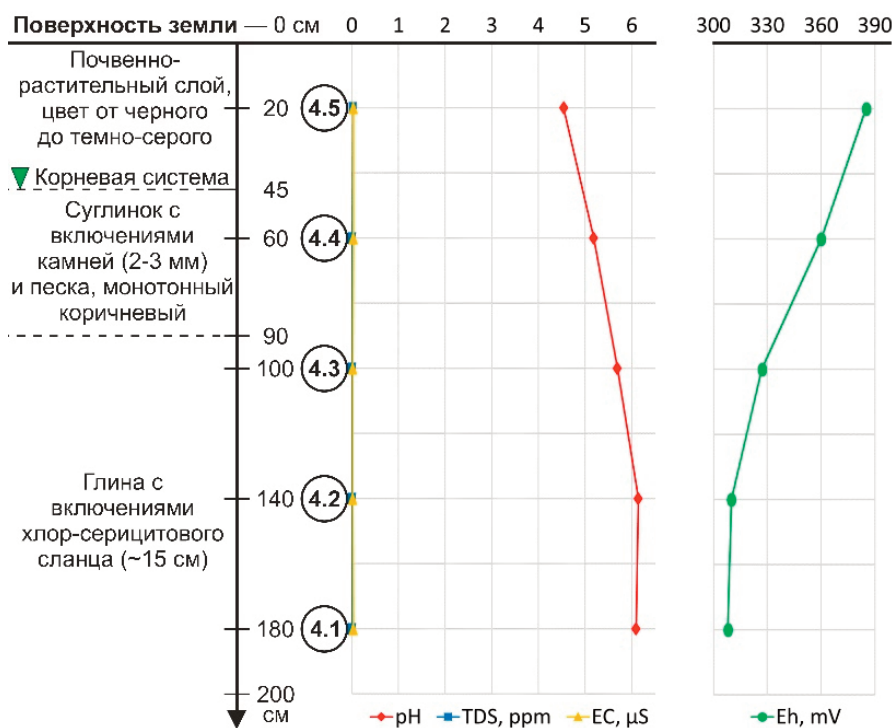


Рис. 5. Результаты опробования грунтов в шурфе № 4 по глубине

Работа выполнена в рамках Государственного задания Института горного дела УрО РАН. Тема 2 (2025-2027 гг.). Геоинформационное обеспечение системной оценки стратегий природосбережения при освоении ресурсов недр (FUWE-2025-0002). Г.р. № 1022040300092-1-1.5.1.

Литература

- ГОСТ 26423-85. Почвы. Методы определения удельной электрической проводимости, pH и плотного остатка водной вытяжки. М.: Изд-во стандартов, 1985. 8 с.
- ГОСТ Р 59024-2020. ВОДА. Общие требования к отбору проб: принят Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 10 сентября 2020 г. №640-ст: дата введения 2021-08-01.
- Мормиль С.И., Сальников В.И., Амосов Л.А., Хасанова Г.Г., Семячков А.И, Зобнин Б.Б., Бурмистренко А.В. Техногенные месторождения Урала и оценка их воздействия на окружающую среду / Под ред. Ю.А. Боровкова. Екатеринбург: НИИ-Природа, ДПР по Уральскому региону, ВНИИЗАРУБЕЖГЕОЛОГИЯ, 2002. 206 с
- Приказ Минсельхоза России от 13.12.2016 № 552 «Об утверждении нормативов качества воды водных объектов рыбохозяйственного значения, в том числе нормативов предельно допустимых концентраций вредных веществ в водах водных объектов рыбохозяйственного значения», с изменениями на 13 июня 2024 год. 2024. 91 с.
- Рыбникова Л.С., Рыбников П.А., Галин А.Н. Процессы формирования подтовальных вод и мероприятия по минимизации их влияния на гидросферу (на примере Лёвихинского рудника, Средний Урал) // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. 2025. Т. 336. № 2. С. 102-115. DOI: 10.18799/24131830/2025/2/4517.

ВТОРИЧНОЕ МИНЕРАЛООБРАЗОВАНИЕ И ФОРМЫ МИГРАЦИИ ХИМИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ В СИСТЕМЕ «КИСЛЫЕ ШАХТНЫЕ ВОДЫ – МАЛАЯ РЕКА» (НА ПРИМЕРЕ ЛЕВИХИНСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ, СРЕДНИЙ УРАЛ)

Л.С. Рыбникова, П.А. Рыбников, В.Ю. Наволокина, А.Н. Галин

ИГД УрО РАН, 620075, Россия, Свердловская обл., г. Екатеринбург, ул. Мамина-Сибиряка, 58
E-mail: luserib@mail.ru; ribnikoff@yandex.ru

Деятельность горнодобывающей промышленности приводит к масштабному изменению природной среды и создает повышенную геохимическую нагрузку на экосистемы. Серьезной и долговременной проблемой на этих территориях является образование кислых шахтных вод (КШВ), возникающих как в процессе, так и после завершения отработки сульфидсодержащих месторождений. При поступлении этих вод в водные объекты происходит образование тонкого охристого осадка, который переносится речными водами на десятки км и приводит к изменению минерального и химического состава донных отложений и всей водной системы в целом [2, 6, 8]. Образовавшиеся осадки имеют низкую кристалличность, очень маленький размер частиц и высокую удельную площадь поверхности, что способствует эффективной сорбции металлов этими минералами. Динамика физико-химических параметров (рН, Eh, T°C) определяет интенсивность растворения и миграцию загрязняющих элементов в водных системах [4, 5, 7].

Согласно государственному докладу, основным источником загрязнения водных объектов в Свердловской области являются сточные воды, общий объем которых составляет 656 млн м³ в год, причем 80% из них – загрязненные воды. Предприятия по добыче полезных ископаемых сбрасывают 44 млн м³ таких вод, не включая дополнительно примерно 10 млн м³ нейтрализованных кислых вод с закрытых рудников.

На Среднем Урале расположено несколько затопленных медноколчеданных рудников (Дегтярский, Левихинский, Белореченский, Карпушихинский, Ломовский), на которых и после закрытия продолжают формироваться КШВ. Существует риск загрязнения сточными водами, источников питьевого водоснабжения городов Екатеринбурга (население более 1,5 млн чел.) и Нижний Тагил (население 330 тыс. чел.).

Для предотвращения чрезвычайных ситуаций на этих объектах за счет областного бюджета проводятся работы по локализации поверхностного стока, откачке шахтных вод и обезвреживание стоков на станциях нейтрализации.

Несмотря на проведение нейтрализации КШВ на Левихинском руднике, концентрации металлов в поверхностных водах превышают предельно допустимые значения в десятки и сотни раз [17]. В результате этого рудник привлекает внимание общественности и контролирующих органов. Он неоднократно подвергался проверкам экологической прокуратуры и является объектом накопленного вреда окружающей среды. Для обоснования эффективной системы очистки и ликвидации загрязнения р. Левихи и р. Тагил необходим полный анализ информации о составе, распределении и закономерностях изменения загрязняющих веществ в водных объектах и донных отложениях от зоны разгрузки кислых шахтных вод до сброса в гидросеть.

Целью работы является исследование геохимических особенностей накопления и миграции загрязняющих веществ в системе «вода – донные отложения» для разработки научно обоснованных рекомендаций по улучшению состояния гидросферы и способов ее реабилитации.

Объектом исследования являются водные объекты и донные отложения на закрытом Левихинском медноколчеданном месторождении (Свердловская область). Месторождение обрабатывалось с 20-х годов прошлого века до 2003 г. К концу 2006 г. подземные горные выработки были полностью затоплены, в районе шахтного ствола образовался техногенный водоем глубиной 20 м, в который до настоящего времени разгружаются КШВ. С 2007 г. КШВ перекачиваются на станцию нейтрализации, после очистки известковым молоком они поступают в действующий пруд-осветлитель, а затем самотеком по старому руслу р. Левихи попадают в р. Тагил.

Пробы поверхностных вод и донных отложений были отобраны в 5 пунктах наблюдений. Основные пункты наблюдений (пн): техногенный водоем (пн 1) – самая верхняя точка наблюдений, здесь происходит разгрузка кислых (pH=2,3-3,9) минерализованных (до 12 г/л) шахтных вод сульфатного состава (до 9 г/л) с высоким содержанием Fe, Al, Mg, Zn, Cu, Mn. Из техногенного водоема шахтные воды перекачиваются на станцию нейтрализации (пн 2). После нейтрализации техногенный ручей самотеком попадает в пруд-осветлитель (пн 3). В долине р. Левихи ниже сброса с пруда-осветлителя также отобраны донные осадки и пробы воды (пн 4). Последняя проба была отобрана в устье р. Левихи (пн 5) перед сбросом в р. Тагил (рис. 1). Эти пункты наблюдений (пн) позволяют дать полную характеристику изменения химического состава воды и донных отложений по всей цепочке: от выхода кислых шахтных вод до сброса в гидросеть.

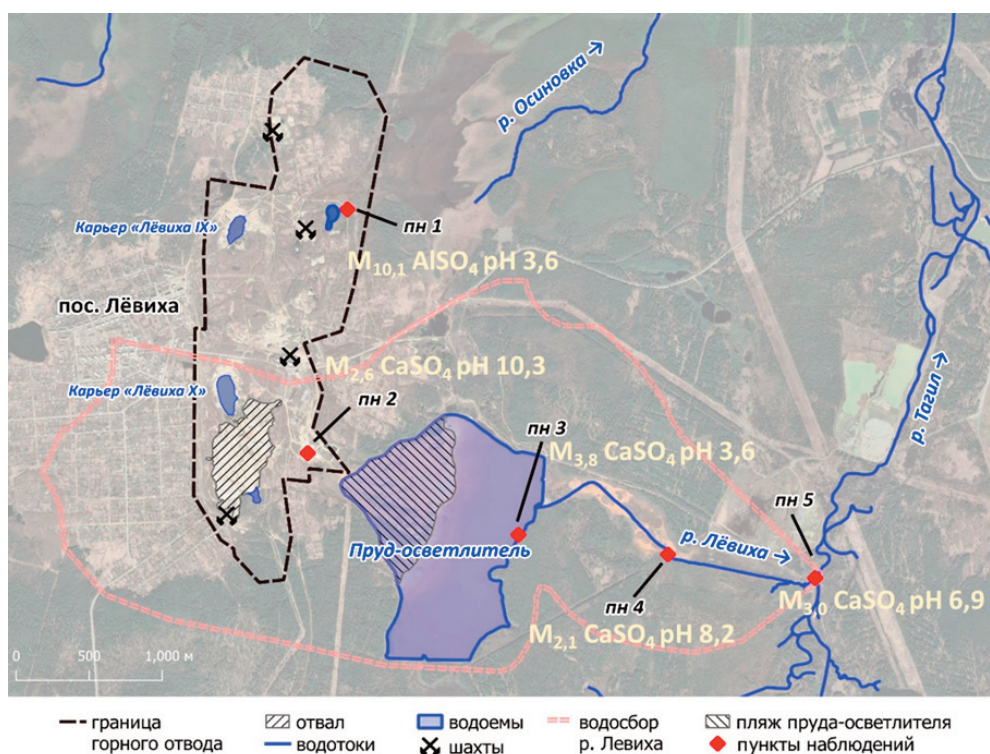


Рис. 1. Обзорная схема расположения объектов и пунктов наблюдений на Левихинском руднике

Химический состав донных отложений и поверхностных вод анализировались в аккредитованных лабораториях. Для определения макро- и микроэлементного состава использовали спектрометрические (ИСП-АЭС) и классические методы аналитической химии (потенциометрические, титриметрические и гравиметрические методы). На месте определяли значения pH, Eh, TDS и t°C.

Для анализа геохимического спектра элементов в воде рассчитывались кларки концентраций (CC), которые определяются как отношение концентрации вещества в воде к его региональному фону (верховья р. Левихи). Для донных отложений использовались кларки элементов в земной коре по А.П. Виноградову [1].

Роль донных отложений в процессах сорбции и поглощении компонентов оценивалась с использованием коэффициента донной аккумуляции или коэффициент распределения, который в соответствии с [8] определяется как отношение концентрации элементов в донных отложениях (X_s) к концентрации тех же элементов в воде X_w : $CR = X_s/X_w$.

Для расчета форм нахождения элементов в растворе и индексов насыщения использовали физико-химическое моделирование с помощью программного продукта Visual MINTEQ 3.1 [9].

Химический состав воды на руднике изменяется от сульфатного магниево-железо-алюминиевого на выходе КШВ до сульфатного магниево-кальциевого на сбросе. Минерализация изменяется в среднем от 10 г/л до 2 г/л (рис. 1).

На основании анализа геохимического спектра элементов можно сделать вывод, что в зоне разгрузки и после нейтрализации воды характеризуются экстремально высокими значениями CC для целого ряда элементов: Cd, Co, Cu, Zn, Pb, Fe, Al. Донные отложения в этих же пунктах аккумуля-

ругую загрязнение в значительно меньшей степени (превышения в единицы-десятки раз для Zn, Cd, Cu). Несмотря на снижение уровней загрязнения воды в ниже расположенных пунктах (пруд-осветлитель, река Левиха), устойчивые превышения кларков, особенно для Cd, Cu и Zn, сохраняются как в водной среде, так и в донных отложениях, при этом донные осадки пруда-осветлителя выступают зоной максимального накопления этих металлов (сотни раз выше кларка). Таким образом, основными загрязнителями изучаемой системы являются кадмий, медь и цинк, причём водная среда демонстрирует гораздо более широкий спектр элементов-загрязнителей и больший масштаб аномалий по сравнению с донными отложениями (рис. 2).

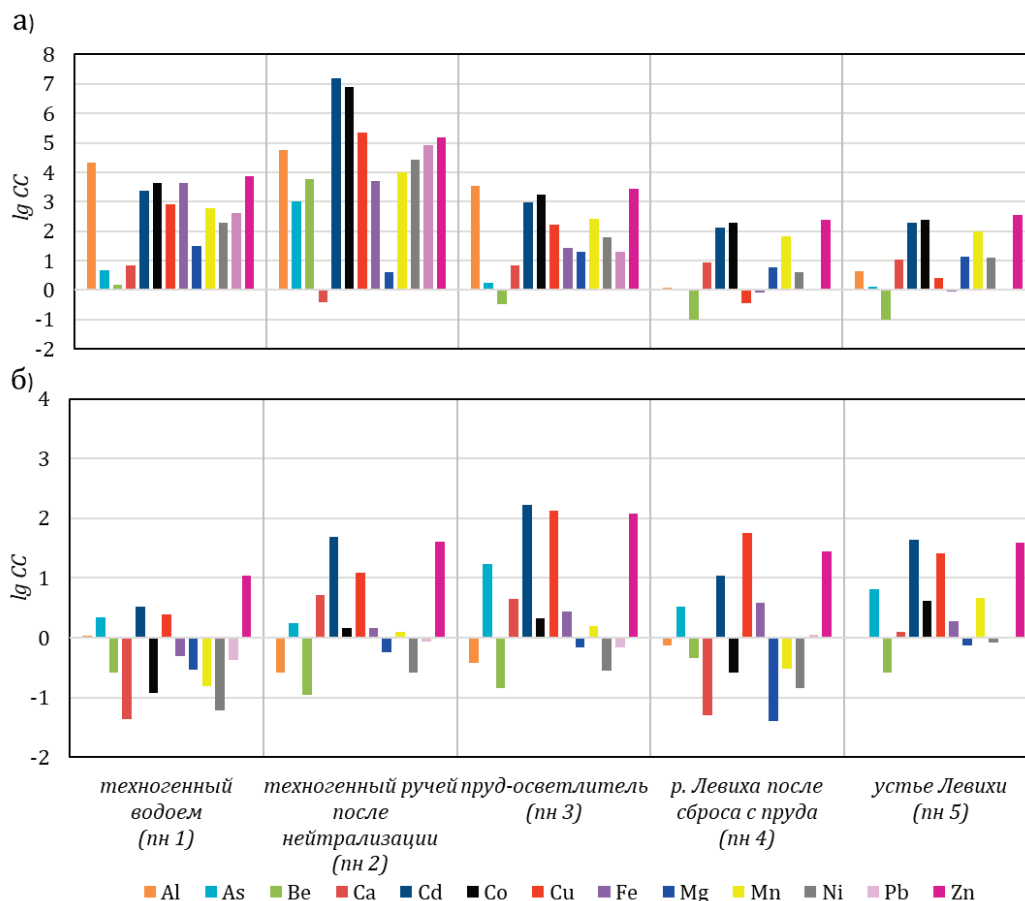


Рис. 2. Геохимический спектр элементов в пунктах наблюдений: а) в воде, б) в донных отложениях

По результатам физико-химического моделирования показано, что формы миграции элементов в техногенных и природных водах определяются их зарядом, минерализацией, pH и Eh: однозарядные катионы (Na^+ , K^+ и др.) мигрируют практически полностью в виде свободных ионов, двухзарядные (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Cu^{2+} , Zn^{2+}) – преимущественно также в ионной форме, тогда как поведение Al и Fe существенно зависит от среды – алюминий в кислых водах мигрирует в сульфатных комплексах (AlSO_4^+), в сильнощелочных переходит в гидроксидную форму ($\text{Al}(\text{OH})_4^+$). Железо меняет степень окисления и форму миграции (свободные ионы, сульфатные или гидроксидные комплексы) в зависимости от Eh и pH. Анализ индексов насыщения показывает, что воды во всех пунктах наблюдений недонасыщены или близки к равновесию по отношению к гипсу, но в определённых условиях (нейтральная среда) становятся пересыщенными относительно некоторых вторичных минералов, таких как алузит и диаспор, что указывает на возможные процессы их осаждения при смешении или нейтрализации вод.

Процесс накопления тяжелых металлов в донных отложениях, характеризуемый коэффициентом распределения (CR), напрямую зависит от кислотности среды: в кислой среде (pH=3,6) наблюдается минимальное накопление из-за активации десорбции, тогда как в околонеutralной среде происходит интенсивная миграция металлов из воды в осадки за счёт осаждения и сорбции, что демонстрируется высокими значениями CR (рис. 4).

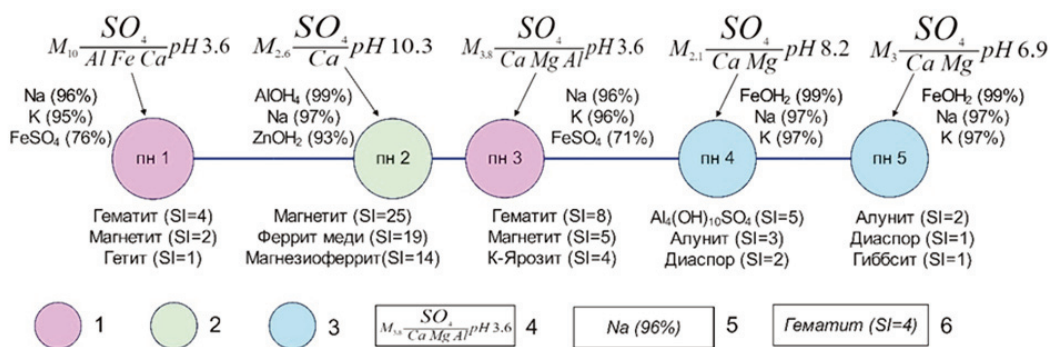


Рис. 3. Гидрогеохимическая характеристика пунктов наблюдений: 1 – кислая среда; 2 – щелочная среда; 3 – нейтральная среда; 4 – химический состав воды; 5 – формы миграции химического элемента (%), 6 – минерал (индекс насыщения)

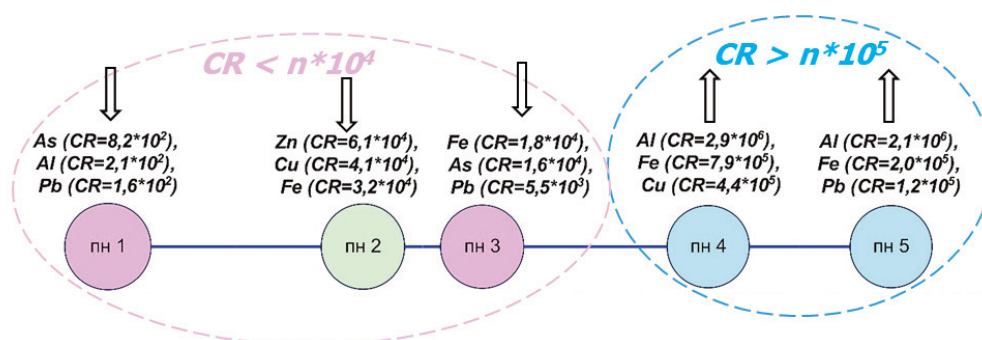


Рис. 4. Коэффициент распределения в пунктах наблюдения

На основании комплексных исследований системы «кислые шахтные воды – малая река» на закрытом Левихинском медноколчеданном месторождении установлены закономерности вторичного минералообразования и миграции химических элементов. Полученные результаты позволят обосновать направления по ликвидации накопленного вреда окружающей среде на горнопромышленных территориях Среднего Урала.

Работа выполнена при поддержке Государственного задания ИГД УрО РАН. Тема 2 (2025-2027) Геоинформационное обеспечение системной оценки стратегий природосбережения при освоении ресурсов недр (FUWE-2025-0002). Г.р. № 1022040300092-1-1.5.1

Литература

1. Виноградов А.П. Среднее содержание химических элементов в главных типах изверженных пород земной коры // Геохимия. 1962. №7. С. 555-571.
2. Максимович Н.Г., Хмурчик В.Т., Березина О.А., Деменив А.Д. Миграция микроэлементов в речной системе в зоне влияния изливов кислых шахтных вод Кизеловского угольного бассейна // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2024. № 2. С. 23-34.
3. Рыбникова Л.С., Рыбников П.А. Закономерности формирования качества подземных вод на отработанных медноколчеданных рудниках Левихинского рудного поля (Средний Урал, Россия) // Геохимия. 2019. Т.64. № 3. С. 282-299.
4. Фетисова Н.Ф. Исследование форм миграции металлов в реках, подверженных влиянию шахтных вод Кизеловского угольного бассейна // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. 2021. Т. 332. № 1. С. 141-152.
5. Харько П.А., Нуреев Р.Р., Пашкевич М.А. Возможность применения геохимических барьеров на основе известняка для очистки подотвальных вод от металлов // Вестник Евразийской науки. 2020. Т. 12. № 6. 42 с.
6. Abramov S.M., Tejada J., Grimm L. et al. Role of biogenic Fe(III) minerals as a sink and carrier of heavy metals in the Rio Tinto, Spain. // Science of the Total Environment. 2020. Vol. 718.

7. Ji H., Li H., Zhang Y. et al. *Distribution and risk assessment of heavy metals in overlying water, porewater, and sediments of Yongding River in a coal mine brownfield* // *Journal of Soils and Sediments*. 2018. Vol. 18. P. 624-639.
8. Menshikova E., Osovetsky B., Blinov S. et al. *Ochre Particles in River Sediments in Coal Mining Areas (A Study of the Kizel Coal Basin, Russia)* // *Mine Water and the Environment*. 2022. Vol. 41. P. 1040-1054.
9. *Visual MINTEQ*. - URL: <https://vminteq.lwr.kth.se/> (дата обращения: 03.12.2025).

ГИДРОЛОГО-ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ ХОЗЯЙСТВЕННОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ АКВАТОРИИ И ДОЛИНЫ РЕКИ ТОМЬ У ТОМСКА (РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ)

О.Г. Савичев

Томский политехнический университет, 634050, Российская Федерация, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: Savichev@mail.ru

Введение

В настоящее время гидрогеология и гидрология как научные дисциплины достигли значительных успехов в решении огромного количества научных и инженерных задач, а соответствующие исследования являются важной и необходимой частью инженерных изысканий и мероприятий по экологическому и водохозяйственному развитию регионов Российской Федерации. Тем не менее, ряд важных вопросов остается пока недостаточно полно раскрытым, включая определение границ водных (подземных и поверхностных) объектов, специальных (водоохранных и санитарно-защитных) зон, зон затопления и подтопления, что в той или иной мере является прямой или косвенной причиной возникновения целого ряда чрезвычайных ситуаций в Сибирском, Дальневосточном, Уральском федеральных округах и других регионах Российской Федерации только за последние 5 лет [2, 6].

С учетом этого в Томском политехническом университете в течение последних десятилетий проводятся комплексные исследования гидрогеологических, гидрологических и инженерно-геологических условий хозяйственного освоения Сибири и прилегающих территорий [4, 7]. В частности, в последние годы на примере равнинных рек Западной Сибири (бассейн р. Обь) была разработана методика физико-географического контроля достоверности определения границ рек и их специальных зон. Исходными материалами послужили материалы режимных гидрологических (Росгидромет) и гидрогеологических (ФГБУ «Гидроспецгеология») наблюдений, результаты инженерных изысканий и обследований. Основные объекты – р. Томь у г. Томска, Васюган у п. Новый Васюган, Икса у с. Плотниково, Ключ у с. Полянника. Дополнительно использованы данные по р. Обь, Парабель и ряду других притоков Оби. Результаты. Проведены расчеты положения береговой линии и границ зон затопления и подтопления долин ряда рек в Томской области. Выполнено сопоставление характерных уровней речных вод с гидрогеологическими, геоморфологическими и геоботаническими условиями в речных долинах, а также сравнение условий подтопления с преобладающими типами русловых процессов. Показано, что определение положения береговой линии равнинных рек может проводиться по данным не только о среднесуточных уровнях воды за период открытого русла, но и о среднемесячных уровнях речных вод весенне-летнего половодья и летне-осенней межени. Установлено, что среднемноголетний максимальный уровень и максимальный уровень обеспеченностью 1% в целом соотносятся с рельефом, уровнями грунтовых вод и растительным покровом речных долин. Выявлено, что вероятность подтопления в пределах долины увеличивается в случае пойменной многорукавности и свободного меандрирования и уменьшается при преобладании ограниченного меандрирования [5].

Кроме того, проводится разработка методологии построения единого поля водной поверхности комплекса поверхностных и подземных водных объектов, в рамках которой на примере р. Томь (один из крупнейших притоков р. Обь) на участке её нижнего течения (прежде всего – у г. Томска) разработаны модель деформаций русла и условий формирования подпора при ледовых заторах и зажорах на р. Томи [3, 7], методика и проведена собственно оценка подземной составляющей речного стока реки Оби на участке ее среднего течения с использованием гидрогеологических и гидрологических данных (по среднемесячным расходам и уровням вод) [4].

На основании этих (и ряда не указанных выше) результатов сделано предположение, что временная изменчивость и амплитуда колебаний уровней подземных вод максимальна в долине большой реки с незарегулированным стоком, а неучет несовпадения границ поверхностных и подземных

водосборов рек может существенно снижать эффективность мероприятий по инженерной защите. Все это и определило актуальность дальнейших исследований гидролого-гидрогеологических условий хозяйственного освоения акваторий поверхностных водных объектов и их долин, в том числе и цель рассматриваемой работы – оценку гидролого-гидрогеологических условий использования акватории и долины р. Томь у г. Томска (Российская Федерация, Сибирский федеральный округ, административный центр Томской области).

Объект и методика исследования

Река Томь – один из крупнейших притоков реки Оби. На территории ее водосбора, административно соответствующей участкам республик Хакасия и Алтай, Кемеровской, Новосибирской и Томской областей, проживает более 2,5 млн человек и расположены крупнейшие в Российской Федерации предприятия угольной, металлургической и химической промышленности. При этом река Томь является важной транспортной артерией, источников водоснабжения и нерудных строительных материалов, приемником сточных вод, а в пределах ее долины расположено значительное количество жилых и производственных объектов, что определяет актуальность исследования современных и прогнозных гидрологических условий, особенно в нижнем течении реки в пределах Томской области.

С учетом сложности объекта исследования (участка реки Томи в пределах Томской области на протяжении 115 км) и ранее отмеченных затоплений как исторической, так проектируемой к освоению части жилой застройки в границах г. Томска и Томского административного района, в качестве основного метода исследования было выбрано математическое моделирование, а именно – моделирование: для р. Томь – кривой свободной водной поверхности (КСП) и поверхности реки при ледовых заторах на участке 0-115 км от устья реки Томи при различных вариантах хозяйственной деятельности, а для поверхности грунтовых вод в долине р. Томь – по уравнению Дюпюи.

Модель КСП включает в себя: 1) блок описания рельефа русла и поймы с шагом по длине 1 км, по ширине меженного русла в 50 м, по ширине поймы до 1 км от меженного русла – 100 м, по ширине поймы далее 1 км от меженного русла – 200 м (отметки русла сняты по лотциям и материалам русловых съемок АО «Томскгеомониторинг», отметки поймы и долины – по цифровым топографическим картам с уточнением по материалам топогеодезических работ); 2) блок расчета (по уровню воды в устье, при котором у г. Томска наблюдаются заданные значения уровня и расхода воды) в каждом сечении ширины и средней глубины потока, уклона водной поверхности между смежными створами, коэффициента Шези (по формуле Маннинга), средней скорости течения (по формулам Шези и Маннинга) по методу А.Н. Рахманова с подбором приращения уровня воды в выше расположенном смежном створе; при этом используется допущение о незначительности бокового притока, который в целом меньше или не превышает погрешность определения расхода воды Томи; 3) блок расчета подпора воды при формировании на участке ледового затора и зажора по методике, изложенной в [3]:

$$\Delta Z_{ID} = 0.5 \cdot \left(\frac{Q}{\bar{Q}}\right)^{1.45} \cdot \left(\frac{L}{0,25 \cdot \bar{h} + 0,6 \cdot J}\right), \quad (1)$$

где Q , \bar{Q} – расход воды в момент формирования ледохода и в среднем за многолетний период, м³/с (норма стока принята в размере 1130 м³/с); \bar{h} – средняя глубина потока в сечении, м; J – уклон водной поверхности, м/км; L – толщина ледовых образований, м.

Ординаты кривой поверхности грунтовых вод оценены (при допущении приблизительно горизонтального залегания водоупора [6]) по уравнению:

$$H_{gr,x} = \sqrt{H_{r,1}^2 - \frac{H_{r,1}^2 - H_{r,2}^2}{\Delta_{1,2}} \cdot x + \frac{Inf}{K_f} \cdot (\Delta_{1,2} - x) \cdot x}, \quad (2)$$

где $H_{gr,x}$ – уровень грунтовых вод на расстоянии x от створа 1 в начале участка протяженностью $D_{1,2}$; $H_{r,1}$ и $H_{r,2}$ – уровни грунтовых вод в створах 1 и 2, соответствующие уровням вод рек 1 и 2; Inf и K_f – средние на участке $D_{1,2}$ значения инфильтрации и коэффициента фильтрации.

Результаты исследования и их обсуждение

Моделирование КСП р. Томь выполнено при следующих сценариях хозяйственного освоения: I) отсутствие воздействий (с учетом существующей защитной дамбы на правом берегу); условия весеннего половодья в гидростворе г. Томска в среднем за май 2004 г.: расход воды $Q = 4810 \text{ м}^3/\text{с}$; уровень воды $Z = 74,88 \text{ м}$; толщина льда $L=0,76 \text{ м}$; II) углубление меженного русла на участке 64–72 км от устья до отметок 64–65 м БС; III) строительство магистрального канала в левобережной пойме на участке 51–77 км от устья (отметка дна канала 66–67 м) для усиления отвода водных масс с городской территории; IV) строительство дамбы на левом берегу на участке 58–71 км (отметка гребня – 80 м); V) строительство дороги на левобережной пойме на участке 59–70 км (отметка дорожного полотна – 80 м); VI) строительство дамбы и дороги на левобережной пойме с параметрами, указанными в вариантах IV и V; VII) строительство на правом берегу берегозащитного сооружения на участке 65–75 км от устья шириной 50 м с отметкой гребня 80 м; VIII) отсутствие воздействий; условия летне-осенней межени в гидростворе г. Томска в среднем за август 2004 г. ($Q = 451 \text{ м}^3/\text{с}$; $Z = 74,88 \text{ м}$).

В результате выполненного моделирования получена общая картина изменения уровней воды в реке Томе на участке 0–115 км от устья (рис. 1). Сравнение различных вариантов хозяйственного освоения поймы реки Томе в г. Томске и Томском районе показало, что при отсутствии ледовых заторов (зажоров) возможное увеличение уровней составит около 0,01 м, что соответствует погрешности измерения уровней воды. Однако при формировании ледовых заторов/зажоров возможно дополнительное увеличение подпора до 0,15 м при строительстве дамбы на левом берегу, что может привести к увеличению риска затопления правого берега.

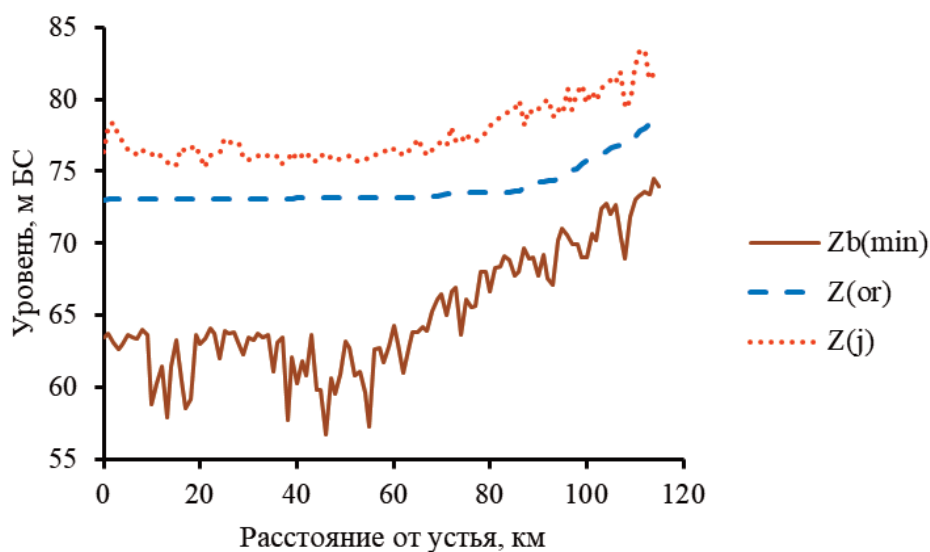


Рис. 1. Продольный профиль реки Томь в Томской области; $Z_b(\min)$ – минимальная отметка дна меженного русла; $Z(\text{or})$ – уровень воды при расходе воды $4810 \text{ м}^3/\text{с}$; $Z(\text{j})$ – уровень поверхности потока при формировании ледового затора при расходе воды $4810 \text{ м}^3/\text{с}$ и толщине льда $0,76 \text{ м}$

При проведении большинства мероприятий возможно увеличение подпора при ледовых заторах на 0,1 м, причем при строительстве канала на левобережной пойме в среднем вероятно незначительное уменьшение подпора. В целом, наихудшие условия вследствие возможности затопления поймы при ледовых заторах и зажорах наблюдаются в створах 65 и 72 км от устья. Также необходимо отметить, используемая модель не учитывает русловые деформации, интенсивность которых заметно возрастает выше по течению от г. Томска в период весеннего половодья. Соответственно, на участках с положительными деформациями вероятно образование русловых форм, способствующих формированию ледовых заторов и зажоров и дополнительному увеличению уровней воды.

При использовании уравнения (2) получены поперечные профили долины р. Томь и ее притоков, анализ которых свидетельствует о существенной роли рек в формировании водного режима подземных вод на территории г. Томска, особенно в пределах поймы и первой надпойменной террасы

уже по состоянию на 2010-е гг. (рис. 2). Но это влияние заметно и на возвышенных участках города (что, предположительно, может негативно сказываться на эффективности систем инженерной защиты южной части города) и, тем более, оно будет возрастать при формировании ледовых заторов на фоне застройки левого берега.

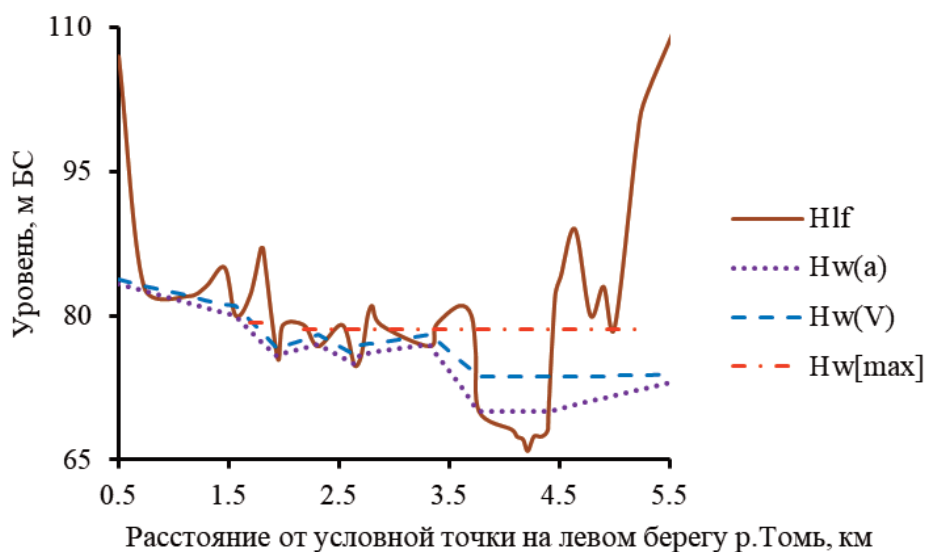


Рис. 2. Поперечный профиль долины р. Томь и левого борта долины р. Ушайка (приток р. Томь) в створе от п. Тимирязево до п. Степановка; Hlf – отметка поверхности или дна водотоков, м БС; Hw(a) и Hw(V) – средний многолетний и средний майский расчетные (за многолетний период) уровни речных и грунтовых вод, м БС; Hw[max] – максимальный измеренный уровень речных вод

Выводы

Выполнена ориентировочная оценка уровней воды реки Томи при различных природных и антропогенных условиях. Наиболее вероятное их увеличение в черте г. Томска можно ожидать при строительстве дамбы на левом берегу, поскольку ограничение выхода воды на левобережную пойму может привести к переливу воды через участки правобережной дамбы с пониженными отметками. С учетом этого строительство дамбы на левом берегу, как и смещение береговой линии Томи на правом берегу, целесообразно осуществлять вместе с реконструкцией правобережной дамбы в Томске на ряде участков (с пониженными отметками или испытывающих наибольшее эрозионное воздействие). Один из вариантов предотвращения затопления поймы – строительство канала на левом берегу (ориентировочно – от верхнего коммунального моста до устья протоки Бурундук) для сброса избыточного количества воды. Проведение русловыправительных работ с учетом незначительных уклонов на участке от г. Томска до устья в целом не приведет к значимому уменьшению максимальных уровней воды, хотя необходимость в проведении таких работах существует как на Томи (подрезка островов и осередков для уменьшения вероятности формирования ледовых заторов и зажоров), так и на Оби (обеспечение пропуска ледового материала, особенно в условиях вероятного формирования ледовых заторов на участке около с. Красный Яр).

С высокой вероятностью (особенно при формировании ледовых заторов и зажоров) будет наблюдаться подтопление левобережной части города (вплоть до «сильного» подтопления с глубиной залегания грунтовых вод до 0,3 м и менее). При этом необходимо отметить, что имеет место некоторая методологическая неопределенность в оценке условий затопления и подтопления, обусловленная тем, что, согласно [1], протока не является самостоятельным поверхностным водным объектом. Соответственно, между протокой (Томи) Бурундук (у п. Тимирязевский) на левом берегу и основным руслом р. Томь статус территории может быть оценен как «остров». Это не исключает жилую и иную застройку, но может привести к пересмотру границ водных объектов и их специальных зон, а также обязывает предусмотреть мероприятия по инженерной защите.

Исследование выполнено за счет гранта РФФ (проект № 25-27-00686).

Литература

1. Водный кодекс Российской Федерации (с изменениями на 4 августа 2023 года) (редакция, действующая с 31 июля 2025 года). Кодекс РФ от 03.06.2006 N 74-ФЗ. Москва: Кремль, 2025. – 55 с.
2. О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2023 году. – М.: Минприроды России, 2024. – 707 с.
3. Савичев О.Г. Гидрологическое обоснование руслоисправительных работ на реке Томи (Западная Сибирь) с целью снижения опасности наблюдений // Гидротехника. – 2012. – № 3. – С. 93 – 97.
4. Савичев О.Г. Оценка притока подземных вод в Среднюю Обь и ее основные притоки // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. 2025. Т. 336. № 5. С. 144–158. DOI: 10.18799/24131830/2025/5/5044.
5. Савичев О.Г. Физико-географический контроль определения границ рек, их водоохранных зон, зон затопления и подтопления в Томской области (Российская Федерация) // Мелиорация и гидротехника. – 2024. – Т.14. – № 1, С. 188–204. DOI: 10.31774/2712-9357-2024-14-1-188-204.
6. Состояние геологической среды (недр) территории Сибирского федерального округа в 2022 г. Информационный бюллетень, выпуск 19. – Томск: Филиал «Сибирский региональный центр ГМСН», 2023. – 242 с
7. Zemtsov V.A., Savichev O.G. Resources, regime and quality of surface waters in the Ob River basin: history, current state and problems of research // International Journal of Environmental Studies, 2015, Vol. 72, No. 3, 386–396, <http://dx.doi.org/10.1080/00207233.2015.1019299>.

ОЦЕНКА СОДЕРЖАНИЯ И ТОКСИЧЕСКОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ ТЯЖЕЛЫМИ МЕТАЛЛАМИ ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ Р. КЛЯЗЬМЫ

Г.Ю. Толкачев

Институт геоэкологии им. Е.М. Сергеева РАН; 101000, г. Москва, Уланский пер., д. 13, с. 2, а/я 145
E-mail: k-26@yandex.ru

Комплексное использование водных объектов требует изучения их экологического состояния и оценки уровня техногенной нагрузки. Практически для всех техногенно-развитых территорий в аквальных ландшафтах наблюдается формирование литогеохимических аномалий в донных отложениях (ДО) со следующими характеристиками: тонкодисперсный состав осадков, их повышенная пластичность, наличие частиц техногенного происхождения, маслянистость. ДО вследствие своих высоких сорбционных свойств накапливают весь комплекс загрязняющих веществ (ЗВ) и служат индикатором техногенной нагрузки на водный объект, показатели загрязненности ДО позволяют установить наиболее неблагоприятные в экологическом отношении участки и скорректировать состав и объём гидрохимического и гидробиологического мониторинга.

Объект и методы исследования

Река Клязьма, а также реки её бассейна, испытывает значительную техногенную нагрузку, являясь приёмником сточных вод расположенных на них городов. В приведенной работе дана оценка загрязнения ДО р. Клязьма рядом тяжелых металлов (ТМ): Cd, Cu, Pb, Zn, Cr, Ni, Fe, Mn, а также As. Исследования проводились в 2017-19 гг. на территории Московской и Владимирской областей – от дамбы Пироговского водохранилища до впадения в р. Ока в районе г. Гороховец. Река Клязьма протекает через восточную часть Московской и всю Владимирскую области, характеризующиеся высокой антропогенной нагрузкой – в том числе через ряд крупных городов (Ногинск, Павловский посад, Орехово-Зуево, Покров, Владимир, Ковров) с промышленными предприятиями. На её водосборной территории общей площадью более 40 тыс. км² находится развитая сеть автотрасс, большое количество поселков и с/х угодий – т.е. речь идёт о природно-техногенном объекте с высокой плотностью населения и разнообразной промышленностью. ДО Клязьмы сложены преимущественно фракциями мелкого и тонкого песка, пыли и глины, при этом вниз по течению становятся более песчанистыми что обусловлено дренированием плейстоценовой флювиогляциальной равнины (Мещёрской низменности) [2]. Оценка экологического состояния велась без учета конкретных предприятий-загрязнителей. Створы располагались следующим образом: створ выше города, промзоны, с/х территории или притока, и створ ниже предполагаемого источника загрязнения в зоне смешения сточных и поверхностных вод. При исследовании распределения загрязняющих веществ по поверхности и для определения уровня загрязнения в текущий момент пробы отбирались из поверхностного слоя ДО. Все изученные образцы состоят из сходных по минеральному составу компонентов, что позволяет считать результаты оценки сопоставимыми.

Использовался пробоотборник грейферного типа. Взятые пробы помещались в широкогорлую пластиковую посуду, гомогенизировались и распределялись по пакетам для исследований. Главное требование контроля качества проб – исключение их загрязнения в процессе отбора, транспортировки и хранения. Для упаковки проб ДО применялись полиэтиленовые пищевые пакеты, пробы хранились в холодильнике. Далее из ДО выделялась «сорбирующая фракция» размером менее 0,02 мм. Данная фракция практически полностью состоит из высокодисперсных глинистых минералов, оксидов Fe и Mn, органического вещества, обладающего максимальными сорбционными свойствами [3], при этом её содержание в паводковых осадках на пойме может достигать 70% и более [7]. Выделение фракции менее 0,02 мм проводилось мокрым просеиванием. Фракции выпаривались и высушивались до воздушно-сухого состояния в сушильных шкафах при температуре не выше +60°C. Для корректировки результатов анализов определялась гигроскопическую влажность воз-

душно-сухих образцов. Определение концентраций тяжёлых металлов в пробах ДО проводилось методами атомной адсорбции (Cd) и ICP – после их разложения в «царской водке».

Оценка степени загрязнения ДО тяжёлыми металлами представляет собой сложную проблему. В качестве базовой методики авторами взята семизвенная система классификации ДО по «индексу геоаккумуляции» Г. Мюллера [5, 8], которая в течение 30 лет находит широкое применение. «Индекс геоаккумуляции» характеризует кратность загрязнения ДО относительно природного фона во фракциях менее 0,02 мм. На основе данной методики разработана и применена методика оценки техногенной нагрузки на водные экосистемы [4, 6], что позволяет оценить уровень потенциальной и реальной опасности загрязнения водоемов.

Обсуждение результатов

По результатам полевых исследований получены значения концентраций изучаемых ТМ, для которых рассчитаны значения игео-классов.

На участке р. Клязьмы от дамбы Пироговского водохранилища до впадения её притока р. Учи большинство изучаемых ТМ содержатся в ДО в пределах 0-1 (от незагрязненного до умеренно загрязненного) игео-классов (далее – «классов»), Ni – в пределах фонового значения, Zn на всем протяжении и Pb в районах мостов и автодорог – 2 класс (умеренно загрязненный). В ДО р. Учи концентрации Zn и Mn соответствуют 2 игео-классу, As и Pb – 1-2. В г. Щёлково содержание Cd, Pb, Zn, Cr, Cu соответствует 2-3 классу, а также умеренно опасной техногенной нагрузке по оценке [3]. Однако ниже по течению, при пересечении с Щёлковским шоссе, уровни загрязнения существенно различаются: As, Pb, Cr, Ni – 4 класс (сильно загрязненный), Cu – 5 класс (сильно загрязненный до чрезмерного), а также аномально высокое содержание Zn на уровне 6 класса – чрезмерно загрязненный. Данные показатели соответствуют сильной и чрезмерной техногенной нагрузке. Весьма высоко содержание As и Zn в районах посёлков Свердловский и Осеево – 6 класс и чрезвычайно опасная нагрузка, а также Cr и Cu – 4 класс. Такие высокие показатели при отсутствии в непосредственной близости источников ЗВ могут быть объяснены тем, что в данном районе русло реки делает крутые повороты и практически вся сорбирующая фракция ДО оседает под самым берегом излучины. Pb и Ni содержатся в пределах 3 класса и серьёзной опасности для экосистемы не представляют.

Ниже по течению, в районе пос. Лосино-Петровский и дер. Бездедово концентрации ряда ТМ снижаются – As до 4 и 2 соответственно, Zn до 4, Cr до 1-2 и Cu до 2-3. Вместе с тем содержание Cd резко увеличивается относительно верхнего течения и соответствует 5 классу, и держится практически на том же уровне до г. Ногинска. В районе самого Ногинска концентрация Pb соответствует 4-5 классу, вплоть до впадения р. Шерна. В то же время ниже Ногинска содержание Zn существенно ниже (3 класс), чем в самом городе (4 класс), что может говорить об отсутствии поступления Zn в самом городе в совокупности с существенным разбавлением. Донные отложения притока Клязьмы р. Шерны характеризуются загрязнением на уровне 2 класса Fe, Mn и As и незначительным загрязнением остальными элементами, а также фоновыми значениями для Cr и Cu.

В черте г. Павловский посад содержание Cd на уровне 4 класса, Pb – 3, Zn снижается с 3 до 2. Абсолютные значения всех элементов на выходе реки из города ниже, чем на входе, где опробование проводилось в непосредственной близости от автомоста трассы Кузнецы–П. посад. Таким образом, можно сделать вывод, что Павлов посад, также как и Ногинск, не является значительным источником загрязнения. На участке от г. Орехово-Зуево до д. Войнова гора концентрации As, Cd, Pb, Zn соответствуют 3 игео-классу, Cr и Cu – 1-2. Fe, Mn и Cr не превышают 1, т.е. не представляют существенной техногенной нагрузки.

На участке от впадения р. Киржач до д. Крутово содержание Mn, Zn и Pb соответствует 2 классу, содержание As также увеличивается до 2 класса на участке г. Покров – д. Крутово (Таблица 5). Концентрации Cu, Cr и Fe не превышают 1 класса, что свидетельствует о слабой техногенной нагрузке на протяжённом и извилистом участке Клязьмы от д. Войнова гора до д. Крутово, за исключением подходящих вплотную автодорог. Сходная картина отмечена для протяжённого участка от пос. Собинка до пос. Оргтруд, на котором расположен областной центр г. Владимир: только содержания Mn и As соответствуют 2-му «умеренно загрязнённому» классу, остальные элементы не превышают 1 игео-класса. Отдельно следует отметить Ni, концентрации которого

в большинстве районов Клязьмы от Пироговского водохранилища до посёлка Оргтруд соответствуют фоновым значениям.

В опробованных притоках Клязьмы (Липня, Колокша, Нерль, Пекша) содержание ТМ практически везде соответствует или незначительно превышает фоновые значения. Исключение составляет устье Нерли, где содержание Mn соответствует 2 игео-классу (умеренно опасной нагрузке), и устье Пекши, где Cu и Zn соответствуют 2 и 1 классу, остальные элементы на фоновом уровне либо не превышают 1 класса.

На участке р. Клязьма от г. Владимир до устья находятся достаточно крупные города Ковров (140 тыс. чел.) и Вязники (36 тыс. чел.), а также Гороховец (13 тыс. чел.). Самый крупный на этом участке г. Ковров является промышленным центром и железнодорожным узлом, что предполагает высокую техногенную нагрузку на окружающую среду, в частности на р. Клязьму. Вместе с тем, содержание практически всех исследуемых элементов, кроме Fe, Mn, Cd, Zn не превышает незагрязненного класса, либо находится на уровне фона. Cd, Zn и Mn на протяжении означенного участка находятся в пределах 1-2 класса – на уровне от незагрязнённого до умеренно загрязнённого, что соответствует малоопасной и умеренной техногенной нагрузке. Содержание Fe максимально в районе д. Пенкино, в непосредственной близости от автомагистраль и строительной площадки – однако не превышает 3-го средне загрязнённого класса, что также соответствует умеренно опасной нагрузке. Примечателен тот факт, что в данном районе только Mn соответствует 2-му классу, а остальные элементы, вопреки ожиданиям, не превышают 1-го, либо фонового уровня (Pb, Cu, As). На всём остальном участке, и даже ниже г. Коврова, концентрация Fe не превышает 2 класса. Также относительно г. Коврова следует отметить, что ниже по течению наблюдается незначительное повышение концентраций изучаемых элементов, однако, как было указано выше, сколько-нибудь значительное загрязнение отсутствует. Следовательно, можно говорить о постепенном снижении техногенной нагрузки, приобретённой на территории Московской области, начиная от д. Войнова гора.

Проведённые исследования свидетельствуют, что наибольшими показателями загрязнения обладают Zn и Pb на всем протяжении изученного речного участка. Это может быть следствием поступления данных элементов на всем протяжении реки с автодорог и неконтролируемых источников загрязнения. Отмечено высокое содержание Cd, As, Cu, Cr и Ni выше г. Ногинска, однако их высокая техногенная нагрузка на весь остальной участок не распространяется. В то же время установлено, что игео-классы элементов выше, в черте и ниже крупных районных центров (гг. Щёлково, Ногинск, Павловский посад, Орехово-Зуево, Покров, Ковров), а также областного центра г. Владимир остаются практически без изменений. Данный факт может свидетельствовать о том, что упомянутые города не являются активными источниками загрязнения р. Клязьма, а их сточные воды разбавляют речные, в результате чего может увеличиваться ареал рассеивания ТМ – в частности Zn и Pb.

Также для оценки загрязнения тяжёлыми металлами ДО Клязьмы и притоков целесообразно использовать такую величину как суммарный показатель токсического загрязнения – СПТЗ, разработанный для оценки загрязнения ТМ городских почв [1].

$$\text{СПТЗ} = \sum K_C K_T - (n-1);$$
$$K_C = C/C_{\text{ф}},$$

где C – содержание элемента в изучаемой среде; $C_{\text{ф}}$ – фоновое содержание (глобальный или региональный фон); K_T – коэффициент токсичности химического элемента [1]; n – число учитываемых элементов. Допустимая категория загрязнения <16, умеренно опасная 16-32, опасная 32-128, чрезвычайно опасная >128.

В частности, на рисунке 1 представлена карта распределения СПТЗ ДО р. Клязьма – от г. Пушкино до г. Владимир.

Данный показатель использовался для оценки загрязнения Клязьмы в 1999 и 2003 гг. [2], поэтому целесообразно провести сравнительный анализ с настоящим временем. Как и в 2003 г., чрезвычайно опасное загрязнение отмечено на участке Щёлково–Лосино-Петровский. Следует отметить, что в 2003 г. опасное загрязнение было зафиксировано на участке Лосино-Петровский–Павловский Посад, в настоящее время – на участке Лосино-Петровский–Ногинск – т.е. за прошедшее время участок с данным показателем существенно сократился (порядка 30 км). От Ногинска до Орехово-Зуево СПТЗ соответствует умеренно опасному, также за эти годы произошло некоторое улучшение на участке

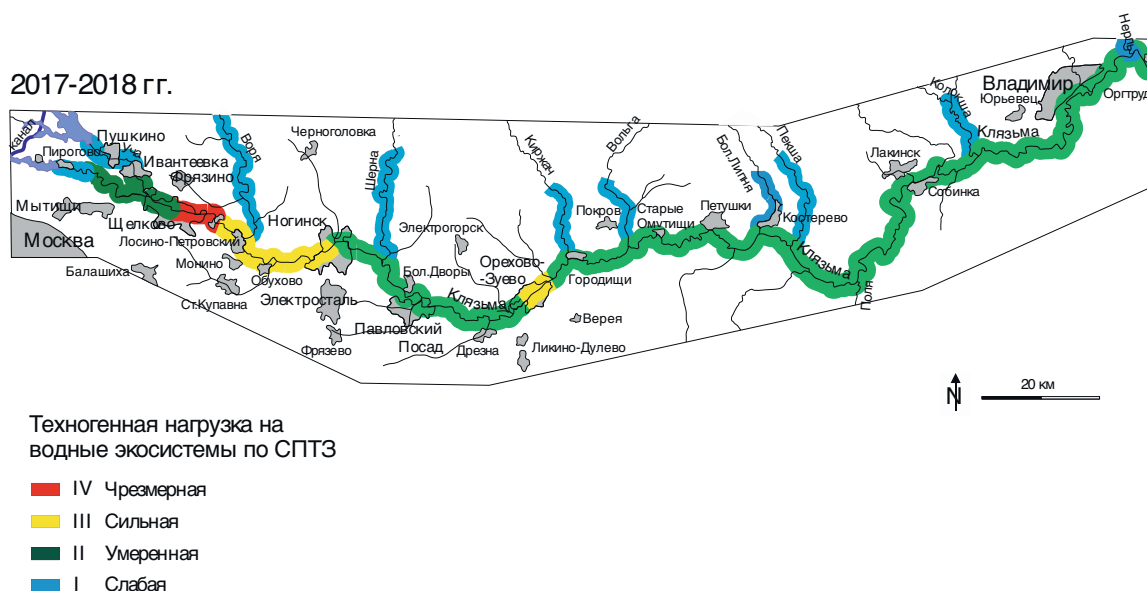


Рис. 1. Показатель СПТЗ донных отложений р. Клязьма в 2017-18 гг.

Орехово-Зуево–Петушки. От Собинки до устья Клязьмы загрязнение ДО во все периоды соответствует допустимому, также соответствует допустимому загрязнение всех устьев её притоков.

Оценивая общую картину загрязнения Клязьмы, можно констатировать, что в настоящее время, несмотря на большое число источников загрязнения (в том числе неконтролируемых) и локальные загрязнения, говорить о чрезмерно опасной нагрузке не приходится. Однако данный факт не отменяет необходимости принимать меры к её снижению.

Выводы

Основными загрязняющими металлами являются Zn и Pb начиная от г. Пушкино и далее на всем протяжении реки, уровень загрязнения соответствует умеренно опасной техногенной нагрузке и выше, что может объясняться развитой инфраструктурой и большим количеством неконтролируемых источников загрязнения. Содержание Cd, As, Cu, Cr и Ni соответствует опасной техногенной нагрузке выше г. Ногинска, однако на всем остальном участке их концентрации существенно ниже и не превышает умеренно опасную нагрузку. Выше и ниже гг. Ногинска, Павлова посада, Орехово-Зуево и Владимира содержание ТМ в ДО р. Клязьма практически неизменно, что в свою очередь свидетельствует об отсутствии техногенной нагрузки со стороны упомянутых городов.

Высокий (чрезмерный) уровень на некоторых участках, в частности, в пос. Свердловском и дер. Осеево, определяется гидрологией потока, морфологией русла и местными условиями осадконакопления, когда достаточно густая растительность, являющаяся замедлителем потока, определяет отложение тонкой фракции – активного сорбента ТМ.

На участке от г. Владимира до устья содержание исследуемых элементов, за исключением Fe и Mn, не превышает незагрязненного класса – при этом даже содержание упомянутых элементов не превышает умеренно опасную техногенную нагрузку, что в свою очередь говорит о вполне приемлемом состоянии данного участка реки относительно загрязнения ТМ.

Суммарный показатель токсического загрязнения подтверждает вывод об опасном загрязнении на участке Щёлково–Лосино-Петровский, которое остаётся стабильным с 2003 г. Вместе с тем ниже по течению отмечено некоторое улучшение СПТЗ по сравнению с тем же годом, что в свою очередь может свидетельствовать о снижении техногенной нагрузки.

Литература

1. Большаков В.А. Методические рекомендации по оценке загрязнения городских почв и снежного покрова тяжёлыми металлами. М.: ВНИИП им. Докучаева. 1999. 32 с.

2. Коломийцев Н.В., Ильина Т.А. Интегральные критерии для оценки экологического состояния донных отложений водных объектов // *Мелиорация и водное хозяйство*. 2009. № 5. С. 39–42.
3. Коломийцев Н.В., Корженевский Б.И., Ильина Т.А., Гетьман Е.Н. Оценка техногенной нагрузки на водные объекты по загрязненности донных отложений // *Мелиорация и водное хозяйство*. 2015. № 6. С. 15–19.
4. Кочарян А.Г., Толкачёв Г.Ю., Коломийцев Н.В. Содержание тяжёлых металлов в донных отложениях Верхней Волги от истока до входного створа Ивановского водохранилища // *Мелиорация и водное хозяйство*, №5. 2006. Стр. 25–27.
5. Моделирование эрозионных процессов на территории малого водосборного бассейна / Под ред. А.С. Керженцева, Р. Майснера. М.: Наука. 2006. 223 с.
6. Техногенное загрязнение речных экосистем / В.Н. Новосельцев и др.; под ред. В.Е. Райнина, Г.Н. Виноградовой. М.: Научный мир. 2002. 140 с.
7. Яшин В.М., Пыленок П.И. Мониторинг загрязнения пойменных агроландшафтов в среднем течении р. Оки при паводках // *Вопросы мелиорации*. 2001. № 5–6. С. 55–63.
8. Mueller G. Schwermetalle in den Sedimenten des Rheins - Veraenderungen seit 1971 // *Umschau* 79. 1979. H.24. S. 778–783.

ТЯЖЕЛЫЕ МЕТАЛЛЫ В ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЯХ И ВОДНОЙ РАСТИТЕЛЬНОСТИ ИВАНЬКОВСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА

Г.Ю. Толкачев, Б.И. Корженевский

Институт геоэкологии им. Е.М. Сергеева РАН; 101000, г. Москва, Уланский пер., д. 13, с. 2, а/я 145
E-mail: k-26@yandex.ru; 542609@list.ru

Общие положения

В водной среде загрязняющие вещества концентрируются в основном в составе донных отложений (ДО), влияя непосредственно и опосредовано на качество воды. ДО водных объектов можно считать конечным звеном круговорота техногенных элементов в ландшафте: вследствие своих высоких сорбционных свойств тонкие фракции сорбируют достаточно широкий комплекс загрязнителей. Изучение загрязнения ДО водных объектов химическими элементами продолжает оставаться одной из важных проблем геоэкологии и охраны окружающей среды. В настоящее время состояние водных объектов, в значительной степени, определяется техногенными факторами, наиболее опасными загрязняющими веществами являются тяжелые металлы (ТМ): Hg, Cd, Zn, Pb, Cu, Cr, Co, Ni, Fe, Mn и As. Наряду с ДО, водные и прибрежно-водные растения являются важнейшим компонентом водных биоценозов: они оказывают значимое средообразующее влияние, изменяя газовый режим и активную реакцию воды, принимая участие в процессах перераспределения веществ между донными отложениями и водой [3]. Растения, располагающиеся на границе водоемов или в прибрежной зоне, имеющие постоянный контакт с водой и развитую корневую систему, имеют возможность поглощать тяжелые металлы как из почвы, так и из водной среды. Кроме того, прибрежная растительность, находясь в более комфортных условиях, способна образовывать достаточно плотные заросли, превращающиеся в своеобразный накопитель веществ, которые переносятся в форме различных потоков с поверхности суши в водоем либо (в период сезонных паводков) из воды на сушу. Растения, формирующие прибрежный буфер, потенциально могут находиться в условиях наиболее длительного их воздействия. В связи с этим важным является изучение степени накопления ТМ прибрежно-водной растительностью и выявление ее видов, способных к высокой аккумуляции этих элементов [6].

Методы и объекты исследования

Иваньковское водохранилище – один из главных источников водоснабжения г. Москвы, поэтому проблема его загрязнения в связи с возрастающей антропогенной нагрузкой на его водосборную площадь продолжает оставаться актуальной. В работе приведена оценка загрязнения ДО и водной растительности (камыш озерный) ряда районов водохранилища следующими ТМ и микроэлементами: Cd, Cu, Pb, Zn, Cr, Ni, Co, As, а также Fe и Mn.

Тонкие фракции ДО (<20 мкм) способны удовлетворять требованиям оценки содержания в них ТМ, предпочтение следует отдавать быстрому, простому и экономичному отделению и анализу [4]. Эта фракция довольно близко соответствует взвешенному веществу в толще водного объекта [8]. Аккумуляцию ТМ донными отложениями рекомендуется оценивать с помощью «индекса геоаккумуляции» [7], который характеризует относительную кратность загрязнения донных отложений (относительно природного фона) во фракциях грунта <20 мкм, по следующей формуле:

$$I\text{-geo, } n = \log_2 (C_n/1,5B_n) \quad (1)$$

где C_n – измеренная концентрация элемента n в донных отложениях (фракция менее 20 мкм); B_n – геохимическая фоновая концентрация элемента n по [1] или по [9].

На основании этого уравнения ДО подразделяются на классы качества (игео-классы) по каждому ТМ и As. Выражение $C_n/1,5B_n$ по сути дела представляет собой коэффициент накопления, где фо-

новое значение дается с определенным запасом, и каждому игео-классу присвоен уровень загрязнения и техногенной нагрузки [5, 7].

Кроме загрязнения ДО, было изучено содержание ТМ в прибрежной водной растительности водохранилища. Был выбран камыш озерный (лат. *Scirpus lacustris*), вид травянистых растений семейства Осоковые (*Cyperaceae*) [2], один из наиболее массовых представителей прибрежной высшей водной растительности Иваньковского водохранилища. Отобранный камыш (растение целиком включая корни) высушивался воздушным путем при комнатной температуре до воздушно-сухого состояния. Высушенные растения разделялись на три части: корни, стебель, листовые пластинки в свободном расположении. Каждая часть растения измельчалась для удобства размещения в тиглях и взвешивалась. Предварительное сжигание производилось в плоских тиглях из кварцевого стекла на песчаной бане под воздушной вытяжкой, до прекращения выделения дыма. Затем полученный материал переносился в небольшие плоские тигли диаметром 60 мм и для дальнейшей подготовки помещался в муфельную печь. При температуре, равной 550 градусов, образцы, согласно рекомендациям, сжигаются три часа. Полученный материал взвешивается и далее, после остывания, готов для последующих действий. Из полученных после сжигания образцов растений материалов, с помощью пресса, формируются таблетки для анализа на пламенном атомно-адсорбционном спектрометре PERKIN ELMER 4100. В рабочей емкости из порошка борной кислоты при давлении 4 атм. Формируется подложка (гильза) таблетки, которая заполняется полученным при сжигании материалом, при уплотнении прессом до 7 атм. После перечисленной совокупности действий таблетка готова к анализу.

На рисунке 1 указаны районы Иваньковского водохранилища, в которых отбирались образцы иловатых отложений и растительности в непосредственной близости друг от друга. Также отражена общая картина загрязнения ТМ отложений водохранилища, для чего указаны уровни игео-классов основных загрязнителей (Zn, As, Pb, Cr) в наиболее характерных районах. На рисунке 1.1 приводятся условные обозначения уровней загрязнения по игео-классам в соответствии с классификацией [7].

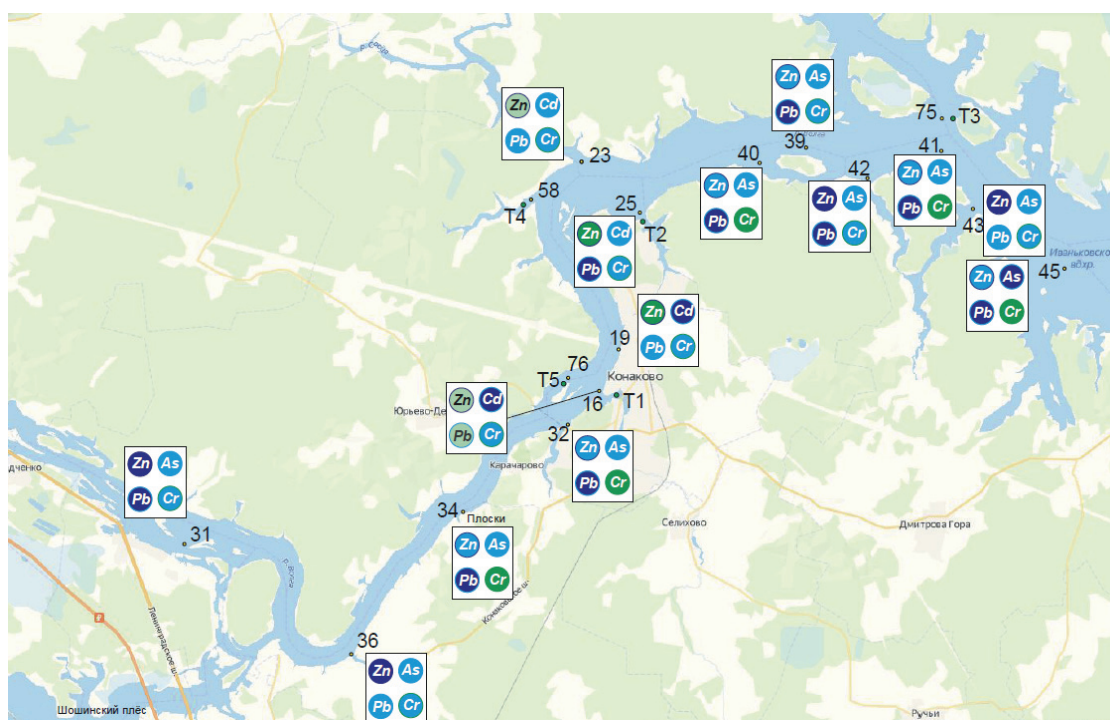


Рис. 1. Районы отбора образцов ДО и растительности (индекс «Т») Иваньковского водохранилища

Обсуждение результатов

На значительной части акватории Иваньковского водохранилища – от входного створа до г. Конаково и от Мошковского залива до канала им. Москвы, содержание большей части приведенных на рисунке 1 элементов в ДО соответствует уровню от «незагрязненного» до «незагрязненного до умеренно загрязненного», т.е. не представляет опасности вторичного загрязнения. Исключение со-

Уровень загрязнения донных отложений химическими элементами по Игео-классам (Мюллер, 1979)

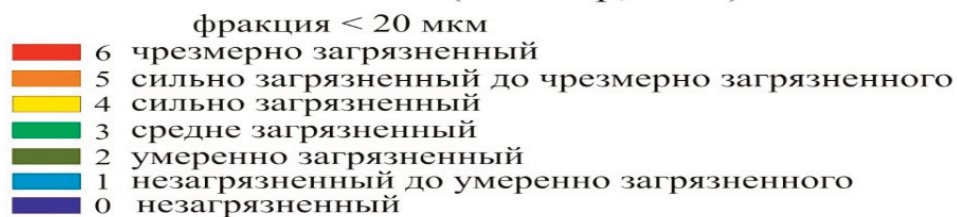


Рис. 1.1. Условные обозначения уровней загрязнения ДО

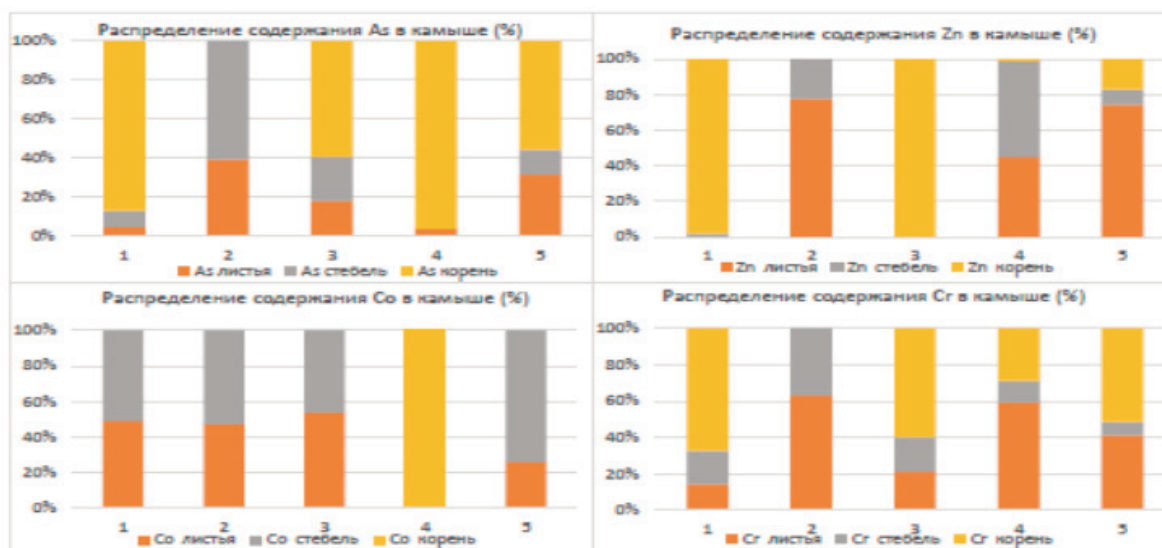


Рис. 2. Распределение содержания ТМ в корнях, стеблях и листьях камышей изучаемых районов (%)

ставляют только Cr и Zn в ряде районов. Содержание Cr соответствует «средне загрязненному» уровню в устье р. Сучок (32) и на фарватере водохранилища в районах: д. Плоски (34), о. Грабилровка (40), о. Уходово (41), в приплотинном плесе (45). Содержание Zn соответствует «умеренно загрязненному» уровню в районе г. Конаково напротив устья р. Донховка (16) и в устье р. Сози (23); в районе фарватера напротив г. Конаково (19) и в устье Мошковского залива (25) содержание Zn соответствует «средне загрязненному» уровню игео-класса. Также следует отметить «умеренно загрязненный» уровень Pb в г. Конаково в районе, расположенном напротив р. Донховка и моторно-лодочной станции. Содержание практически всех ТМ в изученных ДО соответствует уровням от «фоновому» до «незагрязненного». Исключение составляют Co и Zn. Содержание Co в районе Б. Сухаринского острова напротив г. Конаково (точка 76) соответствует 2-му игео-классу – «умеренно загрязненному» уровню, что отчасти может объясняться антропогенной рекреационной нагрузкой. Содержание Zn в ДО в районе моторно-лодочной станции (точка 5), а также Мошковского залива (точка 25), соответствует 2-му классу – «умеренно загрязненному» уровню. В ДО р. Бабня содержание Zn соответствует 3-му классу – «средне загрязненному» уровню. Такие уровни содержания могут быть объяснены активным использованием водного транспорта, при этом они не представляют существенной опасности вторичного загрязнения.

Наибольшее количество ТМ, в особенности Fe, находится в корневой системе растений. Это свидетельствует о том, что корневая система является аккумулялирующей средой, поглощающей ТМ из ДО, при этом часть ТМ транзитом попадают в стебель, и далее в листья. На рисунке 2 представлено соотношение содержаний наиболее опасных загрязнителей – As, Zn, Co, Cr – в перечисленных компонентах камыша. Поскольку корневая система камыша отличается мощной и разветвленной структурой, то её можно рассматривать как компонент ДО, который после отмирания остается в отложениях с аккумулярованными в нем запасами загрязняющих веществ.

Значительная часть As во всех образцах находится в корнях, содержание Zn и Cr в корнях преобладают только в районе причала лодочной станции (точка T1) и в Омутнинском заливе (точка T3). В районах причала на р. Бабня (Бабенский залив, точка T4) и Мошковского залива (точка T2), а также о-ва Б. Сухаринский (точка T5) Zn и Cr накапливаются в основном в листьях, что может быть связано с активным использованием водного транспорта. Содержание Co сосредоточено в корневой системе камыша в Бабенском заливе, в остальных районах соотношение распределено между стеблями и листьями приблизительно в равной пропорции.

Для изученных районов было рассчитано отношение содержания ряда наиболее характерных элементов – Cr, Zn, As, Fe – в ДО к их содержанию в корневой системе камыша, результат расчета представлен на рисунке 3.

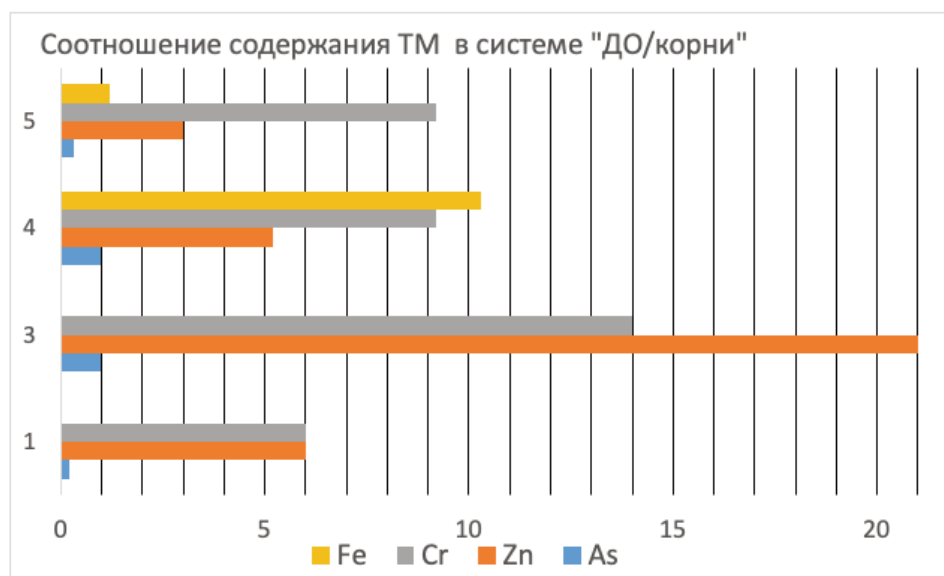


Рис. 3. Соотношения содержания ряда элементов между донными отложениями и корневой системой камыша изученных районов

Содержание As в корнях либо равно (заливы Омутнинский и Бабенский), либо существенно превышает (лодочная станция и о. Б. Сухаринский) его содержание в ДО. В свою очередь, в растительности As содержится в основном в корневой системе – что свидетельствует о том, что корневая система камыша является аккумулярующей средой As. Содержание Zn в ДО существенно превышает его содержание в корнях растительности (от 3-6 до 21 раз в Омутнинском заливе) – это означает, что прибрежная растительность не является аккумулятором содержания Zn из ДО. В то же время в Бабенском заливе и на о. Б. Сухаринский содержание Zn сосредоточено в основном в стеблях и листьях камыша – на этих участках корневая система является транзитной средой Zn из ДО к листьям. Содержание Cr, как и содержание Zn, в ДО значительно превышает его содержание в корневой системе (от 6 до 14 раз). При этом практически во всех районах исследований оно сосредоточено именно в корневой системе, что в свою очередь свидетельствует о слабом поступлении Cr из ДО в растительность. Также и содержание Fe в ДО, соответствуя незагрязненным уровням и гео-классов на о. Б. Сухаринский равно содержанию в корнях, а в Бабенском заливе превышает в 10 раз его же содержание в корнях камыша. Принимая во внимание, что в корнях содержится основная масса Fe, можно сделать вывод об его умеренной аккумуляции корневой системой из ДО. Представляется возможным сделать вывод о том, что прибрежная водная растительность аккумулирует незначительную часть ТМ из ДО, исключение составляет только поглощаемый корнями As. При этом водная растительность расположена в прибрежной зоне, в локальных районах, и не может существенно влиять на перемещение взвешенного вещества в водохранилище и на процесс осадконакопления. Существенное влияние на осадконакопление растительность оказывает только в районах своего непосредственного произрастания. Вместе с тем показатели содержания ТМ в ДО и прибрежной растительности является индикатором состояния загрязнения водного объекта и потенциального загрязнения его биологических компонентов.

Выводы

На значительной части акватории Иваньковского водохранилища содержание большей части ТМ в ДО соответствует уровню от «незагрязненного» до «незагрязненного до умеренно загрязненного», т.е. не представляет опасности вторичного загрязнения. Водная растительность, расположенная в прибрежной зоне, является локальным фактором осадконакопления тонких фракций. Она не может существенно влиять на перемещение взвешенного вещества и на процесс осадконакопления в масштабах водохранилища. Показатели содержания ТМ в ДО и прибрежной растительности является индикатором состояния загрязнения водного объекта и потенциального загрязнения его биологических компонентов.

Основная часть тяжелых металлов аккумулируется в корневой системе водной растительности, что в совокупности с мощной и разветвленной структурой позволяет считать корневую систему камыша значимой аккумулирующей средой. Таким образом, попадание в корневую систему ТМ выводит их из оборота системы «вода-дно».

Содержание большинства ТМ в корневой системе значительно уступает их содержанию в ДО, исключение составляет только поглощаемый корнями As. Это свидетельствует о том, что водная растительность не может существенно влиять на загрязнение ТМ отложений водохранилища. В комплексе с ДО, водная растительность является сорбентом ТМ и As, удаляя их из водной толщи.

Литература

1. Виноградов А.П. *Геохимия редких и рассеянных элементов в почвах*. М.: Изд-во АН СССР, 1957. 235 с.
2. Губанов И.А. 298. *Scirpus lacustris L. [Schoenoplectus lacustris (L.) Palla] — Камыш озёрный // Иллюстрированный определитель растений Средней России: в 3 т. / И. А. Губанов, К. В. Киселёва, В. С. Новиков, В. Н. Тихомиров. М.: Товарищество науч. изд. КМК: Ин-т технол. исслед. 2002. Т. 1: Папоротники, хвои, плауны, голосеменные, покрытосеменные (однодольные). С. 402. 527 с. 5000 экз. ISBN 5-87317-091-6.*
3. Дерхо М.А., Чернышова Л.В., Макарова Т.Н., Улитина О.С., Бурьлов С.Н. *Особенности эколого-санитарного состояния рыбохозяйственных водоемов в условиях лесостепной зоны Челябинской области. АПК России. 2022. Т. 29. № 2. С. 192-199.*
4. Колодийцев Н.В., Толкачев Г.Ю., Корженевский Б.И., Ильина Т.А. *Закономерности загрязнения донных отложений водных объектов тяжелыми металлами. Москва: Изд-во ВНИИГиМ. 2023. 180 с.*
5. *Моделирование эрозионных процессов на территории малого водосборного бассейна / Под ред. А.С. Керженцева, Р. Майснера. М.: Наука, 2006. 223 с. ISBN 5-02-034205-X*
6. Мурашко Ю.А., Кравченко И.В. *Содержания тяжелых металлов в осоке водяной (Carex aquatilis wahlenb.) прибрежно-водных биоценозов природного парка «Нумто». Вестник КрасГАУ. 2017. № 8 (131). С. 104-110.*
7. Mueller G. *Schwermetalle in den Sedimenten des Rheins – Veraenderungen seit 1971 // Umschau 79. 1979. H.24. S. 778–783.*
8. Mueller G., Ottenstein R., Yahya A. *Standardized particle size for monitoring, inventory, and assessment of metals and other trace elements in sediments: <20 µM or <2 µM? // Fresenius' Journal of Analytical Chemistry. 2001. V. 371. No. 5. P. 637-642.*
9. Turekian K.K., Wedepohl K.H. *Distribution of the Elements in Some Major Units of the Earth's Crust // Geological Society of America, Bulletin. 1961. Vol. 72. P. 175–192.*

4. РАЦИОНАЛЬНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ РЕСУРСОВ И УПРАВЛЕНИЕ ОТХОДАМИ

ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ИЗУЧЕНИЯ ЗОЛ И ШЛАКОВ С ЦЕЛЬЮ ИХ ВТОРИЧНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ (НА ПРИМЕРЕ ЗОЛ ГИДРОУДАЛЕНИЯ КАШИРСКОЙ ГРЭС)

Н.В. Абакумова¹, Т.А. Барабошкина, С.К. Николаева

МГУ имени М.В. Ломоносова, 119234, Москва, ул. Ленинские горы, д. 1.

¹E-mail: abakumova.nv@mail.ru

Теплоэлектростанции, где сжигалось твердое топливо, долгое время оставались основным источником энергии. И до сих пор на территории РФ таких станций насчитывается свыше 300, отходы от сжигания топлива в виде зол и золошлаков составляют 1,3-1,5 млрд тонн, под их хранение отчуждено более 28 тыс. га земель [8].

Уже в течение трех десятилетий в России наблюдается тенденция к уменьшению использования твердого топлива в пользу более экологичных источников тепла и электроэнергии, относительно этого возрастает доля утилизации золошлаковых отходов (ЗШО) (рис. 1). В 2010 г. она не превышала 10%, но к 2020 г. достигла 19% [3]. В США используется 20% отходов, в Великобритании – 60%, в ФРГ – 72%, в Финляндии – 84% [5].

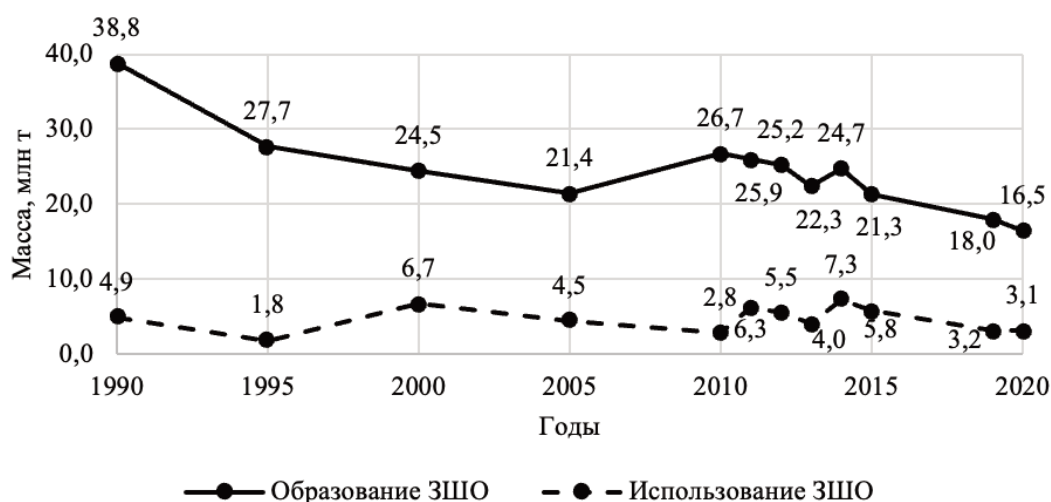


Рис. 1. Динамика образования и использования золошлаков в период с 1990 по 2020 гг. (по данным [3] и [4])

Отвалы золы и шлака являются хранилищем в разной степени химически активных и токсичных веществ, которые определяют состав техногенных водоносных горизонтов, формирующихся в массиве золоотвала. Не рекультивированные отвалы подвержены пылению и размыванию поверхностными водами. Всё это может приводить к выносу тяжелых металлов и радиоактивных элементов на прилегающие территории, загрязнять поверхностные и подземные воды, поэтому отвалы представляют опасность для человека и биоты.

По этим причинам уменьшение и нейтрализация вредного воздействия золоотвалов на окружающую природную среду путем разработки эффективных методов утилизации зол составляет

одну из актуальнейших и важнейших геоэкологических задач [6]. На сегодняшний день можно выделить три пути дальнейшего существования отходов теплоэнергетики.

Во-первых, в связи с совершенствованием технологий техногенные грунты становятся всё более перспективными в качестве сырья для доизвлечения. Например, получила распространение практика применения золошлаковых отходов в металлургической промышленности для производства алюминия, выделения редких земель и добычи галлия как ценного сырьевого компонента [4]. Но следует иметь в виду, что отходы после доизвлечения всё равно останутся, и им снова придется искать потребителя или территории для складирования.

Во-вторых, на активно застраиваемых территориях массивы золоотвалов вовлекаются в строительную деятельность, становятся средой для размещения и даже основанием небольших сооружений (фонарей, киосков, остановок, тротуаров). При этом высокое содержание пылеватых фракций, слабая уплотняемость, склонность зол к разжижению при динамических нагрузках ограничивают возможности их использования.

В качестве оснований ответственных сооружений массивы, сложенные золами гидроудаления, еще более непригодны. По результатам геотехнических расчетов на участке в г. Москве при мощности толщи золошлаков 5 м осадка в массиве в 2 раза превысила осадку, полученную при использовании в качестве модельного грунта природных элювиальных песков (наиболее подходящих по пористости в естественном залегании). Это в очередной раз подчеркивает резкое отличие поведения массивов зол гидроудаления от природных массивов и невозможность использования нормативных значений физико-механических характеристик даже при предварительных расчетах.

Проблема размещения крупных строений на золоотвалах решается применением свайных фундаментов. В г. Москве существует множество примеров капитального строительства на территориях бывших золоотвалов [1]. Для оставшихся в массиве зол важно изучать их динамическую устойчивость, искать способы снизить осадку (закреплять методами технической мелиорации грунтов), производить оценку радиоактивности массива, чтобы избежать скопления радона в подземных частях строений в связи с высокой радиоактивностью некоторых типов зол (в зависимости от исходного сырья).

В-третьих, золы гидроудаления широко используются в различных сферах хозяйственной деятельности: от сельскохозяйственной до строительной. Основное направление переработки заключается в применении золошлаков для изготовления строительных материалов: цемента, бетона, растворов, строительных блоков для дорожного и ландшафтного строительства. Активные золы (с высоким содержанием СаО) могут использоваться как самостоятельное вяжущее или в качестве активной добавки к другим типам вяжущих. Кроме этого, золы используются для упрочнения слабых грунтов, рекультивации отработанных горных выработок, осушения болот, засыпки оврагов, а высококальциевая зола применяется для раскисления почв сельхозугодий [4].

Использование золы в составе материалов строительных конструкций ограничено и требует контроля за их токсичностью и радиоактивностью, опасными для пребывания человека в производственных помещениях.

Дорожное строительство позволяет утилизировать наибольшие объемы золы и шлаков теплоэнергетики при использовании их в земляном полотне, однако повышенное содержание тяжелых металлов и ряд других причин зачастую не позволяют это сделать. В дорожном строительстве, в том числе и при создании насыпей, часто используют смеси золы с песком, возможно использование еще и с цементом. В таких случаях необходимы предварительные исследования и прогнозные оценки размываемости полученных смесей и развития эрозионных процессов, возможности миграции тяжелых металлов в грунты основания, подземные воды и т.д.

Одной из старейших и крупных теплоэлектростанций Московского региона является Каширская ГРЭС, где накоплены существенные объемы золы и шлаков; со временем они всё активнее используются в строительной практике.

Каширская государственная районная электростанция (ГРЭС) имени Г.М. Кржижановского была построена по плану ГОЭЛРО и введена в эксплуатацию летом 1922 г. Электростанция находится в г. Кашира (Московская обл.) на берегу р. Оки.

С момента введения в эксплуатацию энергия получалась путем сжигания твердого топлива и природного газа. В качестве твердого топлива в период с конца 1930-х по 2000 гг. использовался бурый уголь, который поставлялся с шахты № 1 посёлка Горняцкий (Тульская обл.) Подмосковного угольного бассейна. В 1960-е годы была проведена крупномасштабная реконструкция с заменой

основного оборудования, в связи с чем произведен и частичный переход на газомазутное топливо. Точных сведений об используемом на данный момент угле не имеется.

На территории Каширской ГРЭС расположено шесть золоотвалов. В данной работе исследованы грунты, отобранные на золоотвале № 4 до глубины 11-15 м и представленные преимущественно серыми и темно-серыми пылеватыми и дресвяными золошлаками.

Изучение состава, строения и свойств образцов золы гидроудаления на примере Каширской ГРЭС показало, что они состоят в основном из аморфного вещества, гидросиликатов кальция и кальциевых железистых оксидов, встречаются муллит, гематит, кальцит. Потери при прокаливании 15-20%. Судя по составу, золы неактивны. Преобладают сферические частицы размерами до 20 мкм, полые или заполненные сферами меньшего диаметра (от долей до 1-3 мкм). Также могут содержаться частицы несгоревшего угля, зерна кварца, остатки травянистых растений, занесенных ветром. Количество органического углерода около 3%. По данным макрокомпонентного анализа водной вытяжки в золах гидроудаления повышено содержание анионов HCO_3^- и Cl^- , катионов Ca^{2+} , Mg^{2+} ; рН составляет 8-10.

По гранулометрическому составу золы похожи, неоднородны и состоят из смеси пылеватых и песчаных фракций в разном их соотношении, по ГОСТ 25100-2020 они соответствуют пылеватым пескам; по соотношению пылеватых и песчаных частиц преобладают золы пылеватые.

Особенностью зол гидроудаления являются низкие значения показателей плотностных свойств: плотность частиц 2,2-2,3 г/см³, в плотном сложении 0,9-1,2 г/см³. Это связано с тем, что они содержат полые сферы и достаточно много органического вещества. Коэффициент фильтрации в среднем 0,1 м/сут. Неактивные золы гидроудаления легко размокают и размываются, имеют способность к разжижению, сильно сжимаемы и обладают средней прочностью при срезе.

Низкая водопрочность химически неактивных зол, характерных для территории Московской агломерации, и достаточная водопроницаемость создают опасность выноса загрязняющих щелочных, радиоактивных компонентов, тяжелых металлов и др.

Химический анализ твердого вещества обнаружил в количествах, превышающих предельно допустимые концентрации (ПДК) по СанПиН 1.2.3685-21, наличие следующих элементов: Pb (33-58 ppm), As (11-27 ppm), Zn (40-77 ppm), Ni (30-75 ppm), Cu (52-87 ppm), Mn (770-1333 ppm), V (84-112 ppm). Были определены и другие химические элементы, которые указаны в табл. 1, для многих из них вообще не существует установленной ПДК. В таблице жирным отмечены значения содержания тяжелых металлов, превышающие ПДК.

<i>Таблица 1</i>					
Содержание тяжелых металлов по валу (мг/кг) в образцах зол Каширской ГРЭС					
Металл	Глубина отбора пробы, м			Кларк в ЗК по А.П. Виноградову [2], мг/кг	ПДК (ОДК), мг/кг почва*
	3,0-3,5	6,0-6,5	9,0-9,5		
Мышьяк	11	22	27	1,7	2
Свинец	41	33	58	16	32
Цинк	68	40	77	83	55
Никель	30	75	46	58	20
Медь	52	87	77	47	33
Хром	106	114	110	83	-
Марганец	1122	1333	770	1000	1000
Ванадий	112	97	84	90	100
Барий	342	818	577	650	-
Ниобий	27	21	22	20	-
Цирконий	328	275	276	170	-
Стронций	347	433	483	340	-
Рубидий	76	93	94	150	-

Примечания: * - СанПиН 1.2.3685-21, табл. 4.1

Содержание подвижных форм, определенное в водных и буферных вытяжках образцов с помощью атомно-абсорбционного спектрометра марки «Квант Z», также превышает ПДК для ряда компонентов: Pb, Zn, Ni, Cu. Причем наибольшее количество тяжелых металлов содержится в водорастворимых соединениях (табл. 2). Наименьшее количество – в обменном комплексе (рН 7) и органическом веществе (рН 2). Последовательная экстракция тяжелых металлов из грунтов проводилась по методике А. Тесье [9].

<i>Таблица 2</i>						
Содержание подвижных форм тяжелых металлов (мг/кг) в вытяжках зол Каширской ГРЭС						
Металл	Водная вытяжка	Буферные вытяжки				ПДК, мг/кг для подвижных форм*
		рН 7	рН 5	рН 3	Аммонийно-ацетатная	
Мышьяк	0,28-0,71	0,00-0,08	0,00-0,60	0,00-0,56	-	-
Свинец	43-56	-	-	43-51	-	6
Цинк	16-35	-	-	22-41	-	23
Никель	31-41	-	0-13	0-9	-	4
Медь	61-79	-	0-4	-	-	3
Хром	0,8-1,3	-	-	2,3-3,7	-	6
Марганец	12-18	-	-	-	-	-
Железо	43-60	-	-	-	-	-
Кобальт	0,1-0,2	-	1,4-1,8	0,4-0,9	-	5
Кадмий	0,15-0,70	0,00-0,07	-	0,00-1,06	0,00-0,93	-

Примечания: * - СанПиН 1.2.3685-21, табл. 4.1

Охарактеризованные выше золошлаки гидроудаления Каширской ГРЭС были использованы, в частности, при сооружении транспортной развязки в Подмоскowie. Надземный путепровод оснащен шестиполосным дорожным полотном, рассчитанным на движение по трем полосам в каждом направлении. Его длина составляет 105,7 м, максимальная высота достигает 14 м. Общая протяженность сооружения приближается к 3 км.

Транспортная развязка активно эксплуатируется в течение 9 лет и дает возможность выявить и оценить геоэкологические последствия использования зол и шлаков в ее конструкции. С этой целью планируются исследования образцов золы методом фитотестирования, определение содержания тяжелых металлов в растительности на прилегающих к построенной развязке территориях и др.

Полагаем, что, если предварительно детально исследовать накопленные в отвалах золошлаковые отходы, разработать рекомендации по их использованию в составе строительных насыпей и конструкций, принять все необходимые меры по защите созданных материалов и земляных сооружений от нежелательных миграционных и геодинамических процессов, негативные последствия использования золы гидроудаления можно свести к минимуму.

Согласно проведенному анализу авторских и опубликованных данных можно сделать вывод, что достижение экологического благополучия и минимизация накопленного экологического следа [7] рационально проводить на базе системного подхода к анализу состава и свойств ресурсов, сконцентрированных в золошлаковых массивах региона.

Доизучение и формирование информационной базы по строению и свойствам техногенных массивов позволит составить региональную модель-реестр геосистем и рекомендовать предварительный вектор их использования в сферах экономической деятельности. Например, как в составе строительных насыпей и конструкций для технологических площадок (при минимизации миграционных и геодинамических процессов), в том числе и для создания вышеописанных дорожных развязок, либо складских помещений, размещения ветровых или солнечных установок для генерации альтернативных источников энергии и др.

Работа выполнена по госзаданию с использованием оборудования, приобретенного в рамках реализации Программы развития Московского университета.

Литература

1. Абакумова Н.В. Типизация насыпных грунтов Московской агломерации // *Инженерная геология*. – 2022. – Т. 17, № 2. – С. 1-26.
2. Алексеев В.А. *Экологическая геохимия: Учебник*. – М.: Логос, 2000. – 627 с.
3. *Информационно-технический справочник по наилучшим доступным технологиям «Сжигание топлива на крупных установках в целях производства энергии»*, ИТС-38-2022. М.: Бюро НДТ, 2022. 318 с.
4. *Информационно-технический справочник по наилучшим доступным технологиям «Утилизация и обезвреживание отходов (кроме термических способов)»*, ИТС-15-2021. М.: Бюро НДТ, 2021. 222 с.
5. Огородникова, Е. Н. Вторичные ресурсы для дорожной индустрии – золы теплоэлектростанций и шлаки черной металлургии / Е. Н. Огородникова, Т. А. Барабошкина, В. А. Мылрин В.А. – Москва: Изд-во РУДН, 2013. – 244 с.
6. Трофимов В.Т., Барабошкина Т.А., Николаева С.К. Ресурсный потенциал эколого-геологических систем массивов намывных грунтов // *Вестник Московского университета. Серия 4: Геология*. – 2024. – Т. 63, № 5. – С. 164-174.
7. Указ: «О национальных целях развития Российской Федерации на период до 2030 года и на перспективу до 2036 года». [Электронный ресурс]. <http://www.kremlin.ru/acts/news/73986?erid=2SDnjc45hpG>. (дата обращения 15.12.2025) М.: 2024
8. Шубов Л.Я., Скобелев Д.О., Загорская Д.А. Вторичные ресурсы, образующиеся в сфере теплоэнергетики // *Энциклопедия технологий. Эволюция и сравнительный анализ ресурсной эффективности промышленных технологий*. ФГАУ «НИИ «ЦЭПП». М.; СПб.: «Реноме», 2019. С. 649-670.
9. Tessier A., Campbell P. G. C., Bisson M. *Sequential extraction procedure for the speciation of particulate trace metals* // *Analytical Chemistry*. 1979. v. 51. No. 7. pp. 844 – 851.

ОЦЕНКА ЗАЩИТНЫХ СВОЙСТВ ДЕЛЮВИАЛЬНЫХ ГЛИНИСТЫХ ГРУНТОВ – ОСНОВАНИЯ НЕСАНКЦИОНИРОВАННОЙ СВАЛКИ В ГОРОДЕ ТАГАНРОГЕ

В.А. Анохина¹, В.В. Фуникова²

¹ Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова, 119234, г. Москва,
ГСП 1, Ленинские горы, Геологический факультет МГУ
E-mail: 7Vera702@mail.ru

² Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова, 119234, г. Москва, ГСП 1, Ленинские
горы, Геологический факультет МГУ
E-mail: funikovavv@my.msu.ru

В последние десятилетия во всем мире отмечается резкий рост техногенного воздействия на природную среду, в том числе и в связи с формированием объектов, образующихся в результате хозяйственной деятельности человека – полигонов твердых коммунальных и бытовых отходов, несанкционированных свалок и т.д. [1-4]. По данным Росприроднадзора в РФ, где население составляет около 150 млн человек, ежегодно образуется более 65 млн тонн ТКО, утилизация которых является одной из первоочередных задач экологического благополучия [3].

Проблема несанкционированных свалок является одной из актуальных. За период с 2020 по 2024 год общее их количество на территории России по данным Росприроднадзора было максимальным в 2021 году – 15392 шт., минимальным в 2024 году – 8698 шт. Таким образом, отмечается некоторая положительная динамика сокращения территорий, занятых несанкционированными свалками. Однако эффективность работы по их ликвидации различается по регионам (табл. 1). В Липецкой области ситуация наиболее благоприятная – в 16 раз уменьшилось количество свалок, в Республике Башкортостан, Ленинградской, Челябинской областях, Москве и др. – в 9 раз. Однако отмечается и отрицательная динамика сокращения свалок - в Республике Бурятия, Дагестан, Калужской, Новосибирской, Московской областях и др.

Техногенные изменения геологической среды, загрязненной объектами ТКО и несанкционированных свалок носят длительный, интенсивный и непрерывно возрастающий характер, представляя существенную опасность урбанизированным территориям и объектам жизнедеятельности населения [5]. После рекультивационных мероприятий территории полигонов ТКО используют в качестве различных инфраструктурных объектов, в том числе в виде парков, зон отдыха, спортивных площадок и др.

Один из таких полигонов, история которого насчитывает более 50 лет, 15 из которых пришлось на долгие годы принятия решений по его рекультивации, находится в г. Таганроге Ростовской области. С 2008 года было принято решение о закрытии полигона в связи с его рекультивацией. Однако несанкционированное складирование отходов ТКО продолжалось, в связи с чем к 2021 году его площадь существенно увеличилась с 27 до 40 Га за счет образования несанкционированных дополнительных свалочных очагов уже вблизи жилых строений и промышленных зон.

В связи с увеличением свалочных масс возникла необходимость в проведении дополнительных исследований, изысканий и получении новых государственных и экологических экспертных заключений на рекультивацию. Стихийные свалки увеличивают риск возникновения неблагоприятных экологических ситуаций не только в атмосфере (в том числе и в результате выделения продуктов горения), но и в литосфере с точки зрения загрязнения грунтов и образования фильтрата.

Целью данной работы является характеристика свойств делювиальных глинистых грунтов – основания несанкционированной свалки для оценки защитных свойств.

Объектом исследования являлись делювиальные глинистые грунты, являющиеся основанием размещения ТКО в г. Таганроге, в том числе и на территории несанкционированных свалок. Техногенные грунты в данной работе не исследовались. Был проведен комплекс экспериментальных исследований по определению состава, строения и свойств делювиальных грунтов по стандартным методикам (в том числе и по определению содержания ионов цинка и органического вещества).

Таблица 1

Количество несанкционированных свалок на территории России (по данным Росприроднадзора*)

* <https://rpn.gov.ru/open-service/analytic-data/statistic-reports/unauthorized-landfill/>

Наименование федерального округа	Наименование субъекта Российской Федерации	Количество несанкционированных свалок отходов на территории субъекта Российской Федерации по состоянию на конец отчетного периода., штук (Ксти)				
		2020	2021	2022	2023	2024
Дальневосточный федеральный округ	Камчатский край	284	339	406	280	182
	Республика Бурятия	730	906	849	853	857
Приволжский федеральный округ	Нижегородская область	455	450	220	100	272
	Пермский край	491	671	256	128	64
	Республика Башкортостан	2167	1822	901	418	235
	Оренбургская область	759	778	787	689	607
Северо-Западный федеральный округ	Ленинградская область	828	405	240	109	90
	Республика Коми	416	470	540	260	265
Северо-Кавказский федеральный округ	Республика Дагестан	62	98	112	83	101
Сибирский федеральный округ	Новосибирская область	183	233	273	306	247
	Красноярский край	364	362	399	381	341
Уральский федеральный округ	Свердловская область	341	347	146	86	58
	Челябинская область	1025	1038	513	252	116
Центральный федеральный округ	Москва	0	34	17	8	4
	Калужская область	77	123	163	222	168
	Липецкая область	147	131	68	34	9
	Тверская область	136	163	200	199	24
	Московская область	70	53	154	102	99
Южный федеральный округ	Астраханская область	445	525	630	977	371
	Волгоградская область	787	423	275	231	145
	Ростовская область	103	109	105	79	78

В результате анализа и обобщения данных, полученных полевыми и лабораторными методами, грунты, слагающие исследуемый участок, были выделены в 5 инженерно-геологических элемента¹. По данным бурения на всю вскрытую глубину до 30 м принимают участие следующие отложения (сверху вниз):

- Почвенно-растительный слой (solQ_{IV});
- Современные техногенные отложения (tQ_{IV});

¹ Технический отчет об инженерно-геологических изысканиях на объекте «Корректировка проекта по рекультивации земельного участка, расположенного по адресу: Ростовская область, г. Таганрог, Николаевское шоссе, 36-1 и г. Таганрог, Николаевское шоссе, 36». ООО «ГеоГрадСтрой», 2023

- Нижне-верхнечетвертичные делювиальные отложения (dQ_{I-III}), представленные:
 - глиной светло-коричневой, полутвердой, с прослоями суглинка твердого, с редкими включениями дресвы карбонатных пород. Мощность грунтов на площадке составляет 2,0-7,9 м;
 - глиной коричневой, твердой, с редкими включениями дресвы карбонатных пород. Вскрыта повсеместно. Видимая мощность отложений 0,6-14,8 м, подошва отложений до глубины 30 м не вскрыта.

На исследуемой территории до глубины 30 м не обнаружены подземные воды. В период интенсивных атмосферных осадков и таяния снега техногенные отложения периодически спорадически обводняются с формированием линз мощностью до 1,5 м.

Экспериментальные исследования были проведены на делювиальных глинистых образцах, отобранных из скважин на склоне в 20 м от свалочного поля (скв. 2, обр. 1-3) и с территории свалочного участка (скв. 3, обр. 4-6).

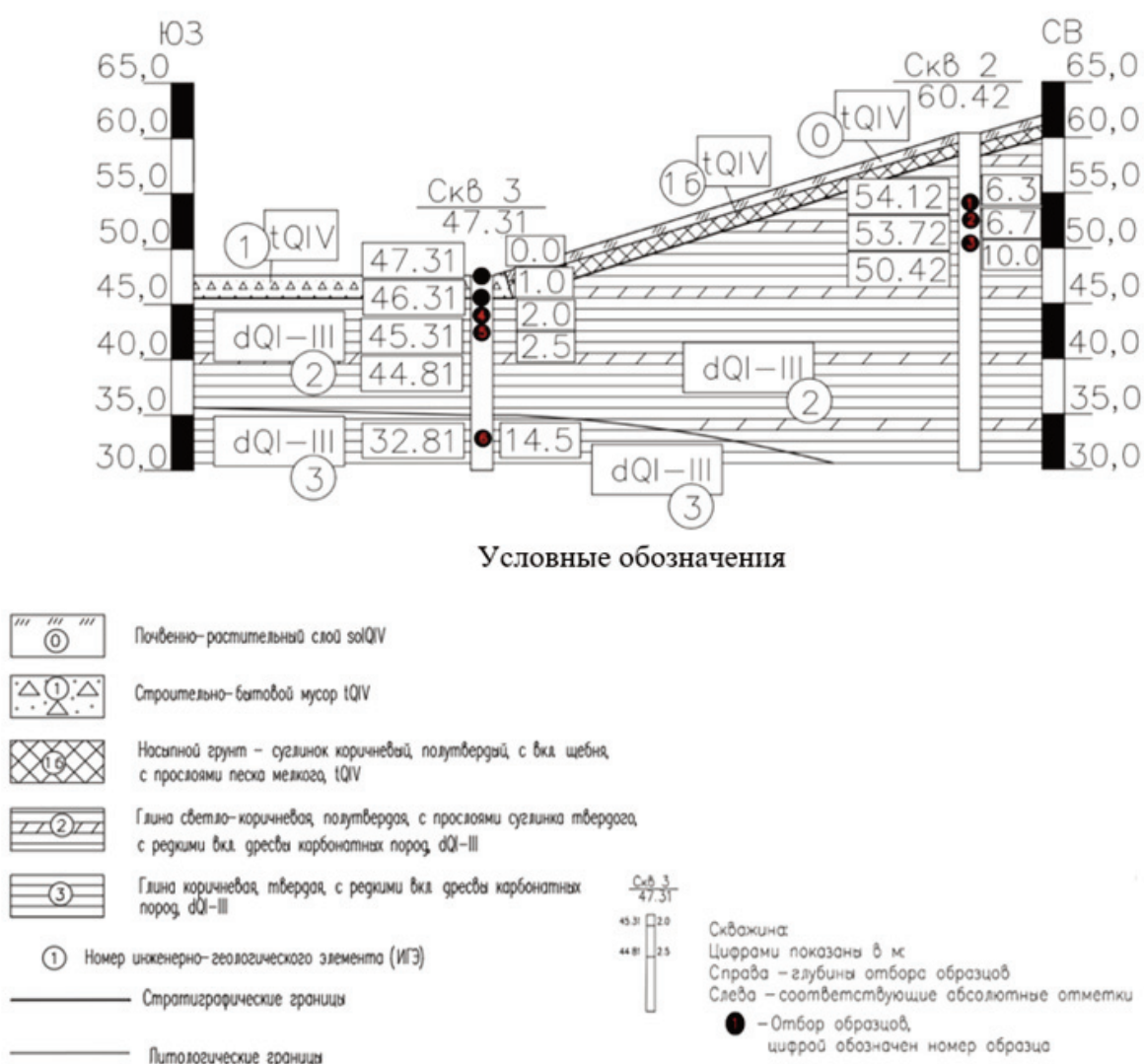


Рис. 1. Схематический разрез участка исследования на территории несанкционированной свалки в г. Таганроге

Все исследованные образцы относятся к глинам твердой и полутвердой консистенции, с числом пластичности от 0,2 до 0,26 д.ед., коэффициентом пористости от 0,58 до 0,81. Для которых характерно увеличение количества пылевато-глинистых частиц с глубиной. В минеральном составе для всех образцов преобладающим является кварц, которого содержится около 30 процентов и смешаннослойные иллит-сметиты, которые составляют от 20 до 30 процентов. Отмечается в целом уменьшение кальцита вниз по разрезу. Микроструктурные исследования показали турбулентно-матричное микростроение делювиальных глинистых грунтов.

Для всех грунтов содержание органического вещества не превышает одного процента (табл. 2). По полученным данным можно отметить постепенное снижение содержания ионов Zn с глубиной, максимальное их количество (1,37 мг/кг) зафиксировано в образце глины с глубины отбора 2,0 м из скважины 3 с территории свалочного поля, а наименьшее в скважине 3 для образца 6 (0 мг/кг), отобранного с наибольшей глубины. Сравнивая снижение содержания ионов Zn с ОДК (ориентировочно допустимой концентрацией), равной 220 мг/кг для цинка (ГН 2.1.7.020 94), можно сказать, что после рекультивации территории полигона ТКО для дальнейшего перспективного использования экологической опасности по наличию цинка не выявлено.

<i>Таблица 2</i>				
Содержание органического вещества и ионов цинка в исследуемых делювиальных глинистых грунтах				
Номер образца	Номер скважины	Интервал отбора, м	Содержание органического вещества, %	Содержание ионов Zn, мг/кг
1	2	6,3	0,29	0,73
2		6,7	0,28	0,68
3		10,0	0,23	0,23
4	3	2,0	0,28	1,37
5		2,5	0,20	1,05
6		14,5	0,33	0

В результате несанкционированного разрастания свалочных очагов заметно ухудшилась экологическая обстановка. Следовательно, своевременное проведение геоэкологических исследований для рационального природопользования актуально на весь период жизненного цикла объектов ТКО. Кроме того, практически в два раза увеличился объем финансового пакета на рекультивацию объекта ТКО за период принятия решений.

На данный момент на полигоне, который просуществовал более 50-ти лет, закончился технический этап рекультивации (рис. 2) и полигон подготовлен к проведению биологического этапа. На свалке прекратились самовозгорания и пропал специфический запах – это значительно улучшило экологическую обстановку.



Рис. 2. Проведение рекультивационных работ на полигоне твердых коммунальных отходов в городе Таганроге (фото с официального сайта главы г. Таганрога Камбуловой С.: <https://t.me/KambulovaSvetlana>)

В связи с тем, что грунты основания несанкционированной свалки в г. Таганроге характеризуются схожими инженерно-геологическими характеристиками с грунтами основания существующего полигона ТКО, они являются эффективным противомиграционным и противофильтрационным экраном, однако возможна фильтрация из тела свалки, что необходимо учитывать при рекультивационных и мониторинговых мероприятиях.

Исследование выполнено в рамках государственного задания МГУ имени М.В. Ломоносова, а экспериментальные исследования выполнены на приборах, приобретенных по Программе развития Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова (рентгеновского дифрактометра Ultima-IV фирмы Rigaku (Япония), растрового электронного микроскопа LEO 1450VP).

Литература

- 1. Галицкая И.В., Путилина В.С., Костикова И.А. Оценка состояния полигона твердых коммунальных отходов для обоснования мониторинговых исследований в пострекультивационный период // Геоэкология. Инженерная геология, гидрогеология, геокриология, 2022, № 5, С. 49-60.*
- 2. Минакова Т.Б. Особенности рекультивации полигонов ТБО и карьеров на урбанизированных территориях // Материалы годичной сессии Научного совета РАН по проблемам геоэкологии, инженерной геологии и гидрогеологии. Выпуск 20. Научный совет РАН по проблемам геоэкологии, инженерной геологии и гидрогеологии. Москва. 2018. С. 31-36.*
- 3. Осипов В.И., Мамаев Ю.А., Еремина О.Н. Геодинамические процессы как критерий геоэкологической оценки территорий для размещения полигонов твердых коммунальных отходов // В сборнике: Сергеевские чтения. Фундаментальные и прикладные вопросы инженерной геодинамики. Материалы годичной сессии Научного совета РАН по проблемам геоэкологии, инженерной геологии и гидрогеологии. Москва, 2023. С. 204-205.*
- 4. Подлипский И.И. Полигоны бытовых отходов как объекты геологического исследования // Вестник Санкт-Петербургского университета. Серия 7. Геология. География. 2010. № 1. С. 15-31.*
- 5. Фуникова В.В., Дудлер И.В. Проблема нарастающей опасности техногенных изменений геологической среды и пути ее решения // Геоэкология. Инженерная геология. Гидрогеология. Геокриология. 2022. № 1. С. 3-12.*

ОПЫТ РАЦИОНАЛЬНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ РЕСУРСОВ И УПРАВЛЕНИЕ ОТХОДАМИ НА ПРИМЕРЕ ТОМИНСКОГО ГОКА-КОРКИНСКОГО РАЗРЕЗА

И.А. Антонова¹, Н.В. Гончар², О.М. Гуман¹

¹ ООО «Уралгеопроект», 620146, Россия, г. Екатеринбург, ул. Ак. Бардина, д. 48А, к. 144
E-mail: Dolinina_ira@mail.ru

² АО «Русская медная компания», 620000, Россия, г. Екатеринбург, ул. Горького, д. 57
E-mail: gonchar_nataliya@rcc-group.ru

Аргументы в защиту того, что отходы одних месторождений можно использовать как рекультивационный материал других месторождений приведены в настоящей работе.

1. Медно-порфиновые месторождения отличаются пониженным содержанием аксессуарных рудных минералов по сравнению с медно-колчеданным типом месторождений, таблица 1 [5].

<i>Таблица 1</i>		
Сравнительный анализ медно-колчеданных и медно-порфиновых месторождений		
Характеристики	Медно-колчеданные	Медно-порфиновые
Главные минералы руд	Пирит, халькопирит, сфалерит	Пирит, халькопирит, халькозин, молибденит
Средние содержания меди, цинка, свинца (%), золота, серебра (г/т)	Cu – 1,36; Zn – 1,45; Pb – 0,08; Au – 1,05; Ag – 16,3	Cu – 0,4 Mo – 0,002-0,014 Au – 0,1- 0,2 Ag – 0,75-1,0

Благодаря низким содержаниям сульфидных минералов в горных породах медно-порфиновых месторождений процессы нейтрализации доминируют над процессами окисления. Кислые воды не образуются, а концентрация тяжёлых металлов в карьерных и подотвальных водах на порядки ниже, чем, к примеру, на колчеданных месторождениях, так как в околонеutralной среде подвижность тяжёлых металлов низка. Для природной гидросферы такие воды не представляют высокой опасности, в отличие от токсичных вод медно-колчеданных месторождений [3].

2. Эффективность отработки медно-порфиновых месторождений определяется объемом пород, близостью рудных медно-порфиновых месторождений малого объема. В Челябинской области разведаны и началась разработка Биргильдинско-Томинской группы меднопорфиновых месторождений, Михеевское, Тарутинское, Новониколаевское месторождения. Проблема их освоения состоит в том, что находясь вблизи населенных пунктов, на освоенных территориях, нет огромных площадей для размещения вскрышных пород и отходов обогащения.

Кроме этого, для обогащения таких пород требуется огромный объем воды.

В то же время, учитывая малую насыщенность пород рудными минералами, отходы вскрыши и обогащения можно размещать в карьерах, нарушенных землях ниже уровня подземных вод. Для этого можно использовать как карьеры рудных месторождений, относительно малого объема, так и близрасположенных крупных, отработанных месторождений, например угля, решение по рекультивации которых было не найдено.

Томинское месторождение медно-порфиновых руд среди известных месторождений в России представляется наиболее значительным и относится к месторождениям федерального значения. Разработка месторождения началась в 2017 году [4].

3. Расположение месторождений вблизи переходной зоны от горно-складчатого Урала к Западно-Сибирской плите – еще один аргумент для размещения данных отходов в отработанных горных выработках. Рудные месторождения, расположенные в зоне сочленения горно-складчатого Урала

и платформенных отложений Западно-Сибирской плиты характеризуются наличием покровных толщ различной мощности, которые препятствуют унаследованности геохимических аномалий рудных зон в почвах, что проявляется в удовлетворительном экологическом состоянии почв. Водоносные горизонты верхних этажей отличаются повышенной водообильностью и водопроницаемостью, в отличие от подстилающих пород, что приводит к нейтрализации кислых вод триас-юрских и палеозойских вод за счет процессов нейтрализации и разбавления металлоносных рудных вод. Формирование подземного стока под покровными отложениями с водоносными горизонтами питьевого качества с поверхности, позволяет использовать открытые горные выработки переходных зон от геосинклинальных областей к платформенным в качестве объектов, рекультивация и ликвидация которых возможна с использованием вторичных ресурсов и нетоксичных отходов [2].

4. В качестве объекта, который будет рекультивирован закладочным материалом с Томинского месторождения, выбран Коркинский разрез, который самый глубокий угольный разрез в Евразии, его глубина 493 м, длина по поверхности более 3 км, ширина свыше 2,5 км. За время разработки карьера в течение 70 лет было извлечено около 250 млн т угля и 1,5 млрд т грунта, объем выработки около 3 млрд м³. Разрез прекратил свою работу 20.11.2017 г. (эксплуатация началась в 1934 г.). Кроме открытых работ на Коркинском месторождении велись и подземные работы на шахте «Коркинская». На 2005 г. промышленные запасы угля до глубины 630 м составляли 33 млн т, что могло обеспечить работой разрез на 23 года. Для этого надо было провести разнос бортов разреза, переселить жителей, перенести промплощадку и Коркинский экскаваторно-вагоноремонтный завод. Но активизировалось сдвижение бортов разреза (первый крупный оползень на северо-западном борту произошел в 1945 г.), стволы ш. «Коркинская» были признаны аварийными, принято решение о поэтапном закрытии разреза и переселении части жителей пос. Роза и г. Коркино. В бортах разреза регулярно фиксировались эндогенные пожары, что влияло не только на экологию г. Коркино, но и весь регион, включая г. Челябинск [4]. Особенности угольных месторождений в переходных зонах: наличие углей способствует сорбции тяжелых металлов, наличие пирита – формированию вод по типу сульфатных, горение в отвалах и в разрезе – насыщению воды сульфат-ионами, водопритоки в угольной толще меньше, чем в покровных палеоген-четвертичных отложениях.

5. Находясь в зоне континентального засоления, природные подземные воды угленосных пород отличаются повышенной минерализацией, наличием органики, по анионному составу преобладают сульфатные, хлоридно-сульфатные и хлоридные.

6. Закладочный материал состоит из минералов малорастворимых [1], повторное дробление способствует формированию фракций по размерам близкими с глинистыми, гранулометрический состав пульпы, поступающей в отработанную выработку, в месте ее сброса характеризуется следующими показателями процентного распределения фракций: песок (0,05-2 мм) – 26,3-35,1%; пыль (0,05-0,002) – 51,1-59,4%; фракция <0,002 мм – 13,5-17,1%. Влажность исследуемого образца техногенной пульпы составила $W = 30,5\%$. Методом ЯМР-релаксации Р.Э. Дашко и др. был исследован водонасыщенный образец, минеральный состав которого характеризуется следующими составляющими: кварц (SiO_2) – 40%; альбит ($\text{Na}[\text{AlSi}_3\text{O}_8]$) – 32%; клинохлор ($(\text{Mg},\text{Al})_6[\text{Si}_3, 1-2\text{Al}_{0,9-1,2}\text{O}_{10}](\text{OH})_8$) – 20%; карбонаты – 3%; биотит ($\text{K}(\text{Mg},\text{Fe})_3[\text{Si}_3\text{AlO}_{10}][\text{OH},\text{F}]_2$) – 3%; пирит (FeS_2) – менее 1%; рутил (TiO_2) – около 1%. Как видно из представленного минерального состава, исследуемая пульпа не содержит типичных глинистых минералов. Образование тонкодисперсной фракции (<0,002 мм) в данном случае, по всей видимости, происходит в процессе дробления в шаровых мельницах присутствующих в руде алюмосиликатов – в первую очередь клинохлора (20% состава) и в меньшей степени биотита (3%). Экспериментальные исследования выявили, что время спин-решёточной релаксации T_1 для исследуемого образца пульпы составляет $3,7 \cdot 10^{-2}$ с, что на порядок выше того же параметра для глинистых грунтов ($T_1 = n \cdot 10^{-3}$ с). Водоотдача таких грунтов выше, это подтверждается объемом воды в разрезе при накоплении закладочного материала, рисунок 1.

Начиная с 2021 г. нами выполнено опробование жидкой фазы закладочного материала по вертикальным профилям с количеством проб от 3 до 14 на конкретный период опробования. Выбраны те характеристики воды, которые были выше ПДК по СанПиН 2.1.3685-21 при первичном опробовании. Результаты исследований по усредненным показателям приведены на рисунке 2. Доля ионов сульфатов в анионном составе воды выросла, но в мг/л уменьшилась: в 2017 г. содержание ионов сульфатов составило 768 мг/л, а усредненное значение в 2025 г – 327,33 мг/л.

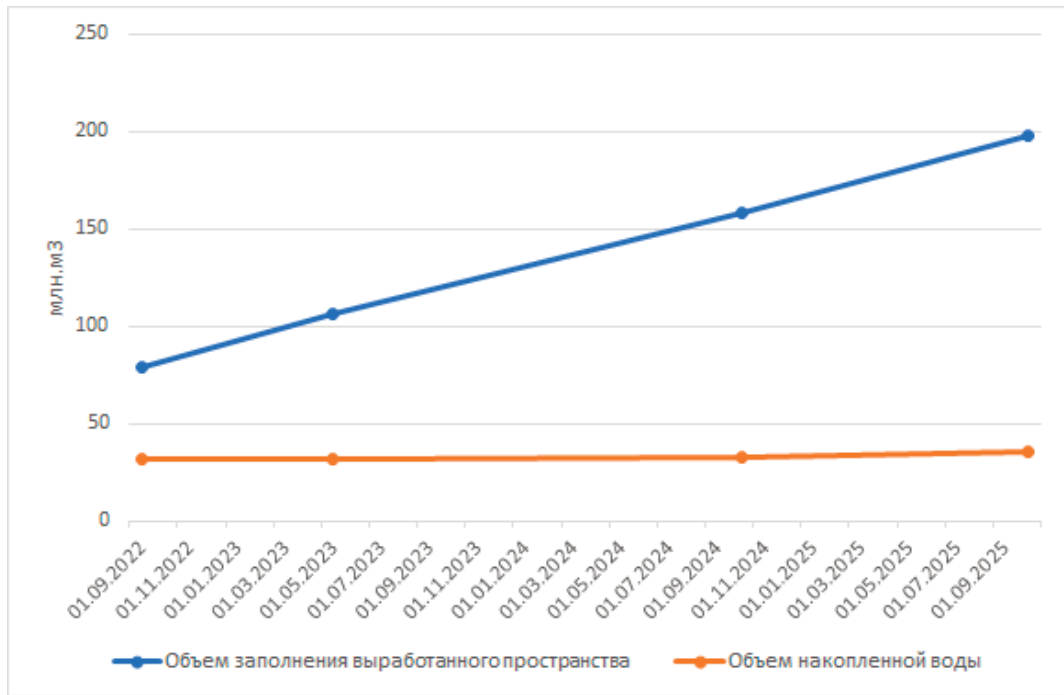


Рис. 1. Заполнение объема выработки закладочным материалом и формирование объема воды с поверхности

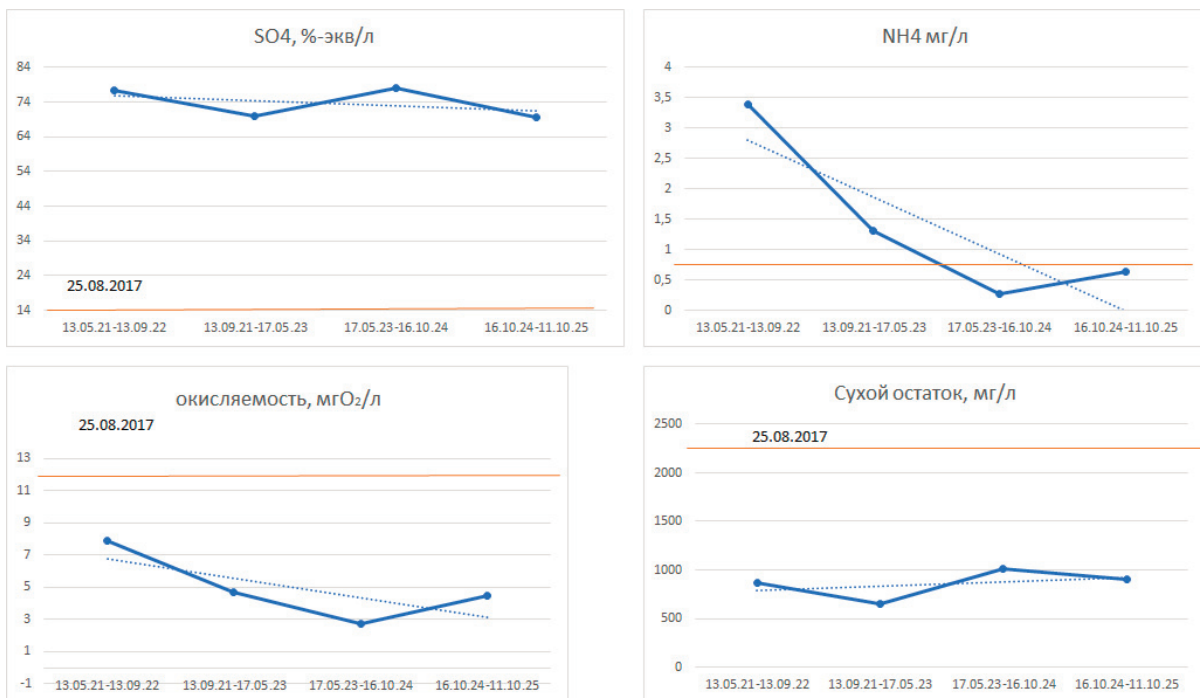


Рис. 2. Изменение тех показателей в воде, которые на момент опробования в 2021 г. превышали ПДК по СанПиН 2.1.3685-21

В настоящий момент жидкая фаза закладочного материала имеет хлоридно-сульфатный состав, пресная при величине сухого остатка 0,89 г/л, щелочная при рН 8,49 (в 2017 г – 9,0).

Таким образом, за восемь лет заполнения разреза не произошло ухудшения качества воды в карьере, что обусловлено теми аргументами, которые разобраны в данной работе. Процесс заполнения закладочным материалом ликвидирует эндогенные пожары в угольных породах, увеличивает устойчивость бортов за счет пригрузки их нижней части твердой фазой закладочного материала, увеличивает щелочность воды в техногенном водоеме, что снижает миграционную способность соединений тяжелых металлов.

Литература

1. Гончар Н.В., Гуман О.М., Косинова И.И., Бударина В.А. Оптимизация техногенно-минеральных образований при разработке медно-порфировых руд Томинского рудного поля Урала // Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Геология. – 2024. – № 1. – С. 89-101. – DOI 10.17308/geology/1609-0691/2024/1/89-101. – EDN DPFTSC.
2. Гончар Н.В., Макаров А.Б., Гуман О.М., Антонова И.А., Вегнер-Козлова Е.О. Геоэкологические особенности месторождений полезных ископаемых в зоне сочленения Урала и Западно-Сибирской плиты // Известия Уральского государственного горного университета. – 2025. – № 2(78). – С. 98-108. – DOI 10.21440/2307-2091-2025-2-98-108. – EDN AEBIEM.
3. Гончар Н.В., Четверкин И.А., Вишняк А.И., Стариков И.В. // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2023. – № 12-2. – С. 16-26. – DOI 10.25018/0236_1493_2023_122_0_16. – EDN PWREDG.
4. Гончар Н.В., Соколовский А.В., Терешина М.А. Проект комплексного освоения георесурсов // Рациональное освоение недр. – 2023. – № 3(71). – С. 38-44. – DOI 10.26121/RON.2023.49.52.005. – EDN WSTWLP.
5. Контарь Е.С. Геолого-промышленные типы месторождений меди, цинка, свинца на Урале (геологические условия размещения, история формирования, перспективы): научная монография / Е.С. Контарь; Департамент по недропользованию по Уральскому федеральному округу (Уралнедра). Екатеринбург: Изд-во УГГУ, 2013 – 199 с. ISBN 978-5-8019-0303-3

РАЦИОНАЛЬНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ РЕСУРСОВ БЕЗ НАНЕСЕНИЯ УЩЕРБА ПРИРОДНОЙ СРЕДЕ И УПРАВЛЕНИЕ ОТХОДАМИ

А.Ю. Беляев, Ю.А. Медовар, И.О. Юшманов

Институт водных проблем РАН, Москва, ул. Губкина, 3
E-mail: medovar51@list.ru

Тематику доклада хорошо иллюстрирует «вторичное» использование карьеров – сначала добываются нерудные полезные ископаемые, такие как песок, гравий и пр., а затем их используются как полигоны ТКО.

Правда, не всем жителям ближайших населенных пунктов это нравится, свидетельством этого являются многочисленные обращения граждан в Институт Водных Проблем РАН с просьбой оценить негативные последствия реализации таких планов. Примеры таких проектов – карьер «Островский» на Карельском перешейке в Ленинградской области, Выборгский район; карьер «Дубровка» в Ленинградской области, Всеволожский район; бывший песчаный карьер в Старой Купавне Московской области.

В случае «Островского» полигон приведет к загрязнению области питания гдовского горизонта, основного водоносного комплекса Карельского перешейка. В других проектах (Дубровка и Купавна) в настоящее время можно отметить возникновение на месте бывших карьеров водных объектов, являющихся зонами отдыха. По планам создания полигонов эти водоемы предполагается предварительно осушить и использовать образовавшиеся котлованы под складирование отходов ТКО, что безусловно приведет к негативным последствиям для окружающей среды (в частности загрязнению грунтовых вод, используемых местным населением для хозяйственно-бытовых целей).

Еще одним примером неразумного использования выработанных карьеров является складирование открытым способом продуктов термической обработки твердых коммунальных отходов (ТКО) на мусоросжигающих заводах в непосредственной близости к водозабору подмосковного поселка Тучково, в связи с чем возникла опасность фильтрации с поверхностными водами загрязняющих компонентов в основной подольско-мячиковский водоносный горизонт, используемый для водоснабжения населения. Следует отметить, что в состав этих отходов входят половина элементов таблицы Менделеева.

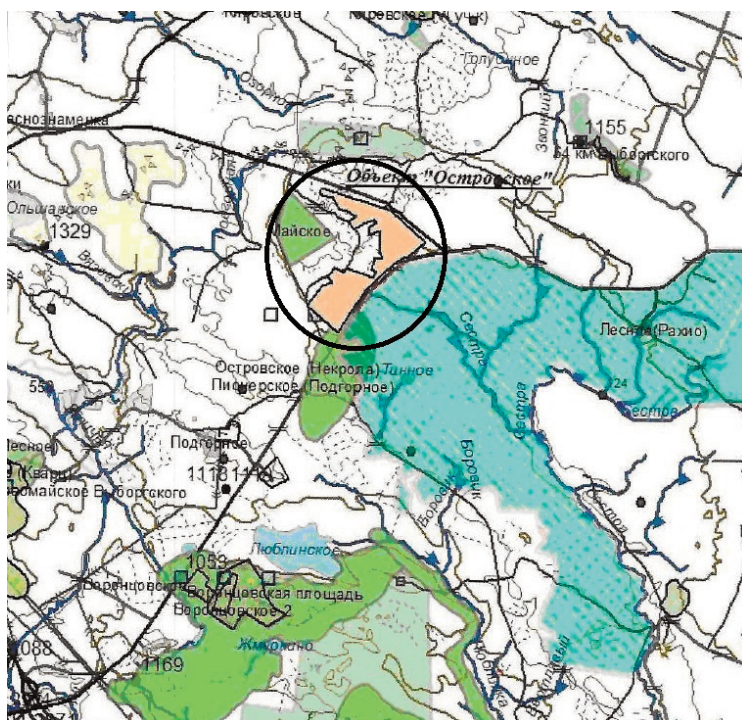


Рис. 1. Карьер «Островское»

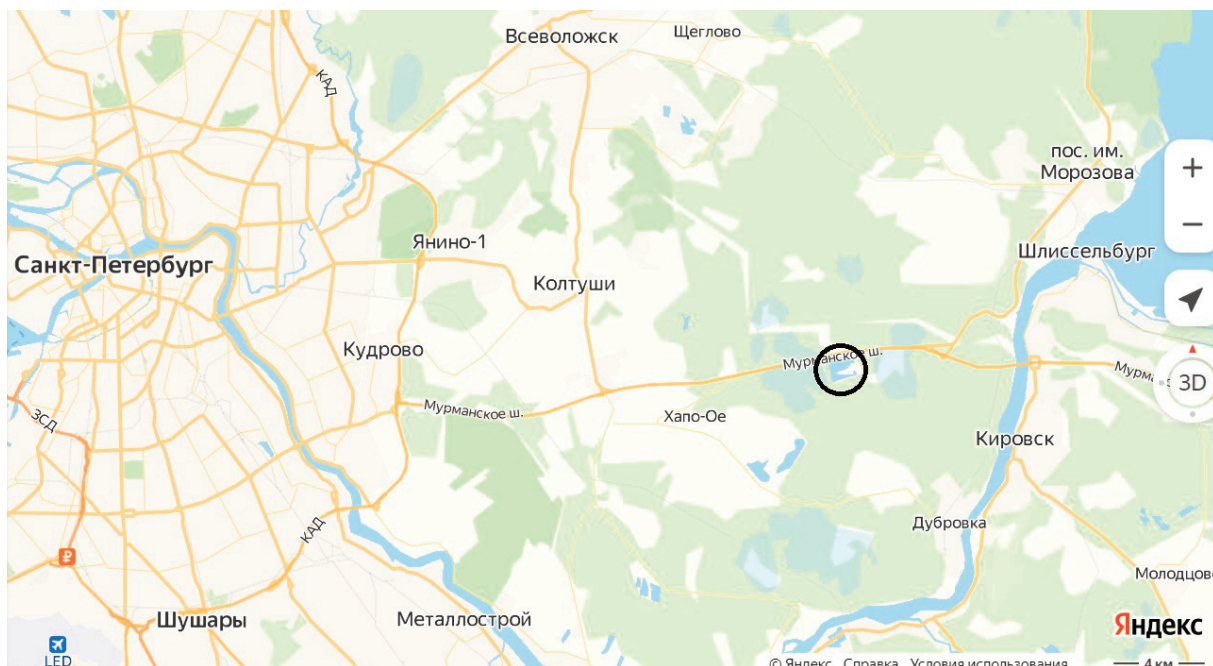


Рис. 2. Расположение карьера Дубровка на карте Ленинградской области

Для оценки времени вертикального просачивания поверхностных вод с поверхности захоронения ТКО до водоносного горизонта используется соотношение

$$\frac{H}{T} = \frac{q}{\theta \cdot m}$$

где T – время добегания (сут), H – глубина (м), q – величина питания (м/сут), m – пористость, θ – относительное водосодержание. При наличии водоотведения с места захоронения (дренаж) (для относительного водосодержания можно пользоваться соотношением $K\theta^3 = q$) имеем

$$T = \frac{H \cdot m}{K^{1/3} q^{2/3}}$$

При идеальном водоотведении с территории захоронения, полагая в расчетах $H=80$ м, $m=0,2$, $K=5$ м/сут, $q=0,0003$ м/сут, получим $T \sim 2000$ сут, а в отсутствии водоотведения время добегания уменьшится до 10 сут.

Для оценки времени миграции загрязненных вод по водоносному горизонту в горизонтальном направлении используем соотношение

$$\frac{L}{t} = \frac{K}{m} \cdot \frac{\partial h}{\partial x}$$

где t – время горизонтального движения подземных вод по водоносному горизонту (сут), L – расстояние, K – коэффициент фильтрации (м/сут), m – пористость, $\partial h/\partial x$ – перепад напора на единицу длины в направлении потока.

Расстояние от места захоронения до основного водозабора поселка Тучково, расположенного ниже по потоку, составляет $L \sim 2-3$ км. Принимая для коэффициента фильтрации K в известняках в среднем величину 5м/сут, а для пористости m значение 0.35, получаем $t \sim 6000$ сут.

Приведем оценку максимального водоотведения из скважины, которая находится южнее карьера на расстоянии 500м от него, при котором собственно карьер не попадает в воронку депрессии водозаборной скважины и, следовательно, загрязненные воды не мигрируют в этом направлении. Для этого воспользуемся формулой большого колодца

$$\frac{h^2(r) - h^2(r_0)}{2} = \frac{Q}{2\pi K} \ln \frac{r}{r_0}$$

где r – расстояние до скважины (м), $h(r)$ – величина УГВ, отмеряемая от дна водоносного горизонта (м),

r_0 – радиус скважины (м), Q – расход скважины ($\text{м}^3/\text{сут}$), K – средневзвешенный горизонтальный коэффициент фильтрации ($\text{м}/\text{сут}$). Горизонтальный размер воронки депрессии в направлении карьера можно оценить, приравняв величину перепада напора dh/dr среднему уклону напора на рассматриваемой местности:

$$\frac{dh}{dr} = \frac{Q}{2\pi Kh} \cdot \frac{1}{r} \approx \frac{\partial h}{\partial x} \quad Q \leq 2\pi Khr \cdot \partial h / \partial x$$

откуда

$$Q \leq 2\pi Khr \cdot \partial h / \partial x$$

Полагая в этой формуле $K=5\text{м}/\text{сут}$, $r=500\text{м}$, $h=40\text{м}$, $\partial h/\partial x = 0,01$, получим

$$Q \leq 6300 \text{ м}^3/\text{сут}$$

При расходах, не превышающих эту величину, карьер не попадает в зону влияния воронки депрессии рассматриваемой водозаборной скважины.

Известняки эксплуатируемых водоносных горизонтов Подмосковья как правило закарстованы, что иногда приводит к формированию в них более проницаемых зон. В этом случае коэффициент фильтрации известняков может возрасти на порядок, что соответственно приведет к сокращению времени добегания загрязненных вод примерно до 1000 суток.

Не всегда разработка карьеров приносит материальную пользу. В некоторых случаях их разработка может нанести непоправимый вред как окружающей среде, так и населению. Примером такого варварского отношения к природе является проект карьера на апатитовые руды и попутные полезные ископаемые на Ошурковском месторождении Иволгинского района республики Бурятия, планируемый карьер будет располагаться в 300 метрах от р. Селенга и 30 км от озера Байкал. Разработка предполагается открытым способом, с применением взрывов на этапе вскрышных работ и фрезерных станков при собственно добыче апатитовой руды. При этом жителям поселка в качестве компенсации обещаны 600 рабочих мест на будущем карьере, но никто не собирается компенсировать испорченные свежий воздух, загрязненные подземные воды и здоровье.



Рис. 3. Расположение планируемого карьера на берегу р. Селенга, вблизи пос. Ошурково, Бурятия

Выводы

Интересы народного хозяйства входят в противоречие с правом людей на благоприятную среду обитания, что прямо записано в Конституции РФ (Статья 42). Для разрешения этих противоречий следует переходить к новым прогрессивным методам обращения с отходами, как это принято в развитых странах [1]. А обводненные карьеры использовать только как зоны отдыха.

Работа выполнена в рамках темы № FMWZ-2025-0002 Государственного задания ИВП РАН

Литература

1. Медовар Ю.А., Юшманов И.О., Хмельченко Е.Г. Будущее за «зелеными» экологией и экономикой //Муниципальная академия, № 1, 2025, стр. 41-48.

МЕЖДУНАРОДНЫЕ ДОГОВОРЫ В ОТНОШЕНИИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ И УПРАВЛЕНИЯ ОТХОДАМИ АСБЕСТА

И.Н. Заиканова

Институт геоэкологии им. Е. М. Сергеева, 101000, г. Москва, Уланский переулок, дом 13, строение 2, а/я 145
E-mail: izaikanova@yandex.ru

Исключительной особенностью асбеста является его «летучесть» на всех этапах производства и использования – от добычи до утилизации и складирования отходов. Именно это свойство обуславливает канцерогенную и фиброгенную опасность для человека пыли и волокон асбеста, что вызвало отказ многих стран от использования асбеста. Вся цепочка деятельности по обращению с асбестом негативно влияет на компоненты экосистемы, что практически не изучено в настоящее время, хотя вред от нее совершенно очевиден. Совокупность проблем обращения с асбестом, начиная с добычи и обогащения и заканчивая складирования вскрыши, лежит в сфере задач геоэкологии.

Международные конвенции об асбесте

Учитывая, что асбест является канцерогеном первой категории по классификации МАИР¹, в 1986 г. в Женеве на Генеральной конференции Международной организации труда (МОТ), на основе соответствующих международных конвенций и рекомендаций по труду и, в частности, Конвенции и Рекомендации 1974 года о профессиональных раковых заболеваниях, и других международных документов того же направления, была принята «Конвенция об охране труда при использовании асбеста», в которой установлены принципы национальной политики и деятельности на национальном уровне (ратифицирована РФ Законом от 29.03.2000 г.) Первым пунктом Конвенции стало утверждение: «Настоящая Конвенция охватывает все виды деятельности, связанные с воздействием асбеста на трудящихся в процессе работы» [1]. Согласно данной Конвенции, национальными законодательством или правилами должны предписываться меры, которые следует принимать для предупреждения, контроля и защиты трудящихся в связи с воздействием опасных для здоровья факторов, возникающих при работе с асбестом. По решению Конвенции в тех случаях, когда необходимо защитить здоровье трудящихся, национальные законодательства или правила предусматривают в качестве основы следующие меры:

а) замену асбеста или некоторых его разновидностей, или асбестосодержащих изделий там, где это возможно, другими материалами или изделиями, или альтернативными технологическими процессами, которые компетентный орган считает на основе научной оценки как безвредные или представляющие меньшую опасность для здоровья;

б) полное или частичное запрещение использования асбеста или некоторых его разновидностей, или асбестосодержащих изделий в некоторых производственных процессах.

5 мая 1992 года (одобренная договаривающимися сторонами 22 марта 1989 года) вступила в силу Базельская конвенция (далее БК) о контроле за трансграничной перевозкой опасных отходов и их удалением. Советским Союзом Базельская конвенция была ратифицирована – Законом от 25 ноября 1994 г. № 49-ФЗ, что позволило принять ряд важных, в том числе международных, документов в целях ее реализации. Базельская конвенция насчитывает 170 стран-участниц и призвана оградить здоровье человека и окружающую среду от пагубного воздействия, вызываемого производством, использованием, трансграничной перевозкой и удалением опасных отходов.

Хризотилковый асбест был запрещен во многих частях мира за канцерогенность, но не включен в список опасных веществ в соответствии с Роттердамской конвенцией (далее РК) «О процедуре предварительного обоснованного согласия (ПОС)», которая регулирует торговлю вредными веществами. Роттердамская конвенция является многосторонним договором, направленным на поощрение совместной ответственности в отношении импорта опасных химических веществ. Конвенция вступила в силу 24 февраля 2004 года и стала юридически обязательной для ее Участников. Рос-

¹ МАИР (англ. International Agency for Research on Cancer, IARC) — Международное агентство по изучению рака

сиейская Федерация стала участником конвенции 28.04.2011, а 27.07.2011 ратифицировала свое вступление.

Ее целями являются: поощрение совместной ответственности и совместных усилий сторон в международной торговле отдельными опасными химическими веществами для защиты здоровья человека и окружающей среды от потенциального вреда; и содействие экологически обоснованному использованию этих опасных химических веществ.

Процедура ПОС представляет собой механизм для получения и распространения решений импортирующих сторон о том, желают ли они получать будущие партии определенных химических веществ, а также для обеспечения соблюдения этих решений экспортирующими сторонами.

Согласно Регламенту Европейского Парламента и Совета ЕС 1907/2006, хризотил входит в число асбестовых волокон, производство, размещение на рынке и использование которых, если они добавлены намеренно, запрещено. Экспертный орган Роттердамской Конвенции (Комитет по рассмотрению химических веществ), состоящий из 31 ученого, неоднократно рекомендовал, после тщательного рассмотрения, включить хризотил и его отходы в список опасных веществ согласно Приложению III РК. В 2006 году асбестовые заводы ряда стран, создали зонтичную организацию по асбестоцементу, которая стремится остановить запрет на хризотил-асбест. На заседании РК 2022 года против включения его в Приложение III было 6 стран: Россия, Казахстан, Индия, Киргизия, Зимбабве и Пакистан.

Законодательство России об асбесте

Положениями действующего в РФ законодательства запрет на использование асбеста в строительстве не установлен, хотя в нашей стране действует Федеральный закон РФ от 8 апреля 2000 г. № 50-ФЗ «О ратификации Конвенции 1986 года об охране труда при использовании асбеста (Конвенция № 162)». Минпромторг РФ подготовил проект изменений в Налоговый кодекс РФ, предполагающий исключение асбеста из категории «горно-химического сырья» и отнесение его к группе «неметаллическое сырье, используемое в основном в строительной индустрии». После введения нового рентного коэффициента ставка НДС для асбеста может уменьшиться с 19,25% до 5%.

Позже в России было принято Постановление Правительства РФ от 17 июля 2003 г. N 442 «О трансграничном перемещении отходов». Приложение к Постановлению включает перечень отходов, ввоз (транзит) которых на территорию (по территории) Российской Федерации запрещается, а вывоз с территории Российской Федерации осуществляется по лицензии Министерства промышленности и торговли Российской Федерации, выдаваемой на основании разрешения Федеральной службы по надзору в сфере природопользования (ее территориальных органов) на трансграничное перемещение отходов.

По степени воздействия на организм человека в России асбест и асбестопородную пыль по ГОСТ 12.1.005-88 относят к III классу опасности. Однако в соответствии с Приказом МПР РФ от 02.12.2002 г. № 786 «Об утверждении Федерального классификационного Каталога отходов» асбестовая пыль и волокно отнесены к I классу. Остальные отходы асбеста признаны умеренно опасными (III класс).

Характерно, что в данном Каталоге почти всегда упоминается главный источник отходов – асбест, в то время, как просто асбеста не существует, на самом деле – это собирательное название ряда тонковолокнистых минералов из класса силикатов, образующих в природе агрегаты, состоящие из тончайших гибких волокон: хризотил-асбеста, а также его амфиболитовые варианты: крокидолит, амозит, тремолит, антофиллит и актинолит и др. СанПиН 2.2.3.2887-11 также относит пыль и волокна хризотила, добываемого в России, к I классу опасности. Как видно из таблицы, согласно классификации БК, асбест признан опасным отходом, а в перечень опасных асбестосодержащих отходов входят пыль и волокна отходов асбеста. Таким образом Постановление РФ № 442 не делает исключения ни для каких видов асбестосодержащих отходов, включая и хризотил.

Осуществление решений международных конвенций в мире

Более чем через десять лет после вступления в силу запрета на асбест в Германии (1993), все государства – члены Европейского Союза согласились на запрет на производство и использование

<i>Таблица</i>					
Перечень асбестосодержащих отходов, предусмотренных Приложением к Постановлению Правительства РФ № 442					
Код вида отхода по ТН ВЭДЕАЭС*	Наименование вида отхода	Код вида отхода по классификации Базельской конвенции о контроле за трансграничной перевозкой опасных отходов и их удалением		Код вида отхода по классификации Организации экономического сотрудничества и развития	Код составных элементов видов потенциально опасных отходов по классификации Организации экономического сотрудничества и развития
		Объединенный перечень отходов А, В	Основной перечень регулируемых отходов Y		
2524 10 000 0 (крокидолит) 2524 90 000 0 (все виды асбеста кроме крокидолита) 6812 99 100 0 (волокно асбестовое обработанное; смеси на основе асбеста или асбеста и карбоната магния, прочие)	Отходы асбеста в виде пыли и волокна	A2050	Y36	RB010	RB010
*ТН ВЭДЕАЭС – Товарная номенклатура внешнеэкономической деятельности Евразийского экономического союза и Единый таможенный тариф Евразийского экономического союза.					

асбеста. К тому времени такие страны, как Франция, Польша, Бельгия и Италия, уже несколько лет, как ввели такой запрет. В конце концов, под давлением ЕС в 2005 году Венгрия, Хорватия, Греция и Португалия также уступили. С начала 1980 и 1990-х годов соответственно запрет на асбест уже существовал в таких странах, как Япония, Швейцария и Норвегия. К настоящему времени 67 стран и территорий (включая страны Европейского Союза) запретили использование асбеста. Нарушение этих правил в Европе карается как административное правонарушение или даже как преступление. В первом случае штраф может составлять 5000 евро или в особых случаях даже 25000 евро, если преступление совершено, это может быть наказано тюремным заключением. Так, например, согласно польскому Закону «О запрете использования изделий, содержащих асбест» (принят в 1997 г.): «Кто использует на территории Республики Польша асбест либо изделия, содержащие асбест, подлежит штрафу, ограничению или лишению свободы на срок от 3 месяцев до 5 лет. Такому же наказанию подлежат те, кто производит изделия, содержащие асбест, или совершает оборот асбеста или изделий из него (ст.7b, п.1,2)» [3].

Однако, несмотря на запреты, 125 миллионов человек во всем мире заняты на рабочих местах, подверженных воздействию асбеста. Этот факт объясняется тем, что большая часть азиатских стран, а также Россия, уклоняются от запрета на асбест, и там продолжают добывать и использовать асбест, а также производить изделия, содержащие асбест. Среди крупнейших в мире потребителей асбеста прежде всего надо назвать Китай, где асбеста, добываемого в собственной стране, недостаточно и необходим импорт. В Индии ежегодно выпускается 2,4 миллиона тонн готовой асбестовой продукции. Запрет на асбест долгое время не был объявлен в США и Канаде. Канада ввела такой запрет в декабре 2017 года, в США его использование было только сильно ограничено.

Установлено более миллиарда квадратных метров асбестосодержащих материалов, которые становятся все более и более опасной проблемой для домовладельцев. Прежде всего это касается зданий, построенных давно, поскольку асбест, разрушающийся под воздействием внешних факторов особенно опасен.

В большинстве стран СНГ законодательство, имеющее отношение к БК, базируется на модельном законе «Об отходах производства и потребления», принятом Постановлением Межпарламентской Ассамблеи государств-участников Содружества независимых государств 15 июня 1998 г.

№11-9. В настоящее время большинство стран СНГ находится на начальном этапе пути реализации положений Базельской конвенции о контроле за трансграничной перевозкой опасных отходов и их удалением, в некоторых странах СНГ создана база для развития законодательства в рамках Базельской конвенции.

В настоящее время России продолжает использоваться хризотил-асбест. Крупнейшие месторождения хризотил-асбеста в России – Баженовское, Красноуральское (Средний Урал), Джетыгаринское и Киембаевское (Южный Урал), Актотракское, Саянское, Ильчирское (Саяны), Молодёжное на севере Забайкалья (Бурятия). Лучший асбест в России добывают в Бурятии (длина хризолитовых волокон достигает 8 см). Хризотиловая промышленность в России состоит из 41 добывающего и перерабатывающего предприятия. Крупнейшие из них — компании «Оренбургские минералы» и «Ураласбест». Обе — градообразующие: первая — для города Ясного в Оренбургской области (15 тысяч жителей); вторая — для города Асбеста на Урале (более 60 тысяч).

Хризотил в России входит в состав более чем трёх тысяч изделий в самых различных областях техники.

Мезотелиома

В России примерно полмиллиона людей заняты в асбестовой промышленности: они занимаются добычей, переработкой этого вещества, работают на шиферных заводах и на заводах по производству асбестоцементных труб и так далее. Заболеваемость мезотелиомой тесно связана с производственными процессами, а именно – контактом с асбестом. В пульмонологии мезотелиома плевры диагностируется в 100-200 раз реже, чем рак легкого; болеют преимущественно мужчины старше 50 лет (частота заболевания 15-20 случаев на 1 млн. населения). Мезотелиома плевры протекает очень агрессивно, часто обнаруживается только на поздних стадиях, поэтому исход заболевания обычно неблагоприятный – выживаемость, как правило, не превышает 1-2 года после установления диагноза. В большинстве случаев (до 70%) мезотелиома плевры, как и мезотелиомы других локализаций, является асбестоиндуцированной опухолью [2]. На развитие заболевания основное влияние оказывают два фактора: асбестовая экспозиция и размер асбестовых волокон. Мезотелиома плевры обычно развивается у лиц, находившихся в длительном и тесном контакте с асбестосодержащими продуктами. При этом от момента контакта с минералом до развития мезотелиомы плевры обычно проходит несколько десятилетий (от 20 до 50 лет).

Заключение

Стороны Женевской, Базельской и Роттердамской конвенций (ратифицированных РФ) и других международных организаций давно ведут работу по исследованию воздействия на человека асбеста, а также разработку требований и нормативных актов, ограничивающих и регулирующих вопросы безопасного природопользования. На этом фоне сформировался конфликт интересов, построенный, с одной стороны, на требованиях многих стран включить хризотил-асбест в список опасных веществ Роттердамской конвенции, а с другой – противостояние этому ряду стран экспортеров и импортеров асбеста. Целью статьи является обратить внимание на необходимость проведения научных исследований для принятия однозначных и обоснованных решений в части обращения с асбестом и его отходами.

Литература

1. *Асбест и другие природные минеральные волокна: Совмест. изд.: Progr. ООН по окружающей среде, Междунар. орг. труда и ВОЗ. [Пер. с англ.]. М.: Медицина, 1991. 173 с.*
2. *Jett, J.R., Aubry, M.C. Malignant pleural mesothelioma. In: Clinical Respiratory Medicine, Elsevier Inc. 2008. P. 869-877. <https://doi.org/10.1016/B978-032304825-5.10070-4>. Обращение 25.12.2025 г.*
3. *<https://arslege.pl/ustawa-o-zakazie-stosowania-wyrobow-zawierajacych-azbest/k888>. Обращение 12.12.2025 г.*

ЗАЩИТА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ ОТ ЖИДКИХ ПРОМЫШЛЕННЫХ ОТХОДОВ

А.Д. Котович

ФГБУ «Гидроспецгеология», 123060, Россия, Москва, улица Маршала Рыбалко, 4с2
E-mail: kotovich@geomonitoring.ru

В настоящее время у разных отраслей промышленности в значительных объемах образуются жидкие и твердые промышленные отходы. Основной альтернативой накоплению промышленных отходов на поверхности земли или сбросу в поверхностные водные объекты является их размещение на полигонах подземного захоронения. С помощью подземного захоронения биологически опасные отходы удаляются из непосредственной среды обитания человека. Надежная длительная природная изоляция предотвращает поступление токсичных компонентов в зону активного водообмена и далее в биологические цепочки.

Существуют следующие варианты размещения: жидкие отходы – в глубоководные водоносные горизонты (комплексы); твердые и отвержденные – в геологические формации (малоопасные и низкоактивные в интервалы глубин до 20 м; среднеактивные и умеренно опасные – 20-300 м; высокоактивные и высоко- и чрезвычайно опасные – 300-1500 м).

При обосновании пригодности участков недр для подземного захоронения жидких промышленных отходов используются следующие критерии [2]:

— участок недр, рекомендуемый для захоронения должен находиться за пределами районов активной сейсмической (тектонической) деятельности и развития современных геологических процессов и явлений;

— на участке недр, рекомендуемом для захоронения жидких токсичных промышленных отходов, не должны находиться месторождения нефти, газа и других полезных ископаемых, разработке которых будет препятствовать процесс захоронения промышленных отходов;

— участки недр, рекомендуемые для захоронения жидких токсичных промышленных отходов, должны содержать пласты-коллекторы (пористые и трещиноватые) с активной пористостью более 10% или проницаемостью более 0,1 мкм². Пласты-коллекторы с проницаемостью 0,01-0,1 мкм² рекомендуются для захоронения небольших объемов промышленных отходов;

— выделяемый пласт-коллектор должен быть надежно изолирован слабопроницаемыми породами (глинами, мергелями, аргиллитами, галогенными породами, гипсом и т.п.) от вышележащих, этажно залегающих водоносных горизонтов;

— глубина залегания пластов-коллекторов должна быть ниже зоны активного водообмена в интервале 300-3000 м;

— перекрывающий водоупор должен быть выдержан по площади и иметь мощность не менее 25 м;

— выше водоупора, перекрывающего пласт-коллектор, должен залежать буферный горизонт, содержащий подземные воды, непригодные для питьевых, бальнеологических и промышленных целей;

— буферный горизонт должен быть надежно изолирован слабопроницаемыми породами от водоносных горизонтов зоны активного водообмена;

— пласт-коллектор в ближайшей окрестности (радиусе 20-30 км) не должен выходить на поверхность или быть связан с рекой;

— емкостные и фильтрационные свойства (коэффициент фильтрации) используемого пласта-коллектора должны обеспечивать нагнетание отходов в требуемых объемах и при допустимых давлениях нагнетания;

— захораниваемые промышленные отходы должны быть совместимы с геологической средой – составы и свойства отходов должны быть такими, чтобы при их нагнетании не развивались процессы, которые приводили бы к необратимому снижению фильтрационных свойств пласта-коллектора, нарушению устойчивости пород поглощающего горизонта;

— захоронение возможно лишь в водоносные горизонты с минерализованной водой, непригодной для практического использования.

Технология захоронения жидких промышленных отходов заключается в следующем (рис. 1): из систем основного производства жидкие отходы поступают на установку, где осуществляется их

подготовка к захоронению (определение химической совместимости). Пройдя стадию подготовки, отходы сливаются в приемные резервуары станции перекачки, откуда они по напорным трубопроводам низкого давления направляются на полигон подземного захоронения – в приемные резервуары станции закачки насосами, установленными в станции закачки; отходы подаются по трубопроводам высокого давления к устью скважины и далее по колонне обсадных или лифтовых труб поступают в пласт-коллектор. Отходы, поступающие под давлением в водоносный горизонт, называемый в данном случае пласт-коллектор или пласт-хранилище, вытесняют пластовую воду из пор породы, частично замещают ее, частично смешиваются с ней и занимают определенный объем и площадь пласта. Площадь пласта, которая будет занята отходами в течение всего заданного времени закачки, и определяет территорию подземного хранилища.

Система скважин дает возможность осуществлять нагнетание отходов в пласт, вести при необходимости разгрузку коллектора путем откачки чистых пластовых вод, проводить контроль (мониторинг) и наблюдение за характером заполнения хранилища, движением отходов в недрах, состоянием вышележащих водоносных горизонтов.

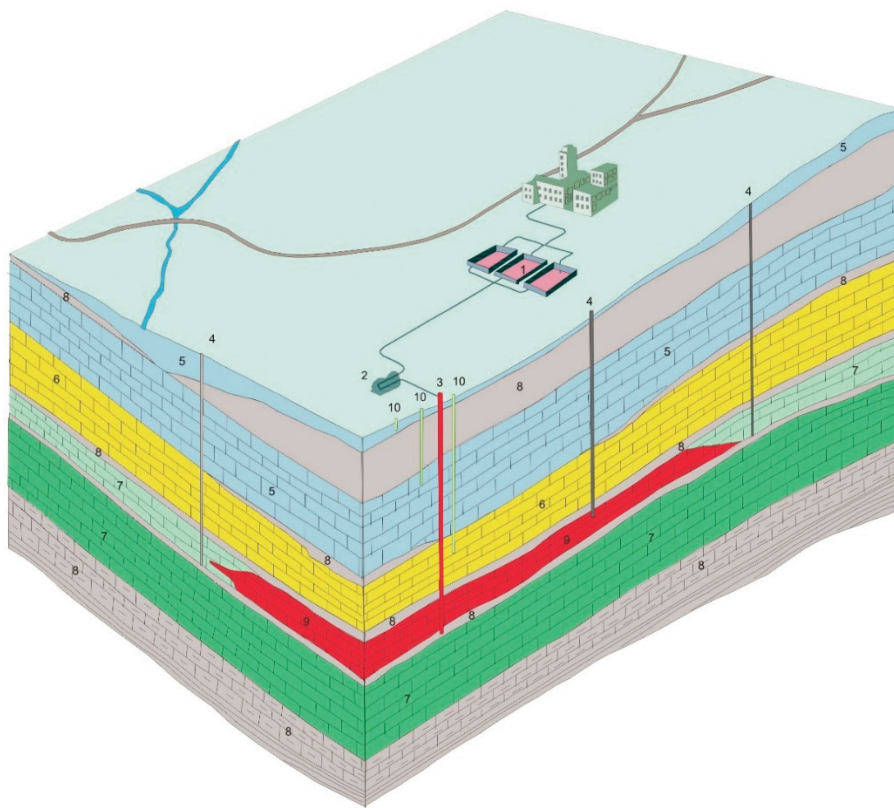


Рис. 1. Принципиальная схема захоронения жидких промышленных отходов в глубокие водоносные горизонты: 1 – накопительная емкость; 2 – насос; 3 – нагнетательная скважина; 4 – наблюдательные скважины; 5 – зона активного водообмена (пресные подземные воды); 6 – зона замедленного водообмена (солончатые подземные воды). Буферный горизонт; 7 – зона застойного режима (соленые подземные воды и рассолы); 8 – водоупорные породы; 9 – закачанные промышленные стоки; 10 – контрольные скважины

При производстве поисково-оценочных работ для целей создания полигонов подземного захоронения одной из основных задач является изучение и оценка изолированности водоносных и буферных горизонтов от зоны активного водообмена. Геологическое строение недр, гидрогеологические условия и свойства горных пород участка, рекомендуемого для захоронения жидких токсичных промышленных отходов, должны быть предварительно исследованы. Объем и качество геолого-гидрогеологической информации о месте предполагаемого захоронения должны быть достаточными для обоснования и проектирования подземного хранилища и прогнозирования процессов захоронения.

Одной из первых организаций, начавшей с конца 1950-х годов широкие гидрогеологические исследования для захоронения промышленных отходов в недра земли в нашей стране, является Второе гидрогеологическое управление Мингео СССР, ныне ФГБУ «Гидроспецгеология».

В 2005 г. специалисты ФГБУ «Гидроспецгеология» и Федерального агентства по недропользованию (Роснедра) приступили к разработке цифровой карты масштаба 1:2 500 000 для всей территории России. Эти работы были закончены в 2012 году, а в качестве конечного продукта появился «Атлас специализированных карт условий захоронения промышленных отходов различной степени опасности территории Российской Федерации» [1]. Он состоит из семи томов по федеральным округам. Каждый том содержит комплект следующих карт: карта условий захоронения жидких промышленных отходов; карта условий захоронения твердых и отвержденных отходов на разных глубинах в зависимости от степени опасности и радиоактивности; карта условий пригодности геологических образований для создания подземных хранилищ нефти.

В 2017 году начались работы по созданию комплекта цифровых специализированных гидрогеологических карт распространения глубокозалегающих водоносных горизонтов (комплексов) 1:1 000 000 масштаба на те территории Российской Федерации, которые на карте 1:2 500 000 масштаба показаны в качестве перспективных для постановки дальнейших исследований с целью выявления участков недр для возможного захоронения жидких токсичных промышленных отходов (рис. 2).

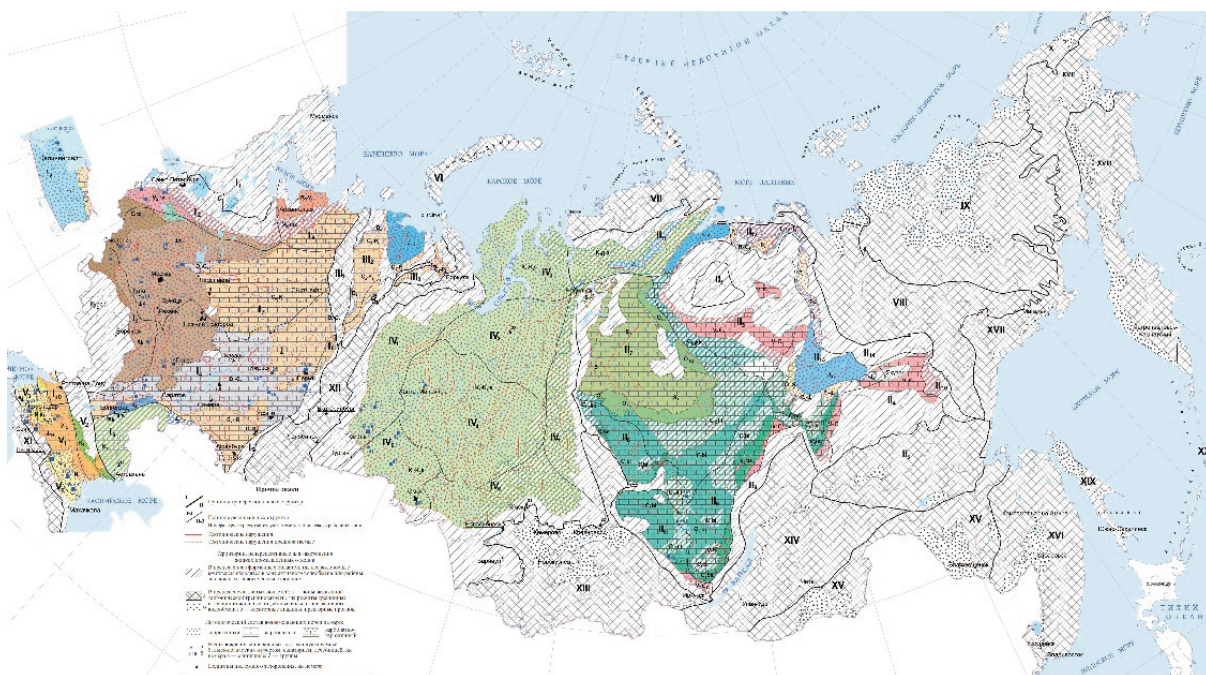


Рис. 2. Карта геолого-гидрогеологических условий захоронения жидких токсичных промышленных отходов в глубокие водоносные горизонты (комплексы) масштаба 1:2 500 000

За период 2017-2025 гг. специалистами ФГБУ «Гидроспецгеология» завершены работы по созданию комплекта цифровых специализированных гидрогеологических карт распространения глубокозалегающих водоносных горизонтов (комплексов) масштаба 1:1 000 000 Европейской территории Российской Федерации, Западно-Сибирской плиты и Сибирской платформы.

Каждый комплект карт состоит из:

- погоризонтных параметрических карт, которые составляются на перспективные водоносные горизонты и комплексы, а также на водоупорные толщи их перекрывающие. На них отражаются: опорные скважины, вскрывшие этот горизонт, границы распространения, изолинии кровли и мощности, фильтрационно-емкостные и гидрогеологические характеристики;
- специализированной гидрогеологической карты по тектоническим структурам. Она является результатом компоновки погоризонтных параметрических карт водоносных и водоупорных горизонтов. Кроме этого на карте показаны границы и глубина распространения многолетнемерзлых пород, разрывные нарушения, а также месторождения углеводородов и др.;
- схематических гидрогеологических разрезов, характеризующих основные гидрогеологические особенности исследуемой территории и условия залегания гидрогеологических подразделений;
- экспликационной таблицы гидрогеологических подразделений, составляющейся с целью выявления закономерностей распространения гидрогеологических подразделений в пределах из-

учаемой территории. Особое внимание уделяется корреляции гидрогеологической и геологической стратификации, на основе этого выделяются участки с различными условиями захоронения;

– опорных колонок, которые характеризуют выделенные участки. На них показываются тип гидрогеологического подразделения, литологический состав и гидрогеологические параметры;

– каталога опорных скважин, куда заносятся следующие данные: тип коллектора, абсолютная отметка кровли и мощность горизонта, дебит, понижение, удельный дебит, водопроницаемость, коэффициент фильтрации, минерализация подземных вод, пористость, проницаемость и коэффициент приемистости;

– объяснительной записки.

Специализированная гидрогеологическая карта Российской Федерации 1:1 000 000 масштаба необходима для решения федеральных задач в области проведения поисково-оценочных видов геологоразведочных работ по выявлению участков недр, перспективных для захоронения жидких промышленных отходов; в области планирования и размещения объектов разных отраслей промышленности, в процессе производственной деятельности которых образуются значительные объемы жидких отходов, а также в области изучения и создания информационной поддержки принятия решений по освоению и охране недр на государственном уровне.

Литература

1. *Волосенко С.И., Егоров Н.Н., Новоселова В.И., и др. Составление атласа специализированных карт условий захоронения промышленных отходов различной степени опасности территории Российской Федерации масштаба 1:2 500 000. Госконтракт № АМ-02-34/24, ФГУГП «Гидроспецгеология», М. 2013.*
2. *Грабовников В.А., Гидрогеологические исследования для обоснования подземного захоронения промышленных стоков, М.: Недра, 1993. – 335 с.*

ВЛИЯНИЕ СОСТАВА ГРУНТОВ НА ПРОЦЕСС ТВЕРДЕНИЯ ПРИ ИХ УКРЕПЛЕНИИ НЕФЕЛИНОВЫМ ШЛАМОМ

Н.А. Ларионова

Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, 119992, г. Москва, Ленинские горы, 1
E-mail: nin.Larionowa@yandex.ru

В настоящее время на промышленных предприятиях ежегодно образуется около 7,0 млрд т отходов. Используется же лишь около 28,0% от их общего объема. Ранее проведенные исследования по оценке состава и свойств ряда промышленных отходов, образующихся в больших объемах, убедительно доказали возможность их использования для получения вяжущих веществ, строительных материалов или изделий на их основе, пригодных для применения в различных отраслях промышленности.

С увеличивающимся объемом строительства возрастает потребление строительных материалов, как природного происхождения, так и в виде вяжущих материалов – цемента, извести, смол. В связи с этим возникает необходимость проведения исследований по использованию промышленных отходов в качестве вторичного сырья для получения строительных материалов. Использование промышленных отходов в производстве строительных материалов может удовлетворить до 40,0% потребности в сырье. Применение отдельных видов отходов промышленности позволяет на 10,0-30,0% снизить затраты на изготовление строительных материалов.

Многочисленными исследованиями и практикой строительства установлено, что использование некоторых промышленных отходов с определенным гранулометрическим составом, в том числе в сочетании с традиционными вяжущими веществами (портландцементом, известью), позволяет получать строительные материалы различного назначения, отвечающие требованиям нормативных документов. Их использование позволит сократить расход традиционных вяжущих веществ (цемента, извести) на 20,0-30,0%.

Особенно остро стоит вопрос в необходимости утилизации крупнотоннажных промышленных отходов, накопители которых занимают большие полезные территории, требуют значительных финансовых вложений при их эксплуатации. Наряду с этим они являются источниками загрязнения окружающей среды.

К числу крупнотоннажных промышленных отходов относятся нефелиновые шламы. В больших объемах они образуются на предприятиях по производству глинозема, основного сырья для получения алюминия. Их объемы зависят от мощности предприятия, вида и качества сырья и технологии его обработки. При переработке нефелиновых руд образуется нефелиновый шлам, выход которого на 1,0 тонну продукции составляет 6,0-7,0 т/т. Только на одном из крупнейших комбинатов ОАО «Русал Ачинск» складировается около 6,5 млн тонн шлама в год, и его количество увеличивается с наращиванием мощности предприятия. Общий объем накопленных отходов оценивается в пределах 200 млн т. При этом использование нефелинового шлама в качестве вторичного материального ресурса не превышает 200-300 тыс. тонн в год.

Нефелиновые шламы поступают в шламовые секции гидронамывом. Образующиеся шламовые стоки отличаются высокой щелочностью (рН 12,0-12,5), минерализацией (23,89-33,6 г/л), карбонатной жесткостью (2120,0 мг-экв /л), а также присутствием тяжелых металлов. Шламохранилище является источником загрязнения почв, поверхностных и подземных вод. Таким образом, накопленные объемы нефелинового шлама и негативное влияние шламохранилища на загрязнение окружающей среды вызывают необходимость поиска путей его утилизации.

В 70-80-х годах прошлого столетия во многих организациях в нашей стране проводились активные исследования по использованию нефелинового шлама для укрепления грунтов в дорожном строительстве. На основе результатов проведенных исследований и практических работ разработаны Методические рекомендации по устройству оснований дорог в Сибирском регионе [2].

Большинство ранее проведенных исследований имели рецептурный характер, основанных на определении дозировок шлама, вида и количества активизаторов, влияющих на изменение прочностных показателей грунтов во времени. Достаточно ограничены сведения по изучению процессов твердения шламогрунтовых материалов. В связи с этим целью настоящих исследований яв-

лялось определение влияния состава грунтов на процесс твердения при их укреплении нефелиновым шламом.

Исследования проводились на глинистых грунтах – моренном и лессовидном суглинках, отличающихся по составу. Содержание частиц $<0,001$ мм в грунтах составляет 17,56% и 10,38% соответственно. Моренный суглинок не засолен, его плотный остаток не превышает 0,17%, а содержание органических веществ составляет 0,32%. Лессовидный суглинок содержит 2,65% карбонатов, 0,75% гипса и 0,60% водорастворимых солей.

В качестве вяжущего использован гидратированный нефелиновый шлам, отобранный из шламовой карты № 1 шламохранилища ОАО «Русал Ачинск». В гранулометрическом составе шлама преобладают фракции размером 0,5-0,1 мм в количестве 72,6%. Содержание фракций $> 2,0$ мм и $<0,01$ мм не превышает 1,2-1,4%. В химическом составе присутствуют: SiO_2 – 29,96%; Al_2O_3 – 3,40%; Fe_2O_3 – 3,80%; CaO – 54,86%; MgO – 1,40%; $\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$ – 1,80%; SO_3 – 0,18%. В шламе содержится стекловидная фаза в количестве 20,5% [3].

В фазово-минеральном составе шлама преобладает гидратированный белит ($\beta\text{-}2\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$). Его содержание составляет 70,0–75,0%. Среди активных минералов в небольших количествах присутствуют гидросиликаты (20,4%) и гидроалюминаты кальция (3,5-4,0%), двухкальциевый феррит, трехкальциевый алюминат, гидрокарбоалюминат кальция, алюмосиликаты кальция и натрия [3]. Высокое содержание белита и активных минералов определяют способность шлама к самостоятельному твердению и возможность его использования для получения строительных материалов.

Исследования кинетики процесса твердения шлама и шламогрунтовых смесей проводились на образцах, приготовленных при оптимальной влажности и нагрузке уплотнения 3,0 МПа, твердевших в воздушно-влажных условиях. Шлам добавлялся в грунты в количестве 40,0% на 100 г смеси. Через определенные сроки образцы испытывались на прочность на приборе МП–2с. Определения фазового состава новообразований проведены на основе рентгеноструктурного анализа.

Исследования показали, что процесс твердения шлама носит замедленный характер. Прочность образцов повышается с увеличением сроков хранения в результате образования гидросиликатов кальция. На ранних сроках твердения образцы отличаются низкими показателями прочности (0,3-0,35 МПа). В системе образуются гелевидные, рентгеноаморфные новообразования типа тоберморитового геля, связывающего частицы шлама.

Процесс твердения шлама определяется содержанием основного вяжущего минерала белита ($\beta\text{-}2\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$). Его количество и способность к самостоятельному твердению зависят от сроков хранения в шламовых секциях. В результате длительного выдерживания отхода в накопителях происходит предварительная гидратация минерала, и содержание белита в шламе уменьшается. При этом снижается его активность, что проявляется на показателях прочности шлама при твердении. При воздействии углекислого газа на выделяющуюся при гидратации шлама известь, образуется CaCO_3 , не обладающий вяжущими свойствами. Прочностные показатели образцов материалов зависят от дисперсности и тонкости помола шлама, а также от нагрузки уплотнения. Установлено, что при нагрузке уплотнения 15,0 МПа прочность свеженамытого шлама составляет 1,0-1,2 МПа, а через 90 суток – 4,6-6,0 МПа, увеличиваясь к 360 суткам до 9,0-10,0 МПа [1].

В результате гидратации белита и других активных минералов в системе образуются гидросиликаты, гидроалюминаты и гидроферриты кальция, способствующие повышению прочности. К 28 суткам твердения формируются низкоосновные гидросиликаты кальция типа CS_2H_6 , CSH(A) и CSH(B) и в небольшом количестве гидроалюминаты кальция состава CAH_{10} . Учитывая небольшое содержание сульфатов в составе шлама, активного образования этtringита не отмечалось. Возможно образование моносурьфоалюмината кальция, способствующего повышению прочности образцов на поздних сроках твердения. Высокощелочная среда порового раствора способствует повышению подвижности SiO_2 и Al_2O_3 из активизирующейся стекловидной фазы. Они активно вступают во взаимодействие с известью, обеспечивая формирование новообразований и повышение прочности образцов. К 180 суткам твердения показатели прочности образцов достигают 2,40 МПа (табл. 1).

При обработке грунтов добавками шлама протекает комплекс физико-химических процессов: гидратация белита и активных минералов; активизация стекловидной фазы; растворение солей и выщелачивание SiO_2 и Al_2O_3 щелочным раствором из компонентов смеси; осаждение продуктов, протекающих реакций; формирование новообразований, способствующих улучшению их прочност-

ных показателей во времени. Интенсивность протекающих процессов, условия формирования и состав новообразований в материалах, упрочняющих грунты, и, соответственно, прочностные показатели зависят от их состава, концентрации извести и сульфатов в поровом растворе, а также их соотношений. Изменение концентрации извести происходит в результате высокой адсорбционной способности грунтов к CaO, а также в результате ее вступления во взаимодействие с кремнеземом и глиноземом при образовании новых продуктов реакции. При укреплении грунтов шламом повышается прочность и водостойкость образцов. в результате взаимодействия их компонентов с известью.

Образцы на основе укрепленного моренного суглинка на протяжении всех сроков испытаний отличались более низкими показателями прочности. Это обусловлено повышенным содержанием глинистых частиц, наличием органических веществ и высокой адсорбционной способностью к извести. Прочность образцов изменяется во времени. На ранних сроках твердения прочность составляет 0,50–0,60 МПа и к 28 суткам повышается до 1,40 МПа (табл. 1).

<i>Таблица 1</i>				
Изменение прочности образцов во времени				
Исследованный грунт	Время твердения, сутки			
	1	28	90	180
Нефелиновый шлам	0,30	1,20	1,80	2,40
Моренный суглинок	0,60	1,40	1,10	1,60
Лессовидный суглинок	0,80	1,60	2,10	2,80

Это обусловлено формированием гидросиликатов и гидроалюминатов кальция в результате взаимодействия компонентов грунта и стекловидной фазы шлама с известью. В последующие сроки процесс твердения замедляется, и к 90 суткам отмечается снижение прочности до 0,90-1,10 МПа. Замедление процесса твердения и уменьшение показателей прочности связано со снижением концентрации извести в поровом растворе за счет адсорбции CaO компонентами грунта и стекловидной фазы. За этот период грунтом адсорбируется из системы 70,0-80,0 мг-экв, и стекловидной фазой – около 25,0-45,0 мг-экв. извести. Снижение ее концентрации способствует торможению процесса твердения, изменению условий формирования новообразований и, соответственно, замедленному росту прочности или ее снижению.

На механизм твердения шламогрунтовой смеси оказывают влияние присутствующие в грунте органические вещества. Они увеличивают поглотительную способность грунта к извести. Кроме этого, органические пленки экранируют грунтовые частицы и ограничивают вступление активных компонентов в процесс взаимодействия с известью и образованию упрочняющих соединений.

С увеличением сроков твердения отмечается повышение прочности образцов. Активизация стекловидной фазы и выщелачивание из ее состава подвижных форм SiO₂ и Al₂O₃, вступающих во взаимодействие с известью, способствуют активному формированию в системе гидросиликатов кальция –C₂S₂H; CSH(A); CSH(B) и гидроалюминатов кальция типа CAH₁₀, упрочняющих грунт. Новообразования в большей степени формируются на поверхности крупнопылеватых фракциях грунта, которые являются лучшей подложкой по сравнению с глинистыми частицами.

При укреплении лессовидного суглинка отмечается постепенное повышение прочности на всех сроках испытаний. В системе создаются более благоприятные условия для протекающих процессов. Присутствие карбонатов и гипса оказывают положительное влияние на процесс твердения смеси. Повышенная концентрация извести в поровом растворе создает условия для формирования новообразований разного состава. К 28 суткам образуются гидросиликаты кальция состава C₂SH, C₂S₂H, CSH(A), CSH(B) и гидроалюминаты кальция типа C₂AH₈, способствующие повышению прочности до 1,60 МПа (табл. 1). В системе при взаимодействии извести и алюмината кальция (C₃A), присутствующего в шламе, с гипсом образуется этtringит (C₃AS₃H₃₁), обеспечивающий повышение прочности образцов на ранних стадиях твердения.

В результате адсорбции извести грунтом (30,0-35,0 мг-экв/100 г) и стекловидной фазой происходит снижение ее концентрации в поровом растворе, но в меньшей степени, чем в смеси на основе моренного суглинка. Наряду с этим в системе отмечается снижение концентрации SO₄ в результате адсорбции стекловидной фазой. Уменьшение концентраций этих компонентов несколько

замедляет процесс твердения и определяет снижение интенсивности набора прочности к 180 суткам. Так, если за первые 90 суток твердения прочность достигала 1,60 МПа, то в последующий срок, она увеличилась всего на 0,8 МПа.

В условиях снижения концентрации извести и сульфатов создаются предпосылки для изменения состава новообразований. В материале образуются гидросиликаты кальция меньшей основности в виде C_2S_2H , $CSH(A)$, $CSH(B)$ и гидроалюминаты типа $C_2S_3H_2$. В таких условиях этtringит трансформируется в моноссульфоалюминат, который кристаллизуется с небольшим увеличением объема и не способствует проявлению опасных напряжений в материале.

Заключение

Проведенные исследования показали, что эффективность укрепления грунтов нефелиновым шламом зависит от их состава и свойств, а также от активности основного вяжущего. Определены особенности процессов твердения глинистых грунтов, укрепленных нефелиновым шламом. Установлено, что условия твердения и формирования новообразований в шламогрунтовых смесях, а также показатели их прочности зависят от концентрации извести в поровом растворе и интенсивности ее изменения во времени.

Нефелиновый шлам может использоваться для укрепления исследованных грунтов. При стандартном уплотнении прочностные свойства материалов будут соответствовать требованиям, предъявляемых нормативными документами. При этом влияние состава грунтов на процесс твердения и прочностные показатели материалов сохранится. Более высокая прочность будет характерна при укреплении шламом карбонатных лессовидных суглинков. Укрепленные грунты могут использоваться при устройстве конструктивных слоев дорожных одежд. Для укрепления грунтов с повышенным содержанием органических веществ целесообразно использовать нефелиновый шлам с добавками активизаторов.

Необходимость использования нефелинового шлама диктуется как экономическими соображениями, так и проблемами рационального природопользования и охраны окружающей среды. Утилизация нефелинового шлама позволит снизить негативное воздействие на окружающую среду, освободить занимаемые шламохранилищем площади, сократить расход традиционных вяжущих веществ и уменьшить стоимость производства строительных материалов.

В связи с этим целесообразно продолжать исследования активному использованию шлама отхода для укрепления грунтов. Это позволит существенно сократить объемы накапливаемых промышленных отходов.

Литература

1. Лыткин А.А., Старков Г.Б., Вагнер Е.Я. Исследование эффективности использования белитового шлама для устройства монолитных слоев дорожных одежд методом холодного ресайклинга //Вестник СибАДИ. Т. 17, № 6, 2020. С. 764–776.
2. Методические рекомендации по применению нефелинового шлама Ачинского глиноземного комбината при устройстве оснований автомобильных дорог в районах Западной и Восточной Сибири». – М.: Союздорнии. 1981, 20 с.
3. Шепелев И.И., Стыглиц И.С., Еськова Е.Н. и др. Исследование химических и токсичных свойств нефелиновых шламов для использования в сельском хозяйстве //Вестник КрасГАУ № 2, 2016. С.13–18.

ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ТВЕРДЫХ КОММУНАЛЬНЫХ ОТХОДОВ КАК СПЕЦИФИЧЕСКОГО ВИДА ТЕХНОГЕННЫХ ГРУНТОВ

Е.С. Соломатина, Т.В. Маликова, Г.А. Зарницын

Институт геоэкологии им. Е. М. Сергеева РАН, 101000, Россия, Москва, Уланский пер. 13, с.2
E-mail: baira-lala@mail.ru

Введение

Ежегодно в мире образуется около двух миллиардов тонн твердых коммунальных отходов (ТКО), из них менее 20% перерабатывается, 5,5% компостируется, в то время как захоронение остается наиболее приоритетным способом утилизации [8]. В России 4 млн гектар занято под складирование ТКО [7], а общий годовой объем ТКО к 2024 году вырос до 47,5 млн тонн [2]. Органические отходы составляют около половины от этого объема. С 2019 года государственными стандартами установлено требование к утилизации органических отходов посредством компостирования. Значительный объем техногрунта, получаемого после такой обработки, применяют для ежедневной пересыпки слоев отходов вместо или в смеси с природным грунтом [1]. Информация о химическом составе и физико-механических свойствах таких грунтов, которые в свою очередь зависят от исходного морфологического состава ТКО (соотношение различных видов материалов, таких как органика, пластик, стекло, металл и т.д.), будет способствовать снижению экологических рисков загрязнения окружающей среды и оптимизации технологии пересыпки на полигонах. Это повысит точность прогнозирования осадки тела полигона и устойчивости его откосов. В настоящей статье представлены результаты комплексного изучения ТКО от момента их образования и факторов, влияющих на морфологический состав, до изучения состава и свойств конкретных видов отходов (техногрунтов), составляющих условно минеральную часть массива.

Методика исследования

Для оценки состава отходов были использованы материалы инженерных изысканий по 28 полигонам ТКО в 9 регионах европейской части России (рис. 1).

Основной изучаемый параметр – морфологический состав отходов, полученный в результате анализа валовых проб из скважин (минимум 3) через каждые 5 метров. Для корректного анализа результатов был выполнен пересчет процентного соотношения таких фракций ТКО, как бумага, пищевые отходы, текстиль, стекло, металл, полимеры в каждой пробе, и исключены грунт пересыпки и влажность. Анализ включал в себя:

- 1) оценку среднего значения морфологического состава по каждому полигону и характерные особенности, обусловленные особенностями структуры промышленности и потребительскими привычками населения;
- 2) расчет среднего значения, характерного для Европейской части России;
- 3) оценку статистических взаимосвязей (корреляций) между социально-экономическими показателями (рейтинг качества жизни, безработица, урбанизация [4], ВРП [6] и численность населения [3] на момент закрытия полигонов) и морфологическим составом проб, отобранных в интервале глубин 0-5 м;
- 4) степень разложения органических отходов по глубине (отношение доли каждой фракции и их суммарного содержания в верхней пробе к соответствующим значениям в нижней) в зависимости от климатических параметров.
- 5) ретроспективный анализ (изучались нижние и верхние пробы в зависимости от года открытия и закрытия полигона ТКО).

Для изучения состава и свойств техногрунтов, составляющих около половины от захораниваемого ТКО, были отобраны две валовые пробы на комплексе по переработке ТКО в Московской области. Первая проба прошла этап компостирования зимой и пролежала в отвале до мая (рис. 2а). Вторая проба отобрана непосредственно после этапа компостирования и грохочения (рис. 2б).

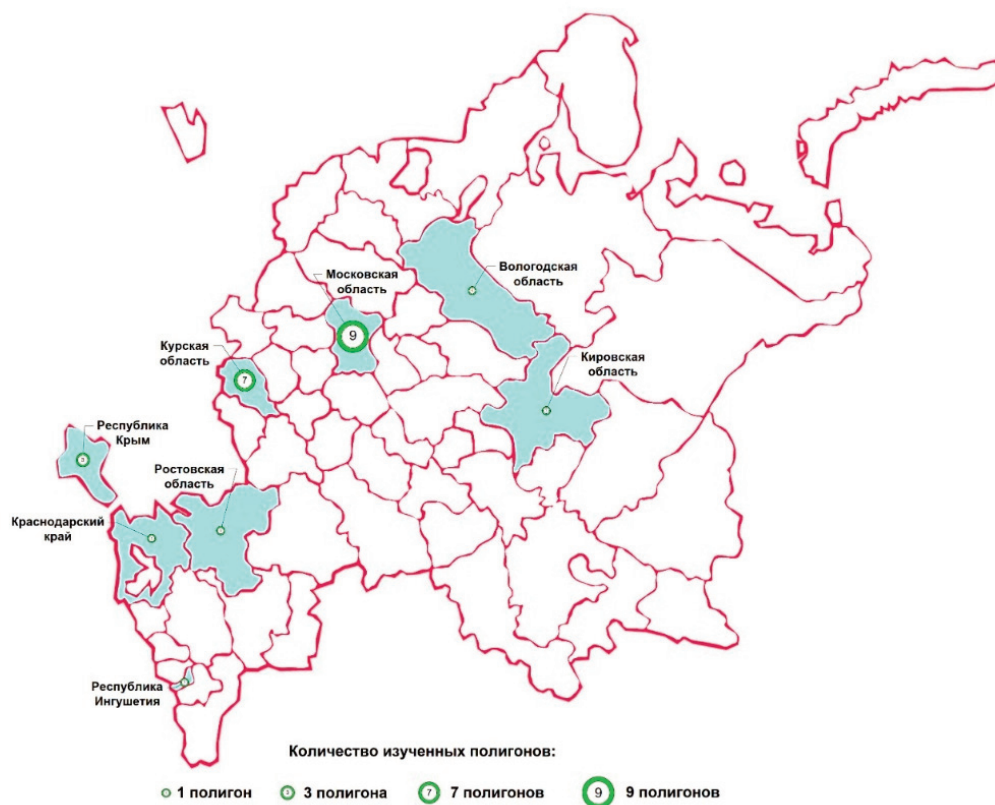


Рис. 1. Карта-схема расположения изучаемых полигонов



Рис. 2. Фотографии отобранных проб: а – проба № 1, б – проба № 2

В лабораторных условиях была определена естественная влажность техногрунта, плотность твердых частиц, измерено содержание органических веществ, содержание крупнообломочной фракции, а также проведено изучение частиц техногрунта под биноклем.

Химико-аналитические исследования включали определение валового состава химических элементов, форм нахождения химических элементов: кислоторастворимых, обменных, водорастворимых. При определении форм нахождения использовался метод вытяжек – водной, ацетатно-аммонийной и азотнокислой. Валовый состав, кислоторастворимые и обменные формы определялись

из материала после определения водной вытяжки. Основные аналитические методы: атомно-абсорбционная спектрометрия (ААС), комбинация методов индуктивно-связанной плазмы (ИСП) и масс-спектрометрии (МС), индуктивно-связанной плазмы (ИСП) и оптической эмиссионной спектрометрии (ОЭС), метод капиллярного электрофореза (СКЭ «Капель-205»).

Исследование деформационных свойств техногрунтов проводилось методом компрессионного сжатия по ГОСТ 12248.4-2020. Для исключения влияния на сжимаемость грунтов крупных частиц, образцы просеивались через сито 2 мм, увлажнялись до природной влажности (74% для пробы №1, 38% для пробы №2) и уплотнялись до проектной плотности 1,0 г/см³. Необходимо отметить, что процесс просеивания грунта ожидаемо позволяет сократить влияние включений на поведение грунта при проведении испытаний, полное его отсутствие он не обеспечивает. Компрессионные испытания проводились при нагрузке 0,025-0,150 МПа, что соответствует максимальной нагрузке на полигоне ТКО.

Исследование прочностных свойств техногрунтов проводилось методом одноплоскостного среза с консолидировано-недренированной схемой при природной влажности техногрунтов. Испытания включали создание сдвигающего усилия при нормальной нагрузке 0,025-0,150 МПа и скорости сдвига 0,05 мм/мин.

Результаты исследования и их обсуждение

Морфологический состав и его изменение по глубине. В Европейской части Российской Федерации структура отходов характеризуется значительным преобладанием органических фракций, составляющих 45% от общего объема ТКО. Состав отходов существенно варьируется в зависимости от специфики промышленной структуры отдельных регионов. Социально-экономические показатели, отражающие уровень жизни населения, оказывают влияние не только на объем образующихся отходов на душу населения, но и на их состав. В более благополучных регионах с высокой долей городского населения содержание текстиля, древесины, стекла, керамики в его составе выше. Количество осадков играют важную роль в интенсивности разложения органики за счет инфильтрации: влага ускоряет процесс разложения органических веществ в верхних слоях. Ретроспективный анализ отходов показал снижение доли древесины, увеличение пищевых отходов, бумаги и картона, и практически неизменное содержание других фракций.

Микростроение техногрунтов. Частицы грунта в пробе №1 характеризуются высокой степенью асимметричности и неоднородностью по морфологии. Наблюдается шарообразная, пластинчатая и удлинённая форма частиц. Шарообразная форма встречается наиболее часто и характерна для минеральных частиц, вероятно, с органической пленкой на поверхности, либо для микроагрегатов, состоящих из частиц с органическим цементом. Пластинчатой формой обладают частицы стекла и пластика. Удлиненная форма частиц встречается наиболее редко и характерна для растительных остатков – веток, корней растений. Размер частиц разнообразен и связан с формой рассматриваемых частиц. Диаметр наблюдаемых шарообразных частиц варьирует от 0,1 до 1 см, средняя длина пластинчатых частиц составляет от 0,05 до 1 см, ширина – от 0,05 до 0,5 см, удлинённые частицы имеют длину до 2 см и ширину до 0,1 см.

Частицы грунта в пробе №2 менее неоднородны, чем в пробе №1. Преобладающая форма частиц – пластинчатая, характерная как для частиц стекла и пластика, так и для минеральных зерен с органическим веществом на поверхности. Преобладание такой формы, вероятно, объясняется разрушением микроагрегатов шарообразной формы в процессе грохочения, следовательно, песчаные частицы приобретают форму, наиболее приближенную к истинной. Шарообразные песчаные частицы и удлинённые, представленные растительными остатками, тоже присутствуют, но в меньшем количестве. Длина пластинчатых частиц варьирует от 0,1 до 1,2 см, ширина – от 0,1 до 0,6 см, диаметр шарообразных частиц составляет 0,2-0,8 см, удлинённые частицы имеют длину до 2 см и ширину до 0,4 см.

Физические свойства техногрунтов. Проба №1 представляет собой песок гравелистый, наполовину содержащий фракции размером менее 1 мм, с относительно невысоким значением плотности частиц (2,15 г/см³) и содержанием органических веществ 27,5%. Проба №2 более однородна и представляет собой дресвяный грунт с преобладающей фракцией размером от 2 до 5 мм, с невысоким значением плотности частиц (1,91 г/см³) и содержанием органических веществ 41,1% (табл 1.).

Сводная таблица физических свойств техногрунтов												
Наименование пробы	Содержание частиц различного размера, %					Природная влажность, %	Гигроскопическая влажность, %	Плотность частиц техногрунта, г/см ³	Плотность техногрунта, содержащего частицы < 2 мм, г/см ³		Относительное содержание органического вещества, %	
	>10,0 мм	10,0-5,0 мм	5,0-2,0 мм	2,0-1,0 мм	<1,0 мм				в максимально рыхлом слоении	в максимально плотном слоении	техногрунт, содержащий частицы > 2 мм	техногрунт, содержащий частицы < 2 мм
проба 1	1,2	15,8	15,3	13,6	54,1	74,0	2,9	2,15	0,60	0,95	27,5	27,2
проба 2	0,0	10,6	53,3	17,1	18,9	38,0	3,8	1,91	0,49	0,77	41,1	30,2

Физико-механические свойства техногрунтов. Характер деформирования техногрунтов при компрессионном сжатии криволинейный и скачкообразный. Уплотнение образцов не всегда происходит сразу после приложения нагрузки, что вероятно связано с неравномерным разрушением стекла, пластика и других материалов при последовательном нагружении. Такой характер деформирования техногрунтов делает невозможным объективное определение их деформационных свойств для каждого интервала нагрузок, поэтому для их оценки был выбран интегральный показатель, характеризующий уплотняемость образца техногрунта во всем интервале нормальных нагрузок – секущий одометрический модуль деформации, величина которого определялась в диапазоне нормальных нагрузок, в котором уплотнение техногрунта проходит закономерно равномерно. Влияние включений в техногрунтах проявляется и при проведении испытаний на срез. Сдвиговые деформации при проведении испытаний развиваются также неравномерно, скачкообразно по мере деформирования и разрушения включений в зоне среза. Результаты проведенных испытаний техногрунтов, приведенные в табл. 2, показывают, что исследованные техногрунты уплотняются очень сильно, величина модуля деформации E_{oed} пробы №1 составляет 1,9 МПа, а пробы №2 – 0,7 МПа. В пробе № 1 уплотнение при природной влажности происходит сразу после приложения нагрузки, тогда как в пробе № 2 – со 2-й ступени. Это объясняется более однородным составом техногрунтов после грохочения, преобладанием частиц с пластинчатым строением, а также с частичным разрушением примесей (стекла, пластика и т.д.) в пробе № 2, Подобный эффект в пробе № 1 будет скорее всего наблюдаться при больших нагрузках, после перераспределения частиц внутри массива и разрушения микроагрегатов. Прочностные свойства техногрунтов существенно различаются, что определяется различиями естественной влажности и морфологического состава исследованных образцов. При природной влажности 38% проба №2 обладает высоким значением угла внутреннего трения – 53°. По мере увеличения влажности (до 74% в пробе №1) значение угла внутреннего трения снижается до 27°. Величины сцепления у проб №1 и №2 схожи – 24 и 21 кПа соответственно.

Результаты определений физико-механических свойств исследованного техногрунта						
Наименование пробы	Влажность W, %	Плотность ρ , г/см ³	Пористость n, %	Секущий одометрический модуль деформации E_{oed} , МПа	Угол внутреннего трения φ , °	Сцепление C, кПа
проба № 1	74С	1,00	73	1,9 интервал нагрузок 0,050-0,150 МПа	27	24
проба № 2	38	1,00	62	0,7 интервал нагрузок 0,075-0,150 МПа	53	21

Выводы

Общая тенденция экономического роста и увеличения доли городского населения в ряде регионов Российской Федерации неизбежно приведет к росту объема отходов на человека в год. Кроме того, возможно изменение морфологического состава ТКО: увеличение доли текстиля, древесины, стекла, керамики. Поскольку большая доля стекла и керамики уходит в переработку и на захоронение попадают в основном мелкие осколки, основные изменения коснутся количества и вида органических фракций, подлежащих компостированию. Увеличение доли текстиля и древесины может изменить химический состав техногрунтов, используемых в качестве пересыпки на новых полигонах. Свойства техногрунта определяются не только его исходным составом, но и последующей обработкой, включая грохочение после компостирования. Грунты, прошедшие этот этап, содержат больше органических веществ, имеют низкую плотность твердой фазы и более однородное строение с меньшим количеством примесей, таких как строительный мусор, пластик, стекло и другие. Техногрунты после процесса грохочения характеризуются в основном пластинчатой формой частиц и пониженным количеством микроагрегатов из-за их механического разрушения, что сказывается на их лучшей уплотняемости при компрессионных испытаниях. При этом одометрический модуль деформации техногрунтов, как до, так и после процесса грохочения, крайне низкий. Техногрунты сразу после компостирования характеризуются высоким значением угла внутреннего трения, очевидно обусловленным влиянием примесей стекла, пластика и иных материалов. В более влажных техногрунтах угол внутреннего трения значительно ниже.

При рекультивации существующих полигонов и несанкционированных свалок необходимо учитывать, что максимальное содержание органических компонентов и, как следствие, их наиболее интенсивное разложение наблюдается в интервале глубин от 0 до 15 метров. При этом в более засушливых регионах это диапазон может увеличиваться.

Литература

1. <https://ec-vector.ru/novosti/ispolzovanie-texnicheskix-gruntov-kompostirovaniya.html> (Дата обращения: 04.12.2025)
2. https://rpn.gov.ru/press/news/podvedeny_itogi_po_forme_2_tp_otkhody_za_2024_god (Дата обращения: 14.10.2025).
3. <https://russia.duck.consulting/maps/> (Дата обращения: 01.07.2025).
4. <https://showdata.rosstat.gov.ru/report/278932/> (Дата обращения: 19.10.2025).
5. <https://showdata.rosstat.gov.ru/report/278932/> (Дата обращения: 19.10.2025).
6. <https://statbase.ru/data/rus-gross-domestic-product-by-region-national-stat/> (Дата обращения: 19.10.2025).
7. [https://t-j.ru/garbage/...](https://t-j.ru/garbage/) (Дата обращения: 14.10.2025).
8. *United Nations Environment Programme (UNEP). Global Waste Management Outlook 2024: Beyond an age of waste. Nairobi, 2024. 116 p.*

ИНЖЕНЕРНО-РАДИО-ГЕОНОМИЧЕСКАЯ МЕТОДОЛОГИЯ И ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА РИСКОВ ОТ ОТХОДОВ ГОРНОРУДНОГО ПРОИЗВОДСТВА (КЫРГЫЗСТАН)

Ш.Э. Усупаев, Э.Э. Атыкенова

Центрально Азиатский институт прикладных исследований Земли, г. Бишкек, 720027, Кыргызская Республика,
г. Бишкек, Тимура Фрунзе 73/2
E-mail: sh.usupaev@caiaig.kg; elita_kg@mail.ru

Введение

На территории Кыргызского Тянь-Шаня и Памиро-Алая выявлены тысячи месторождений минеральных ресурсов, 200 из которых имеют промышленное значение. Современные технологии переработки рудного сырья вследствие их несовершенства приводят к образованию отходов горнорудного производства, опасных при добыче урана и тория, что создает радиационные нагрузки в геоэкологических системах Кыргызстана. Для обеспечения безопасности населения и территории от негативного воздействия геоэкологических и инженерно-руднично геологических рисков бедствий нами на основе генерализации серии аналитических и тематических карт и схем распределения: а. радиоактивных и токсичных хвостохранилищ; б. дозовой нагрузки естественного гамма-излучения; в. гидрохимические аномалии; в. селевой и оползневой опасностей; разработана методология построения и составлена инновационная инженерно-геономическая карта оценки и прогноза геоэкологических рисков, что недостаточно исследовано и представляется актуальной проблематикой в Мире наук о Земле (рис. 1, 2) [1-10].

Методология исследования

Разработана и предложена сопряженная с общими и специализированными геоэкологическими методами и способами обращения с радиоактивными хвостохранилищами и горными отвалами основа инновационной инженерно-геономической методологии, позволяющей из разрозненных аналитических и тематических схем создать интегрированные карты оценки и прогноза георисков. Методологическая основа базируется на принципах геономизации в сфере наук о Земле с учетом геоэкологических методов исследований и включает базы знаний: а. основы общей теории Земли (ОТЗ) И.В. Круть (1973 г.); б. интеграции триады базовых наук о Земле геодинамики, геофизики и геохимии образующей качественно и количественно основу синтеза геонаук в элементарную геономию по В.В. Белоусову (1975 г.); в. модернизации инженерной геологии месторождений полезных ископаемых сквозь призму геоэкологических аспектов охраны окружающей геологической среды академика Е.М. Сергеева (1973-1987 гг.); г. инновационного и комплексного инженерного обоснования геоэкологии В.И. Осипова (1997-2024 гг.); д. выявления экологических функций литосферы и нового научного направления экологической инженерной геологии В.Т. Трофимов и В.А. Королева (1997-2024 гг.). В методологическом отношении к выше приведенным базовым основам геономии, разработана скоррелированная с 4-мя теоретическими основами инженерной геологии, инженерно-геономическая (ИГН) шкала количественной оценки георисков, в данном аспекте экологического радиационного характера, где впервые предложено в отличие от существующих классических подходов генетически взаимосвязанные иерархически взаимодействующие 3 категории уязвимости (КУ) взаимосвязанные с 6 степенями риска (СР) и 12 уровнями опасности (УО). На ИГН-шкале и экспликация карте для оперативного реагирования и принятия практических действий и мер на ЧС иерархии геориски закрашиваются по принципу светофора в направлении уменьшения: красный-желтый-зеленый. По ИГН методологии чем больше геориск, тем интенсивнее цвет окраски КУ, СР и УО на одноименной карте (рис. 2) [1-10].

Изученность

Комплексная гидрогеологическая, гидрологическая, геологическая, геоэкологическая, инженерно-геологическая и радиологическая изученность исследуемой территории представлена в трудах:

П.Г. Григоренко, И. Т. Айтмагова, Э.Д. Прессмана, Р.С. Мангельдина, В.И. Лагутина, В.Е. Матыченкова, Э. Мамырова, Б.И. Иманкулова, Л.Э. Оролбаевой, Н.И. Катаевой, Г.М. Толстихина, С.А. Ерохина, Р.Г. Литвака, М.Н. Большакова, Д.М. Маматканова, А.А. Эргешова, П.И. Чалова, К.О. Осмонбетова, К.Е. Абдрахматова, Б.М. Карпачева, С.В. Менг, Т.В. Тузовой, И.А. Торгоева, Ю.Г. Алешина, К.А. Кожобаева, А.Т. Турдукулова, Б.Д. Молдобекова [1-10].

Результаты исследований

От высокогорного узла Хан-Тенгри с высокой гравитационно-инерционной энергией рельефа горные сооружения Кыргызского Тянь-Шаня закономерно испытывают радиальный распад хребтов чередующихся в субширотном направлении, где более 50% гор и межгорных впадин находятся выше абсолютной отметки 3 км. Регион обладает высокой водностью территории, что благоприятно при прорывах дамб хвостохранилищ для миграции радионуклидов и тяжелых металлов по русам рек и поступления загрязнителей в горизонты подземных вод [1-3, 9-10].

Объекты исследования, отходы горнорудной деятельности размещены на различных инженерно-геологических классах грунтов и представлены: как правило рыхлыми грунтами четвертичными отложениями, с высокими свойствами водопроницаемости. Полускальные грунты палеоген-неогеновые отложения, преобладают слабые по водопроницаемости свойства. Скальные грунты, обладают водоупорными свойствами, однако водопроницаемы в пределах тектонических активных разломов и дизъюнктивных нарушений. Дамбы хвостохранилищ, вследствие давности их возведения и не надлежащей эксплуатации, ослабили свою прочность и при землетрясениях около 7 баллов заметно снижают коэффициенты их устойчивости от $K=1,2$ до $K=0,93$, ранее происходили трансграничные геоэкологические катастрофы характера [9-10].

1. В бассейне р. Майлу-Суу в результате синергетического сочетания землетрясения и выпадения сильных ливневых осадков, прорвалась дамба содержащего уран хвостохранилища №7 9-14.12.1958 г. По руслу реки разрушительный селевой поток объемом 600 тыс. м³ вынесены опасные отходы на территорию Кыргызстана и трансгранично в Узбекистан [1-3, 9-10].

2. Землетрясением 5 баллов произошедшее 15.04.1964 г. прорвана дамба Актюзского радиоактивного ториевого хвостохранилища №2. По р. Кичи-Кемин прорывные потоки заилили русло и низкую пойму реки, а также по арычной ирригационной сети содержащий песок и ил, где объемом около 680 тыс. м³ торий распространился на орошаемых землях в Кыргызстане и трансгранично мигрировал по реке Чу в Казахстан [1-3, 9-10].

3. Внезапная разгерметизация дамбы хвостохранилища содержащего опасные ингредиенты привезенные из Европейских стран в районе г. Кара-Балта в результате водной эрозии в 1959 году, привела к утечке искусственных грунтов в виде пульпы и радиоактивные вещества были вынесены в ирригационные сети и орошаемые поля. В целях оценки геоэкологической уязвимости, рисков и опасности на основе инженерно-геономической методологии нами объединены серии тематических и аналитических карт Кыргызстана масштаба от 1:500 000 до 1:1 000 000: а. гидрохимических аномалий, Малышева А.Ф. (1989 г.); б. дозовых радиационных нагрузок естественного гамма-излучения, Менг С.В. (2002 г.); в. размещения хвостохранилищ и горных отвалов, МЧС КР (2006 г.), г. меридиональных сквозных рудо-контролирующих зон дислокаций и нарушений (Рис.1) [1-3, 9-10].

К наиболее опасным по гидрохимическим аномалиям при наличии 1-2 элемента и содержащие ≥ 10 ПДК по микрокомпонентному составу относится Центральная часть Чуйской впадины и ее южное горное обрамление. В Иссык-Кульской впадине выделены 11 гидрохимических аномалий. Максимальные значения показателя загрязнения составляет 155 единиц и расположены в центральной части северного берега озера Иссык-Куль. В Таласской впадине в пределах низких предгорий выявлены четыре гидрохимических аномалии. Максимальные значения суммарного показателя загрязнения составляет 109 единиц в юго-восточной части впадины. Выделено в Нарынской впадине 5 участков гидрохимических аномалий, суммарный показатель загрязнения составляет 134 единиц и размещены в юго-западной части впадины [1-3, 9-10].

Выделено в Ферганской впадине 21 гидрохимических аномалий, с максимальным значением суммарного показателя загрязнения до 625 единиц в районе с. Советское на юго-западной краевой части впадины.

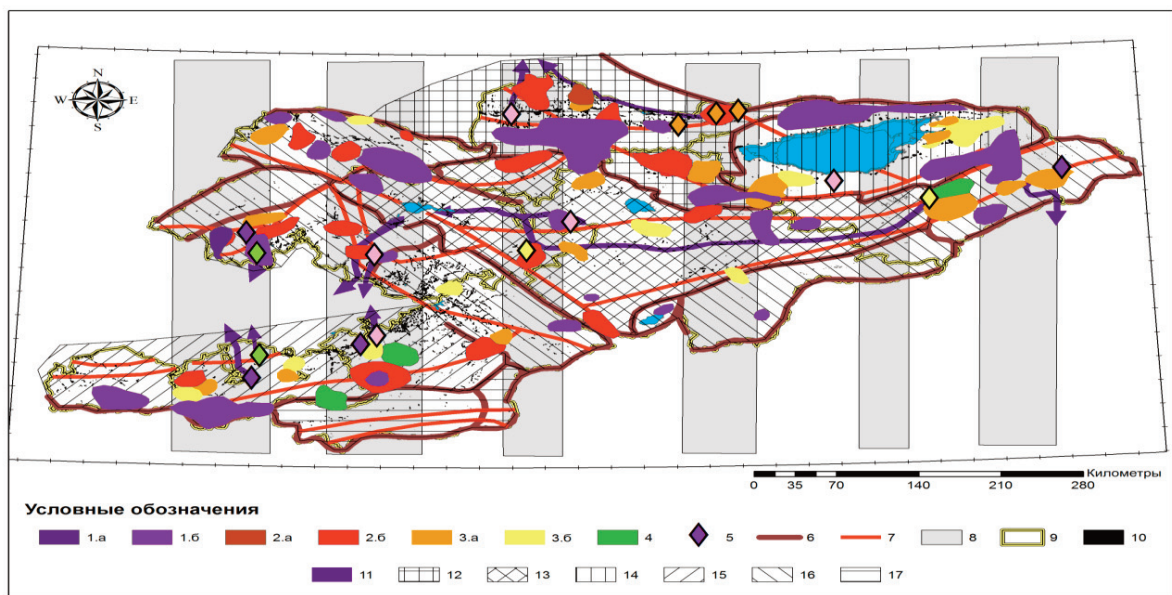


Рис. 1. Инженерно-геономическая карта прогноза геоэкологических рисков

На разработанной инженерно-геономической карте оценки и прогноза георисков, различными цветами показаны районы с суммарным загрязнением от опасных веществ представленными превышающей в количестве раз по возрастанию ПДК : 1 >1-2 раз, 2 > 2-3раз, 3 >3-5раз, 4 >5-8 раз, 5 >8-13, 6 .>11-15 раз, 7 >15-20 раз, 8 >20-30 раз, 9 >30-50 раз, 10 >50-80 раз, 11 >80-110 раз, 12 >110-150 раз, 13 >150-300 раз, 14 >300 раз . На ИГН карте в диссертации, штрихами показаны области с прогнозируемыми георискама от гидрогеохимических аномалий в уменьшающем порядке: 15-Нарынская, 16-Иссык-Кульская, 17-Чуйская, 18-Ошская, 19-Жалал-Абадская, 20-Баткенская, 21-Талаская, 22-региональные глубинные разломы, 23 а-границы водоразделов бассейнов стока рек, 23 б-границы административных областей, 24-меридиональные скрытые рудо-концентрирующие сейсмоактивные системы нарушений [1-3, 9-10].

Обсуждение результатов исследований

На ИГН карте объединены из разных тематических карт 56 участков распределения гидрогеохимических аномалий, 29 участков дозы эквивалентной мощности радиации излучаемой в год, 50 участкам расположения осваиваемых и потенциально перспективных месторождений, где ожидается отходы горного производства, 17 пунктов размещения законсервированных и действующих радиоактивных и токсичных хвостохранилищ и горных отвалов с указанием возможных выносов комплекса загрязнителей по руслам рек. На инженерно-геономической карте оценки и прогноза георисков на территории Кыргызстана представлены шесть (6) ориентированные с севера на юг структуры с шириной зон в км. с запада на восток: I-более 80 км., II-100, III-50, IV-77,V-41, VI-83 км (Рис.1.) [1-3, 9-10].

Первая зона нарушений имеет ширину более 80 км Здесь повышенная сейсмичность, развиты узлы пересечения разломов, расположены эпицентры глубокофокусных землетрясений, линейменты, что свидетельствует о значительной глубине заложения скрытой системы нарушений. Хвостохранилища и горные отвалы Сумсар, Шекафтар, Хайдаркан, Кадамжай расположены в пределах влияния описанной выше меридиональной сквозной зоны (Рис.1). **Вторая зона** меридиональных сквозных нарушений имеет ширину 100 км и характеризуется повышенной сейсмичностью. Зона насыщена магматическими образованиями и выходами гипербазитов. В сфере влияния данной сквозной меридиональной зоны находятся хвостохранилища районгорода Майлу-Суу, Кан и Советское (рис.1). **Третья система** нарушений имеет ширину 50 км и характеризуется выходами сиенитов, узлами пересечения разломов и повышенной сейсмичностью. В области влияния расположены хвостохранилища Кара-Балта, Казарман, отходы радиоактивные района п.г.т. Минкуш (рис. 1). Зона меридиональная **четвертая** имеет ширину 77 км. В данной зоне дис-

локаций находятся узлы пересечения разломов, повышена сейсмичность, приурочены эпицентры глубокофокусных землетрясений. В сфере влияния подпадают хвостохранилища радиоактивные Ак-Тюза, Боорду и Кашка (рис. 1). **Пятая зона** имеет ширину 41 км. Характеризуется эрозионно-тектоническими уступами, линеаменты выражены в виде непротяженных прямолинейных отрезков долин, здесь происходит разворот меридионально герцинских складчатых структур. В зоне влияния дислокаций размещено хвостохранилище Каджи-Сай, а восточнее цианид содержащее хвостохранилище Кумтора (рис. 1). **Зона шестая** имеет ширину 83 км. Здесь характерны выходы щелочных интрузивов, наблюдается множество фрагментарных линеаментов и узлов пересечения разломов. В сфере влияния находятся отходы месторождения Атжайляу (рис. 1). На ИГН карте (рис. 1) выделены фиолетовым цветом разной интенсивности районы опасные по дозовым нагрузкам естественного гамма-излучения для здоровья населения. Темно-фиолетовый цвет показывает 1а районы, где дозовые нагрузки естественного гамма-излучения, являются неудовлетворительными и составляют 4-5 и более мЗв/год, светло фиолетовым цветом выделены 1б-районы которые относятся к условно-удовлетворительным и характеризуются 2-3 м³в/год. Гидрогеохимические аномалии выделены по принципу светофора и по уменьшению георисков находятся в порядке: 2а – катастрофическая, 2б – бедственная, 3а – кризисная, 3б – предкризисная, 4 – дискомфортная, 5 – размещение хвостохранилищ и горных отвалов, 6 водоразделы бассейнов сток и рек, 7 – региональные разломы, 8 – меридиональные скрытые сейсмоактивные зоны дислокации, 9 – границы административных областей, 10а – границы долинной части межгорных впадин, 10 б – населенные пункты [1-3, 9-10].

На ИГН карте (рис. 1) наиболее подверженной георискам является бассейн реки Чу (12-р. Чу), затем 13 – р. Нарын в ее верхнем и среднем течении, 14 – бессточный бассейн озера Иссык-Куль, 15 – реки северного склона Алайского хребта, 16 – реки юго-западного склона Ферганского хребта, р. Талас и р. Тарим, 17 – р. Аму-Дарья. В результате ИГН оценки рассматриваемые 16 районов с отходами горного производства по мере уменьшения георисков расположились в следующей последовательности: 1. Майлуу-Суу, 2. Мин-Куш, 3. Ак-Тюз, 4. Орловка и Кашка, 5. Каджи-Сай, 6. Кутесай и Калесай, 7. Туя-Моюн, 8. Терек-Сай, 9. Кумтор, 10. Сумсар и Шекафтар, 11. Кара-Балта, 12. Атжайляу, 13. Улу-Тоо, 14. Хайдаркан, 15. Макмал, 16. Кан. Отходы размещены как правило в пределах меридиональных шести (6) сквозных систем нарушений, где сейсмичность повышена, поэтому здесь в прогнозном отношении ожидаются проявления в песчаных шламах опасные процессы дилатансии, в суглинках и глинах тиксотропии, а также в целом потери коэффициента устойчивости дамбы начиная с 6 баллов от $K=1,2$ до $K=1,15$, при 7 баллах от $K=1,15$ до $0,93$, 8 баллах от $K=0,93$ до $0,71$, при 9 баллов от $K=0,71$ до $0,54$ и менее. На рисунке 2в по горизонтали приведены ИГН индикаторы, а по вертикали 12 мерная ИГН шкала оценки и прогноза георисков. Предлагаем новые следующие активные меры технической мелиорации грунтов [1-3, 9-10].

Первая группа способов получения искусственных грунтов: 1. Разубоживания радиоактивных отходов с нейтрализацией грунтами, гасящими риски (каменная соль, известь, биогенные и глинистые грунты) до безопасной дозовой нагрузок гамма-излучения. 2. Способ силикатизации и вплавления отходов с грунтами с заданной опасной для здоровья нагрузкой гамма-излучения. 3. Метод предельно сверхтонкого измельчения горных отходов за счет высокой энергии электронов в реакторах диспергации грунтов, извлечения полезных компонентов и получения строительных изделий с заданными свойствами [1-3, 9-10].

Вторая группа способов получения искусственных грунтов связано с вторичным извлечением полезных компонентов из отходов и их преобразования: 1. Способ многократного замкнутого цикла вымывания высокоочищенной дисциплированной водой и безотходного извлечения полезных компонентов. 2. Метод циклического вымораживания воды с концентратом извлеченных полезных компонентов из раствора [1-3, 9-10].

Третья группа методов снижения георисков связано с консервацией и сжиганием опасных ингредиентов: 1. Способ сжигания отсепарированных опасных веществ отходов в низкотемпературной плазме. 2. Метод консервации не извлекаемых опасных компонентов в безопасные саркофаги [1-3, 9-10].

В Кара-Балтинском горнорудном комбинате разработана технология вторичной переработки искусственных грунтов хвостохранилищ, себестоимость получения редких металлов из отходов горного производства на 60% ниже, чем с извлечением их из промышленных руд [9-10].

работы на 23 млн евро с целью рекультивации 16 самых опасных хвостохранилищ, подверженных риску оползней и наводнений. На территории Кыргызстана расположены 92 хвостохранилища и горных отвалов, в том числе 33 хвостохранилища и 25 отвалов с радиоактивными отходами находятся в ведении МЧС. «Росатом» планирует продолжить работы в 3-х областях республики для приведения территорий в радиационно-безопасное состояние [9-10].

Выводы

1. Разработаны основы геоэкологически ориентированной инженерно-геоэкономической методологии оценки и прогноза георисков от воздействия радиоактивных отходов горнорудного производства, преобразованием серии аналитических и тематических гидрогеологических, инженерно-геологических, экологических, сейсмологических карт и схем, позволившие создать инновационные ИГН карты, обеспечивающие решение задач и проблем предупреждения опасных процессов геоэкологического генезиса.

2. Впервые разработан и издан геоэкологически насыщенный информацией «Государственный кадастр отходов горной промышленности Кыргызской Республики (хвостохранилища и горные отвалы)», содержащий 92 паспорта, используемые в Министерстве чрезвычайных ситуаций Кыргызстана, Агентстве по геологии и минеральным ресурсам при Правительстве КР и при чтении лекций на профилирующих кафедрах Кыргызстана.

3. Предложена принципиальная схема геоэкологического получения из отходов горного производства искусственных грунтов с заданными свойствами с применением перспективных способов и технологий вторичной безотходной переработки хвостохранилищ для снижения и ликвидации рисков бедствий.

4. Полученные результаты исследований внедрены в практическую деятельность Департамент мониторинга и прогнозирования чрезвычайных ситуаций, Департамент по обращению с хвостохранилищами, Министерство чрезвычайных ситуаций Кыргызстана, переданы для образовательных целей в специализированные кафедры высших учебных заведений и организации.

Литература

1. Атыкенова Э.Э. Горнодобывающие промышленности и их влияние на окружающую среду. Сборник научных докладов Международной научно-практической конференции, посвященной международному Году Гор. Бишкек, 2002 - С. 233-236.
2. Государственный кадастр отходов горной промышленности Кыргызской Республики (хвостохранилища и горные отвалы). [Текст]. /Ш.Э. Усупаев, Б.М. Карпачев, С.В. Менг, Атыкенова Э.Э. и др.// Бишкек, 2006 - 290 с.
3. Единый порядок составления государственного кадастра отходов на территории Кыргызской Республики. Система нормативных документов. [Текст]. /Ш.Э. Усупаев, Б.М. Карпачев, С.В. Менг, Атыкенова Э.Э. и др.// Бишкек, 2006 - 27 с.
4. Круть И.В. Введение в общую теорию Земли. - М.: Мысль, 1978. - 368 с.
5. Белоусов В.В., Вихерт А.В. / Под. ред. Вопросы геоэкономии (Кора и верхняя мантия). - М.: Изд. МГУ, 1972. - 240 с.
6. Осипов В.И., Шойгу С.К., Владимиров В.А., Воробьев Ю.Л. Природные опасности и общество. - М.: Изд. фирма «КРУК», 2002. - 248 с. 80 с.
7. Сергеев Е.М., Дрянов В.А. Человек и геологическая среда. - М.: Сов. Россия, 1986. -
8. Трофимов В.Т. «Экологические функции литосферы». - М., 1997, 432 с.
9. Усупаев Ш.Э., Молдобеков Б.Д., Атыкенова Э.Э. Прогнозирование рисков от радиоактивных и токсичных опасных хвостохранилищ и горных отвалов. Книга «Мониторинг, прогноз и подготовка к реагированию на возможные активизации опасных процессов и явлений на территории Кыргызской Республики и приграничных районах с государствами Центральной Азии». (Издание 5-ое). Изд-во МЧС КР, Бишкек, 2008 - С. 681.
10. Усупаев Ш.Э., Атыкенова Э.Э. Инженерно-геоэкономическое моделирование распределения ядерных и радиационных объектов на планете Земля и ее субчастях в связи с оценкой рисков экологических аварий (аспекты катастрофоведения). 8-я Международная конференция «Ядерная и радиационная физика» посвященная 20-летию независимости Республики Казахстан. Алматы, 2011 - С. 195-196.

5. ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ИЗЫСКАНИЯ И ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ НА УРБАНИЗИРОВАННЫХ ТЕРРИТОРИЯХ И В ГОРНОПРОМЫШЛЕННЫХ РАЙОНАХ

ВОЗМОЖНОСТЬ ИСКУССТВЕННОГО ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ДИСПЕРСНОЙ КАРБОНАТНОЙ ПОРОДЫ

Т.Т. Абрамова

Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, 119991, Россия, Москва,
Ленинские горы, д. 1
E-mail: attoma@mail.ru

Наблюдаемое сегодня увеличение объема строительства все чаще приводит к освоению территорий с высокими инженерно-геологическими рисками, к которым относятся и участки с развитием карстово-суффозионных процессов в карбонатных породах. На территории России карбонатные породы занимают большие площади. В связи с этим целью данных исследований явилось определение возможности искусственного преобразования карбонатной породы, выветрелой до мучнистого состояния, с помощью однорастворного способа силикатизации.

В настоящее время проектирование инженерной защиты территорий от проявления карстово-суффозионных процессов достаточно широко представлено в работе [6]. Кроме этого, и в арсенале технической мелиорации существует широкий спектр разнообразных методик и технологий по искусственному преобразованию различных типов грунтов [3]. Однако задача по закреплению карбонатной породы остается нерешенной.

На сегодняшний день в технической мелиорации известны способы закрепления доломитовой муки. Наибольший расцвет по подбору всех основных методов ее закрепления приходится на сороковые годы прошлого столетия, прославивших себя развернутым строительством гидроэлектростанций. Это связано с тем, что доломитовая мука часто заполняет трещины скальных пород, проникая туда вместе с циркулирующими подземными водами. В эти годы советскими учеными Г.К. Добрыниным, Б.Ф. Рельтовым, Б.А. Ржаницыным, Н.В. Родионовым и др. было выявлено, что закрепление доломитовой муки цементным раствором, двухрастворной силикатизацией, горячей и холодной битуминизацией невозможно из-за низкого коэффициента фильтрации и малой величины пор грунта. Поэтому в этот период времени был осуществлен огромный прорыв в разработке однорастворного способа силикатизации. В.В. Аскалоновым, Б.А. Ржаницыным, Г.Б. Вайсфельдом, Г.К. Добрыниным, В.Е. Соколовичем был опробован широчайший арсенал кислот и солей в качестве отвердителей силиката натрия.

Однако применяемые рецептуры не обеспечивали устойчивого закрепления доломитовой муки. Возможно, в связи с этим в двух монографиях крупнейших специалистов России в этой области Б.А. Ржаницына [7] и В.Е. Соколовича [9] закреплению доломитовой муки не было уделено внимание. В связи с этим возникла необходимость изучения причин недостаточной эффективности метода силикатизации и выявления путей его усовершенствования. В лаборатории «Исследование влияния геологических факторов на физико-химическое закрепление грунтов» геологического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова была разработана силикатная композиция с использованием поверхностно-активного вещества – формамида, имеющего ряд преимуществ перед неорганическими отвердителями жидкого стекла [2]. С помощью этой разработки было опробовано инъецирование сильнокарбонатизированного (50%) суглинка в основание Малого храма комплекса античного театра в Херсонесе (диплом ВДНХ № 26736, 1986). Вновь к данной разработке пришлось вернуться в связи с возросшей проблемой строительства на карбонатных грунтах, разрушенных до состояния муки.

Для достижения поставленной цели использовалась новая модификация органосиликатного раствора – РОС, отличающаяся от ранее разработанного формамидсиликатного (ФС) более высокой щелочностью ($pH \geq 13,1$). Данный состав РОС обладает патентоспособностью и поэтому в работе полно не рассматривается. Он обладает необходимыми технологическими свойствами для закрепления тонкодисперсных грунтов: низкой вязкостью 1,50-2,05 спз и хорошей регулируемостью времени гелеобразования (60-100 мин. при температуре 18-20°C). Прочность образующегося кремнегеля составляет 0,2 МПа в воздушно-влажной и водной средах через одни сутки после закрепления.

Все существующие силикатные растворы разрабатывались специалистами без учета воздействия состава поровых вод на эффективность инъецирования грунтов. В работах В.И. Сергеева, С.Д. Воронкевича, Т.Т. Абрамовой [8]; Н.Г. Максимовича [5], Н.А. Ларионовой [4], Т.Т. Абрамовой, К.Э. Валиевой [1] и др. представлены результаты воздействия некоторых солей и кислот на песчаные и лессовые грунты, закрепленные однорастворным и двухрастворным способами силикатизации, приводящие к снижению деформационных характеристик преобразованных грунтов. Несмотря на это, проблема воздействия агрессивных вод на искусственно преобразованную карбонатную породу с помощью современных методов технической мелиорации практически не изучена.

Одной из основных задач данных исследований явилось определение устойчивости силикатизированной карбонатной породы в условиях техногенно-кислых сред.

Для экспериментов в лабораторных условиях были отобраны четыре типа мучнистой карбонатной породы (c_2mc) из Юсуповского (г. Подольск) и Домодедовского (г. Домодедово) карьеров Московской области. Состав и основные свойства грунтов представлены в таблице 1.

Гранулометрический состав доломитовой муки (образец № 1) и известняковой муки (образцы 2 и 3) близки к составу песчаных пород, где преобладают частицы размером 0,25-0,10 мм (33,40-46,41%), содержание частиц 0,5-0,25 мм составляет 2,25-31,10%. В составе известняковой муки (обр. 4) преобладают пылеватые частицы 0,05-0,005 мм (61,52%), на долю глинистых частиц ($< 0,001$ мм) приходится 6,74%. Коэффициент фильтрации отобранных образцов резко различается от 0,1 м/сут. (образец № 4) – 5,3-6,0 м/сут. (образцы № 2, 3) до 23,6 м/сут. (образец № 1).

<i>Таблица 1</i>														
Состав и свойства исследованных пород														
№ обр.	Гранулометрический состав, % (диаметр фракций, мм)									Плотность твердых частиц, ρ_s , г/см ³	Плотность скелета грунта, ρ , г/см ³	Пористость, n , %	Минеральный состав	
	2,0-1,0	1,0-0,5	0,5-0,25	0,25-0,10	0,10-0,05	0,05-0,01	0,010-0,005	0,005-0,001	<0,001				кальцит	доломит
1	7,20	8,00	31,10	38,80	14,00	0,83	0,17	-	-	2,81	1,62	42,3	3,0	94,9
2	8,22	1,21	2,25	33,40	12,09	30,52	10,51	0,25	1,55	2,72	1,64	39,7	99,1	-
3	20,41	4,06	7,05	46,41	5,30	14,79	0,89	0,80	0,29	2,71	1,58	41,7	97,3	-
4	-	-	-	8,73	17,10	53,41	8,11	5,91	6,74	2,70	1,52	43,7	94,0	-

Примечание: 1, 4 – Юсуповский карьер; 2, 3 – Домодедовский карьер.

Лабораторные опыты состояли из двух последовательных этапов: упрочнение дисперсного карбонатного грунта методом пропитки и исследование закрепленных образцов в различных средах. Грунт нарушенного сложения с заданной пористостью спрессовывался до размера 2,4x2,5 см и пропитывался раствором РОС без давления по методике В.Е. Соколовича [9], наиболее распространенной в технической мелиорации. Упрочнение грунтов при использовании этой методики значительно уступает по прочностным показателям инъецированию в лаборатории. Однако именно она дает возможность получать хорошую сходимость полученных результатов закрепления. Затем образцы подвергались испытаниям в различных средах.

Максимальные значения прочности как в воздушно-влажной, так и в водной средах были получены для образцов 2 и 3. Их прочность составляет 0,9-1,0 МПа через 1 сутки, 1,0-1,2 МПа через 0,5 года и 1 год в воздушно-влажной среде. В водной среде их прочность за данные промежутки

времени снижается незначительно, до значений 0,7-1,0 МПа (1 год). Прочностные характеристики для доломитовой муки (обр. № 1) значительно ниже, достигая 0,4 МПа через 1 год хранения в водной среде. Это обусловлено тем, что при воздействии РОС на доломит, образуется меньшее количество гидратов окиси кальция и магния из-за меньшей растворимости этого минерала, а также высокой дисперсности грунта.

Минимальные прочностные характеристики получены и для наиболее дисперсной известняковой муки (обр. № 4) – 0,4 МПа через 1 сутки воздушно-влажного хранения. К 1 году они увеличиваются до значений 0,55 МПа. Длительное твердение закрепленных образцов в водной среде (1 год) не приводит к резкому снижению показателей (табл. 2). Доказательством устойчивого взаимодействия раствора с грунтом служит высокий коэффициент размягчения (1,0). Возможно, такие значения прочности обусловлены частичным вхождением золя кремниевой кислоты в раздвижную решетку глинистых минералов.

Было определено, что устойчивость в водной среде всем изученным образцам обеспечивает высокая степень полимеризации кремниевой кислоты (97-99%), т.к. содержание водорастворимой SiO₂ в образцах незначительно (0,022-0,067 г/100 г грунта).

<i>Таблица 2</i>										
Прочность закрепленных образцов известняковой муки (№ 4) при хранении в различных средах										
Условия хранения			Прочность, МПа							
раствор	Конц-ция	среда	0 сут.	7 сут.	1 мес.	0,5 г	1 г.	2 г.	4 г.	
H ₂ O		1	0,40	0,45	0,40	0,40	0,30	0,30	0,20	
		2		0,40	0,40	0,30	0,30	0,30	0,30	
Na ₂ SO ₄	2,5 г/л	1		0,35	0,35	0,30	0,30	0,30	0,20	
		2		0,40	0,40	0,35	0,35	0,35	0,30	
	5 г/л	1		0,30	0,30	0,30	0,25	0,20	0,20	
		2		0,40	0,35	0,35	0,30	0,30	0,30	
20 г/л	1	0,30		0,30	0,30	0,20	0,20	0,20		
	2	0,40		0,40	0,35	0,35	0,30	0,30		
H ₂ SO ₄	0,001 н	1		0,35	0,35	0,30	-	-	-	
	0,01 н	1		0,30	0,30	0,30	-	-	-	
	0,1 н	1		Корка на поверхности образцов						
	0,25 н	1		Корка на поверхности образцов						
Примечание: 1 – со сливом раствора, 2 – без слива раствора.										

Микроструктура цементирующего геля в закрепленных образцах, твердеющих в воздушно-влажной среде 1 год, характеризуется наличием коллоидных частиц кремниевой кислоты, которые образуют плотно слившиеся агрегаты SiO₂. Структура геля на поверхности частиц кальцита и на контакте частиц, и в поровом пространстве плотная, что может обеспечивать образцам значительную стойкость в агрессивных средах.

Физико-химический процесс закрепления грунтов происходит в основном в более дисперсной его части. Поэтому исследования по устойчивости закрепленных образцов в сернокислых средах были проведены с использованием наиболее тонкозернистой известняковой мучнистой породы, не получившей высоких прочностных показателей (обр. № 4).

Воздействие агрессивных поровых вод на закрепленные образцы исследовалось на примере сернокислых солей натрия и растворов серной кислоты. Образцы карбонатной породы после закрепления помещались в различные растворы: дистиллированная вода, Na₂SO₄ с минерализацией от 2,5 до 20 г/л и H₂SO₄ от 0,001 н до 0,25 н. Моделирование процесса воздействия перечисленных растворов на закрепленные образцы проводилось при соотношении твердой и жидкой фаз (Т:Ж) 1:10 в течение 4 лет со сменой через определенные промежутки времени (1, 3, 7, 14, 30, 60, 90 сут.; 0,5; 1; 1,5; 2; 3; 4 года) и без смены контактирующего раствора.

Известно, что различные грунты, закрепленные силикатными растворами, при длительном хранении в воде понижают свою прочность. Это связано с тем, что часть геля кремниевой кислоты, цементирующей частицы грунта, выщелачивается. Проведенные исследования показали, что незначительная потеря прочности у закрепленных образцов наблюдается только через 1 год водного хранения (табл. 2).

Образцы, хранившиеся в сернокислых растворах без их сливов в течение 3,5 лет, имеют более высокие прочностные показатели, чем твердеющие в условиях постоянного слива. В связи с этим были изучены различные формы SiO₂ в образцах, длительно находящихся в различных средах: водных и техногенно-кислых. Определения общего содержания кремниевой кислоты, водорастворимой и полимеризованной, могут показать степень полимеризации SiO₂ – основного цементирующего вещества в преобразованном грунте. Рассмотрение различных форм кремниевой кислоты через 3,5 года показало незначительное содержание SiO₂ водорастворимой: 0,056 г/100 г в водной среде; 0,051-0,059 г/100 г грунта в солевых растворах, высокую степень полимеризации во всех изученных средах от 97,3-96,7%, что доказывает высокую их устойчивость к этим средам.

Результаты валового анализа преобразованных грунтов, хранящихся длительное время в водных и минерализованных растворах, также могут свидетельствовать о их высокой устойчивости в этих условиях (табл. 3). Содержание основных компонентов карбонатных пород CaO и MgO практически не изменяются. Прослеживается только незначительное увеличение SO₃²⁻ (0,23%). Эти исследования были проведены с помощью спектрометра «AXIOS Advanced» в лаборатории ГЕОХИ РАН.

<i>Таблица 3</i>												
Химический состав закрепленных образцов, хранившихся в различных средах												
Условия хранения				Валовой химический состав (рентгенофлуоресцентный анализ), %								
среда	раствор	Концентрация	время	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	SO ₃ ²⁻	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	п.п.п.
1			1 сут.	6,19	0,70	1,15	0,17	0,38	49,28	1,62	0,15	40,35
2	H ₂ O		3,5 г.	7,74	0,79	1,17	0,19	0,40	48,60	0,25	0,09	40,40
2	Na ₂ SO ₄	2,5 г/л	3,5 г.	7,93	0,77	1,16	0,17	0,39	49,30	0,32	0,10	39,85
2		5 г/л	3,5 г.	7,20	0,72	1,17	0,23	0,41	49,75	0,38	0,11	39,88
3	H ₂ SO ₄	0,1 н	0,5 г.	7,37	0,88	1,14	16,81	0,35	53,52	0	0,11	19,51
		0,25 н	0,5 г.	8,74	0,94	1,37	17,04	0,32	53,69	0	0	17,93

Примечание: 1 – воздушно-влажная среда; 2 – без слива; 3 – слив; п.п.п. – потеря при прокаливании

Удивительным результатом явилась высокая устойчивость закрепленных образцов в растворах серной кислоты до 0,01 н (рН ≥ 2,20) (см. табл. 2). Это обусловлено высокой степенью нейтрализации кислого раствора щелочными компонентами силикагеля. При увеличении концентрации серной кислоты до 0,1-0,25 н (рН до 0,94) уже через 1 месяц на поверхности образцов появляется плотная корка гипса. Чем ниже рН контактирующего раствора, тем толще и плотнее гипсовая пленка. В образцах увеличивается количество SO₃²⁻ от 0,17 до 17,04% и резко снижается потеря при прокаливании (см. табл. 3), что свидетельствует о начале разрушения. Такие высокие концентрации кислых агрессивных сред в природе возможны лишь в экстремальных условиях: протечки на химических предприятиях, другие сильные проливы.

Таким образом, проведенные исследования показали высокую устойчивость известняковой муки, закрепленной РОС в водном, слабо- и сильноминерализованных растворах сернокислого натрия и растворах серной кислоты (до 0,01 н). Это обусловлено хорошей адгезионной способностью кремнезема к минеральной поверхности кальцита и высокой степенью полимеризации кремниевой кислоты, что позволяет рекомендовать РОС в борьбе с сульфатной агрессией карбонатных пород.

Литература

1. Абрамова Т.Т., Валиева К.Э. Влияние агрессивных сред на устойчивость преобразованного грунтового массива // *Материалы международной конференции «Геохимия и минералогия экосистем крупных городов»*. – С.Пб: ВВМ. – С. 3-5.
2. Абрамова Т.Т., Воронкевич С.Д. А.с. 700583, СССР, МПК E01D 3/14, Состав для закрепления грунта. – заявитель: Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, № 2617439/29-33. – заявл. 19.05.78. – опубл. 30.11.79. – Бюл. № 44.
3. Воронкевич С.Д. Основы технической мелиорации грунтов: учебное пособие Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова. — 2-е изд., перераб. и доп. — Москва: Научный мир, 2005. — 498 с.
4. Ларионова Н.А. Оценка устойчивости укрепленных лессовых грунтов в агрессивных средах // *Материалы IX Всероссийской научно-технической конференции «Современные проблемы геологии, геофизики и геоэкологии Северного Кавказа»*. – М.: ИИЕТ им. С.И. Вавилова РАН. – 2019. – Т. 9. – С. 641-649.
5. Максимович Н.Г. Постинъекционные процессы при тампонировании гипсоносных карбонатных пород силикатными растворами: на примере Камской ГЭС: диссертация ... кандидата геолого-минералогических наук: 04.00.07. – Москва. – 1984. – 205 с.
6. Методические рекомендации по проектированию геотехнических мероприятий инженерной защиты территорий от проявления карстово-суффозионных процессов. М., 2017.
7. Ржаницын Б.А. Химическое закрепление грунтов в строительстве. – М.: Стройиздат, 1986. – 263 с.
8. Сергеев В.И., Воронкевич С.Д., Абрамова Т.Т. Влияние поровых вод на параметры инъецируемого раствора и физико-механические свойства искусственного закрепления грунтов // *Материалы конференции по влиянию поровых вод на физико-механические свойства пород*. Киев. 1974. – С.263-269.
9. Соколов В.Е. Химическое закрепление грунтов. – М.: Стройиздат, 1980. – 118 с.

СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ГРУНТОВ ВЫСОКОЙ НАСЫПИ У ШЛЮЗА №8 КАНАЛА ИМЕНИ МОСКВЫ

О.С. Барыкина¹, П.Н. Бондаренко¹, Е.А. Чалая¹, И.В. Аверин²

¹МГУ имени М.В. Ломоносова, 119991, Москва, ГСП-1,
Ленинские горы, 1, ГЗ МГУ имени М.В. Ломоносова, геологический факультет
E-mail: barykinaos@my.msu.ru

²ООО «Инженерная Геология», 121552, Москва, ул. Ярцевская, д.16, пом. I
E-mail: i.averin@mail.ru

Один из интереснейших гидротехнических объектов раннего советского периода – канал имени Москвы – скоро будет отмечать 90-летний юбилей.

История строительства канала начинается 5 июня 1931 г., когда было принято решение о постройке канала Москва-Волга. В соответствии с этим в сентябре 1932 г. строительство было начато, а 1 мая 1937 г. - было закончено. И уже 2 мая первые специально построенные теплоходы подошли по каналу к причалам Северного речного порта Москвы. 15 июля 1937 г. закончился период пуска и пробной эксплуатации, и канал Москва-Волга вступил в число действующих сооружений Советского Союза.

Решение о постройке канала было принято для решения водохозяйственных проблем Москвы. До постройки канала Москва-река в межень несла около 10-15 м³/сек, в засушливые годы расход снижался в два раза, а после забора воды из реки Рублевским водозабором в пределах города воды оставалось еще меньше. Между тем, загрязнение реки в пределах города постоянно увеличивалось. Были необходимы как переустройство системы канализации, так и обводнения реки и ее притоков [4]. Канал Москва-Волга стал вторым звеном сталинского плана коренной реконструкции водных путей Европейской части Советского союза. Первым звеном этого исторического плана был Беломорско-Балтийский канал им. Сталина. В связи с грандиозным планом по реконструкции Москвы, было необходимо обеспечить столицу стабильными и недорогими поставками грузов, в т.ч. строительных материалов, нефти, дров и т.д. Для этого было необходимо строительство транспортной и водоснабжающей артерии.

Физико-географический очерк. Протяженность канала (от Москвы до Ивановского водохранилища на р. Волге) – 128 км. Канал соединяет верховья р. Волги с р. Москвой. Волжская вода перекачивается на водораздел по пяти ступеням мощными насосными станциями. Общая высота подъема воды из Ивановского водохранилища составляет 38 м, а спуск с водораздела в р. Москву – 36 м. На водораздельном участке канала длиной более 50 км образована цепь водохранилищ - Химкинское, Клязьминское, Пироговское, Учинское, Пестовское и Икшинское [2]. Первые 74 км канал поднимается по северному склону Клинско-Дмитровской гряды. В пределах этого участка – 5 шлюзов № 2 - № 6. Далее канал пересекает Волжско-Окский водораздел, длина этого участка – 50 км. На последнем участке длиной 3 км канал спускается на 36 м к руслу реки Москвы, где расположены два шлюза – № 7 и № 8, между которыми канал проходит по искусственной насыпи.

Рассматриваемый участок трассы канала, располагается на пойменной террасе реки Москвы, осложненной речками Химкой и Чернушкой. Поверхность террасы здесь спланирована (дамбы канала, насыпи, выемки на дне канала, Тушинские тоннели под каналом, спрямление реки Химки). [7].

Инженерно-геологические условия рассматриваемой территории. Геологическое строение. Волго-Балтийский водный путь проходит по северо-западному склону Московской синеклизы и южному склону Балтийского щита. По мере движения от Москвы на север и северо-запад мезозойские отложения (меловые, юрские, триасовые) сменяются все более древними палеозойскими породами (пермскими, каменноугольными, девонскими, ордовикскими и кембрийскими) [2].

До начала строительства геологический разрез вдоль трассы канала был изучен крайне неоднородно, в связи с чем, в период с 1932 по 1937 гг., было пробурено более 600000 пог. метров скважин, а также были использованы данные, полученные при бурении 150 артезианских скважин.

Наиболее древними слоями, послужившими основанием для некоторых сооружений канала, как например, Карамышевский гидроузел, являются известняки и доломиты с прослоями мергелей и

мергелистых глин верхнего и, частично, среднего отдела каменноугольной системы. Воздействие агентов выветривания на этот огромный массив растворимых карбонатных пород привело к закарстованности выветрелой кровли известняков [4, 6].

Юрские отложения широко распространены к северу от Москвы. На большей части площади своего распространения они залегают обычно ниже уровня базиса эрозии, иногда на глубине 100-180 м от дневной поверхности. Они представлены морскими осадками верхнего отдела. Общая мощность юрских отложений крайне непостоянна. Это связано с ледниковой эрозией и размывом их в меловое время. Наибольшая мощность пород (до 30-60 м) вскрыта буровыми скважинами в отдельных точках северной части Московской области [2].

На рассматриваемой территории отложения верхнеюрского возраста представлены суглинками и глинами темно-серыми до черных, тугопластичными до полутвердых, с включениями остатков фауны. Верхнеюрские глины являются региональным водоупором и залегают на абсолютных отметках порядка 122,5-118,9 м. Мощность отложений достигает 10 м [7].

Отложения меловой системы преимущественно размыты, однако сохранились в окрестностях Москвы и в наибольшей степени на возвышенных частях Клинско-Дмитровской гряды и представляют собой чередование дисперсных водопроницаемых и водонепроницаемых пород, что обуславливает наличие нескольких водоносных горизонтов с напорными водами. Наиболее постоянный и повсеместно распространенный водоносный горизонт приурочен к известнякам и доломитам верхнего отдела каменноугольной системы. Над отложениями юрской системы имеется другой горизонт напорных вод, использованный при строительстве канала.

Наиболее молодой комплекс геологических образований состоит из отложений четвертичной системы. В составе четвертичных образований различаются ледниковые и аллювиальные отложения, в которых также присутствуют водоносные горизонты. В межморенных песках встречаются слабонапорные и малообильные воды [4].

Среднечетвертичные ледниковые отложения днепровского горизонта слагают коренные склоны и участок второй и третьей террасы р. Москвы. Представлены суглинками тугопластичными, опесчаненными, содержащими гравий, гальку щебень и небольшие валуны, мощностью до 8,2 м. Современные аллювиальные отложения, выполняющие пойму р. Химки, представлены песками мелкими и средней крупности с гравием и щебнем, перекрытые иловатой супесью и торфом, мощностью до 10 м.

Техногенные отложения представлены суглинками и песками, образованными планировочными работами по возведению дамб. Общая мощность насыпных грунтов изменяется от 0,5 м до 17,1 м [2] (рис. 1).

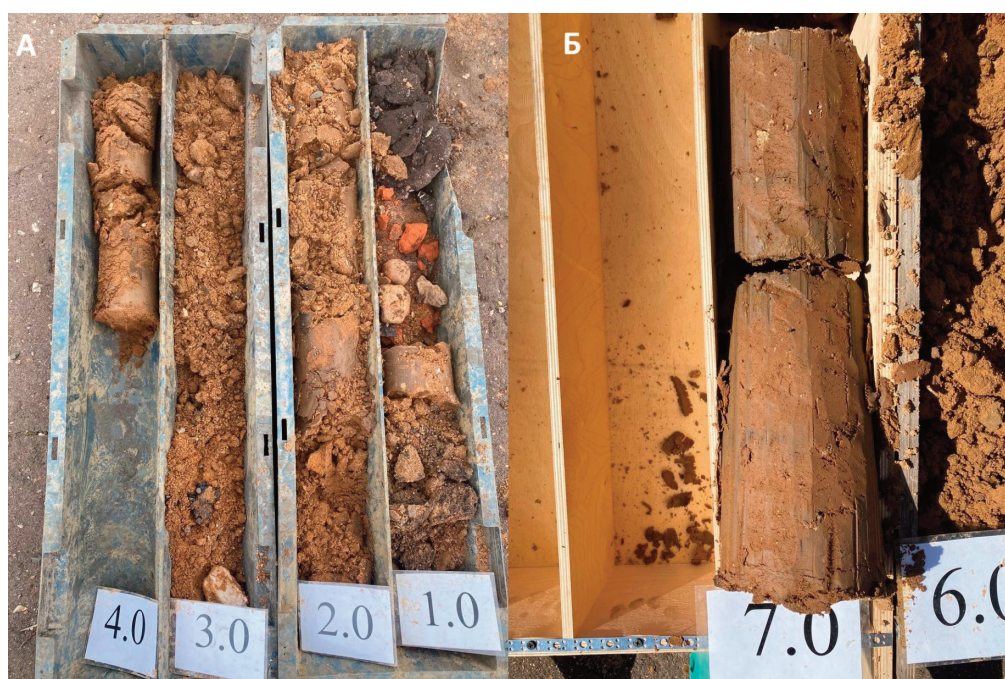


Рис. 1. Техногенные насыпные грунты песчаного (А) и глинистого (Б) состава (фото Бондаренко П.Н.)

Гидрогеологические условия. Основной водоносный горизонт приурочен к мощным толщам преимущественно песчаных отложений различных стратиграфических горизонтов, подстилающих морену. Водоупором служат суглинки нижеволжского и оксфордского ярусов юрской системы. В результате планировочных работ при строительстве канала им. Москвы с глубиной фарватера до 7,18 м, с несколькими транспортными туннелями под каналом с системой дренажей, гидрогеологические условия участка работ стали сложнее. За счет того, что долина р. Химки засыпана песками, грунтовые воды распространяются теперь по аллювиальным отложениям р. Химки и техногенным песчаным грунтам, перекрывающим долину реки.

Уровень воды в канале поддерживается на отметках 142,20-143,95 м. Перепад высот между уровнем воды в канале и поверхностью проезжей части в туннеле (128,49 м) составляет 16,31 м [7].

Геологические и инженерно-геологические процессы. На исследуемой территории развит процесс сезонного промерзания грунтов и составляет 1,10 м для глин и от 1,34 до 1,44 м для песков. Согласно [8], по категории опасности пучения, рассматриваемая территория относится к умеренно опасным, а по наличию процесса подтопления относится ко II области (потенциально подтопляемая), по условиям развития процесса к району II-Б2 (потенциально подтопляемая в результате техногенных аварий и катастроф). С точки зрения проявления карстовых и суффозионных процессов территория относится к неопасной: несмотря на распространение на исследуемой территории карстующихся каменноугольных известняков (по данным карт, составленных ГБУ Мосгоргеотрест в 2010 году) сплошность юрского водоупора не нарушена, прямой гидравлической связи между надъюрским и каменноугольными водоносными горизонтами нет; по результатам статического зондирования зоны разуплотнения в песках четвертичного возраста не обнаружены; пески и суглинки, слагающие геологический разрез площадки, являются несуффозионными [7]. Часть искусственных откосов канала деформирована, что может говорить о наличии поверхностных оползней, которые необходимо контролировать применением различных противооползневых мероприятий [9].

Насыпи канала имени Москвы. На строительстве канала Москва-Волга стоимость земляных работ составила 30,9% от стоимости всех произведенных на строительстве работ.

Все насыпи на строительстве по степени их ответственности были разбиты на три категории [5].

1. Наиболее ответственные насыпи, связанные с устройством из суглинков или торфа экранов и понуров различных гидротехнических сооружений; в частности: устройство экранов и понуров плотин и приканальных дамб; забивка суглинками пазух донных водоспусков бетонных плотин; устройство из суглинков шпор, замков, зубьев, ядер и диафрагм у различных сооружений;

2. Основные насыпи тела плотин, приканальных и ограничивающих водохранилища дамб; устройство оторочек из суглинка у насыпей и дамб кавальерного типа и забивка пазух суглинками у более мелких сооружений;

3. Насыпи менее ответственные, а именно: обратные засыпки пазух камер и нижних голов шлюзов; отсыпка песчаной пригрузки откосов, выемок, плотин, дамб и т.д.

Основным критерием установления годности грунтов для тела насыпи являлись требования проекта и условия работы самого грунта в тех частях сооружения, для которых грунт по проекту предназначался. Так, например, для тела плотин и дамб назначались самые разнообразные грунты (юрские супеси и суглинки, аптские пески, моренные, делювиальные образования и т.д.), если только они были достаточно устойчивы на сдвиг и если коэффициент фильтрации их не превышал установленных проектом норм. Для таких частей плотин и дамб, как экраны, ядро, диафрагмы и оторочки, которые должны быть и водоупорны, и устойчивы на сдвиг, назначались главным образом моренные суглинки и супеси, а также делювиальные средние и легкие суглинки лучшего качества с достаточно большим и отвечающим проекту коэффициентом сдвига. [5].

Особенности высокой насыпи между шлюзами №7 и №8. Для создания насыпи использовались местные моренные суглинки. Генезис данных образований обуславливает их слабую отсортированность, а также объясняет наличие в них большого количества валунов, щебенки, галечника и гравия. Слабая сортировка моренных глинистых образований почти всегда идет вместе с наличием в толще суглинков своеобразных песчаных замкнутых прослоев и линз, стягивающих к себе воду и иногда являющихся очагами перенасыщенного водой грунта, придающего неравномерную влажность массиву [5]. Отмечается особая устойчивость моренных суглинков к размоканию. Вероятно, это объясняется наличием дисперсной раздробленной извести и других, в частности - серосодержащих, соединений, придающих моренному суглинку свойства довольно прочного цемента.

Большая мощность моренных суглинков, характеризующаяся большим объемным весом скелета и малой пористостью, создает известные трудности при укатке грунта с малой влажностью. Укладывать грунты необходимо при влажности оптимального уплотнения, при которой обеспечивается максимальная плотность скелета грунта [3].

Ключевой особенностью насыпи между седьмым и восьмым шлюзами является тот факт, что она выступает не только в качестве основания шлюза, но также и является вмещающим его массивом. Примечательно то, что под этой искусственной насыпью проходит Волоколамское шоссе, с автомобильным, трамвайным и пешеходным движением. Учитывая всю комплексность данного участка, его можно назвать по-настоящему уникальным для мирового опыта строительства (по крайней мере, на момент строительства канала имени Москвы, а именно тридцатых годов прошлого столетия) [1].

Первая авария за 80-летнюю историю Тушинского тоннеля произошла в 2019 г. Бурый фонтан воды, смешанной с песком и глиной, хлынул из дамбы на улице Сходненской, в пяти метрах над землей. В насыпи шлюза №8 канала имени Москвы, высотой около 17 метров, образовалась крупная промоина в 75 квадратных метров.

В последние годы, в связи с реконструкцией, по всей трассе канала имени Москвы проводятся инженерно-геологические изыскания. На участке высокой насыпи правого берега канала у шлюза №8 были отобраны пять образцов с разных глубин от 7 до 12 м. Грунты неоднородны, содержат включения пород разного размера (от 0,2 до 5 см) и состава – преобладают не окатанные обломки карбонатных пород, гранита, песчаника (занимающие от 10 до 15% объема исследуемых образцов).

По данным гранулометрического состава с увеличением глубины содержание пылеватых частиц увеличивается от 14 до 27%, в свою очередь содержание песчаных частиц уменьшается от 70 до 62%. Такие же закономерности отмечены по результатам микроагрегатного анализа – увеличение пылеватых частиц от 23 до 31%, и уменьшение песчаных частиц от 74 до 66%. Вероятно, это связано с разрушением песчаных частиц, переходящих в пылеватую фракцию.

Плотностные и влажностные показатели, в целом, имеют хаотичное распределение вглубь по разрезу, и колеблются в небольшом интервале. Плотность грунта – от 2,23 до 2,30 г/см³, плотность твердых частиц колеблется от 2,69 до 2,72 г/см³, а плотность скелета грунта имеет диапазон от 2,21 до 2,28 г/см³. Естественная влажность колеблется от 9 до 10%. Это связано со спецификой подготовки насыпи, при которой грунт подвергался оптимальному уплотнению при оптимальной влажности.

При изучении прочностных характеристик были выявлены некоторые закономерности. Показатели угла внутреннего трения увеличиваются с глубиной в диапазоне от 34° до 53°, что напрямую связано с распределением крупнообломочной фракции. Остаточный угол в свою очередь уменьшается в интервале от 63° до 37°, что происходит вследствие уменьшения количества песчаных частиц. Показатели сцепления грунтов вниз по разрезу уменьшаются (от 0,053 до 0,02 МПа), что говорит о более прочных контактах в верхней части разреза.

В целом, состояние грунтов, использованных при строительстве сооружений канала, можно охарактеризовать как удовлетворительное. Они проходили качественный отбор и подготовку перед возведением насыпи, а возникновение фильтрационных явлений, и склоновых деформаций на рассматриваемом участке маловероятно.

Литература

1. Барыкина О.С., 2018. Вторая научно-учебная практика магистрантов кафедры инженерной и экологической геологии Московского государственного университета. *Инженерные изыскания, Том XII, № 1-2, с. 90-102*
2. *Геологический путеводитель по каналу им. Москвы и Волго-Балтийскому водному пути им. В.И.Ленина, Л., Наука. 1968*
3. *Инженерная геология России. Том 1. Грунты России. Под ред. В.Т. Трофимова, Е.А. Вознесенского, В.А. Королева. М.: КДУ, 2011*
4. *Канал Москва-Волга. 1932-1937. Технический отчёт. Л. Стройиздат. 1940*
5. *Канал Москва-Волга. 1932-1937. Земляные работы. Л. Стройиздат. 1940*

6. Личков Б. Геологическое строение района. «Москваволгострой», технико-экономический журнал строительства канала Москва-Волга НКВД СССР, №4, 1935
7. Отчет по результатам инженерно-геологических изысканий АО «Ленгидропроект» Разработка и реализация комплексного проекта реконструкции объектов инфраструктуры канала имени Москвы, 2022
8. СП 115.13330.2016 Геофизика опасных природных воздействий. Актуализированная редакция СНиП 22-01-95, Минрегион России. М, 2015
9. СП 116.13330.2012. Инженерная защита территорий, зданий сооружений от опасных геологических процессов. Основные положения. Актуализированная редакция СНиП 22-02-2003

О КЛЮЧЕВОЙ РОЛИ АБИОТИЧЕСКИХ И БИОКОСНЫХ КОМПОНЕНТОВ В ФУНКЦИОНИРОВАНИИ ЭКОЛОГО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ СЕЛИТЕБНЫХ КОМПЛЕКСОВ

А.Н. Галкин¹, В.А. Королев²

¹Витебский государственный университет имени П.М. Машерова,
210038, Беларусь, г. Витебск, Московский пр-т, 33
E-mail: galkin-alexandr@yandex.ru

²Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова,
119991, Россия, г. Москва, Ленинские горы, д. 1
E-mail: va-korolev@bk.ru

Эколого-геологические системы (ЭГС), формирующиеся на массивах грунтов различного состава и состояния, являются основным объектом исследований экологической геологии. Согласно В.Т. Трофимову [5], *под эколого-геологической системой следует понимать определенный объем литосферы с находящейся в ней и на ней биотой, включая человека и социум, на которые воздействуют природные и техногенные факторы, в результате чего развиваются современные геологические процессы, влияющие на условия жизни биоты.* Их выделение позволяет в полной мере выявить взаимосвязь «неживого» (массива грунтов со свойственными ему геохимическими, геофизическими и геодинамическими полями) и «живого» (микроорганизмов, растений, животных). Эколого-геологические системы весьма разнообразны [4]. Среди них особое значение имеют ЭГС селитебных комплексов, обеспечивающие условия для проживания населения. Однако несмотря на их широкое распространение и наличие научных публикаций, посвященных им [4], изучение особенностей функционирования и роли отдельных компонентов этих ЭГС остается недостаточно проработанным. Данная работа ставит своей целью восполнить этот пробел, выявив и охарактеризовав отдельные компоненты таких ЭГС, выполняющие ключевую роль в их функционировании, с акцентом на примеры селитебных комплексов Белоруссии.

В структуре любой ЭГС выделяют абиотические (литотоп, гидротоп, атмотоп), биокосные (почвы) и биотические компоненты (биоценозы), взаимосвязанные и взаимодействующие друг с другом как единая система. При этом ключевую роль играет ее основной абиотический компонент – литотоп, представляющий собой геологическое пространство эколого-геологической системы и входящий в состав её биотопа [4, 5]. Он может быть образован массивами грунтов различного состава, состояния и строения, обуславливая широкое разнообразие как природных, так и техно-природных или природно-технических эколого-геологических систем. Исходя из структуры указанных ЭГС компонентами литотопа являются: 1 – массивы грунтов, представляющие собой литогенную основу экосистемы; 2 – рельеф поверхности литотопа; 3 – подземные и поверхностные воды, входящие в состав гидротопы ЭГС; 4 – геохимические поля, формирующие геохимические потоки и аномалии; 5 – геодинамические поля, определяющие наличие парагенеза геодинамических процессов; 6 – геофизические поля, определяющие геофизическую экологическую функцию [4]. Наиболее ярко определяющая роль литотопа проявляется при функционировании ЭГС селитебных комплексов. Это можно продемонстрировать на примере территории Белоруссии, где подобные ЭГС распространены достаточно широко.

Эколого-геологической системой селитебных комплексов называется открытая динамичная система, состоящая из абиотического блока (техногенно-измененных литотопа и эдафотопа, урботехнотопы (жилых зданий, городской инфраструктуры и т.д.) и биотического (городских микробиоценоза, фитоценоза, зооценоза в пределах жилой застройки и городского населения), а также источников природных и техногенных воздействий, вызванных жилой застройкой тесно связанных прямыми и обратными причинно-следственными связями, обуславливающими ее структурно-функциональное единство [3].

Как следует из определения все компоненты данной ЭГС в условиях города или какого-либо другого населенного пункта являются или техногенно преобразованными, или антропогенными. Поэтому ко всем таким компонентам, как правило, используют приставку «урбо-»: урболитотоп, урбоэдафотоп и т.д.

Урботехнотоп. Главными факторами антропогенного преобразования всех компонентов ЭГС селитебных комплексов являются городские инженерные объекты различного назначения, связанные с жилой застройкой территорий и образующие *урботехнотоп* ЭГС селитебных комплексов. Это жилые и общественные здания, а также сооружения коммунальных служб (водо-, электро- и газоснабжения, водоотведения, транспорта, сбора коммунальных отходов и др.). Воздействие техногенеза на компоненты природной среды ЭГС селитебных комплексов наиболее сконцентрировано и интенсивно проявляется в крупных городах. Типы, размеры, конструкции и удельная нагрузка жилых зданий и сооружений на основания разнообразны, с чем в свою очередь связано и разнообразие видов воздействия на окружающую природную среду. Важную роль в функционировании ЭГС селитебных комплексов играет такой абиотический компонент урботехнотопа как транспорт, концентрация которого наиболее высока на городских территориях и существенно ниже на сельских. Все составляющие урботехнотопа так или иначе связаны с населением, проживающим на данной территории, и зависят от его плотности, различных социальных особенностей и др.

Кроме того, следует различать в целом урботехнотопы на городских территориях, а также на территориях сельских поселений. Их принципиальным отличием является степень антропогенной трансформации компонентов ЭГС, которая наиболее высока в ЭГС селитебных комплексов именно городских территорий (что определяет их ключевую роль в функционировании данных ЭГС) и менее значительная на территориях сельских поселений.

Урболитотопы ЭГС селитебных комплексов на территории Белоруссии представлены массивами грунтов различного состава и генезиса (осадочных глинистых, песчаных, песчано-глинистых, искусственных и др.), служащих либо вмещающей средой, либо техногенными грунтами. Среди глинистых грунтов, используемых в качестве оснований фундаментов различных зданий и сооружений, наибольшим распространением в городах страны пользуются моренные супеси и суглинки. На них возведено ряд крупных, иногда даже уникальных, объектов (например, Национальная библиотека в Минске).

В качестве естественных оснований зданий и сооружений в ряде районов интенсивного строительства в городах страны, расположенных в пределах Минской, Гродненской и Новогрудской возвышенностей, Мозырской гряды частично используются лёссовидные супеси и суглинки, а в некоторых населенных пунктах Витебской области (Полоцк, Новополоцк, Дисна и др.) – озерно-ледниковые глины. Большой опыт накоплен по строительству на водно-ледниковых и аллювиальных песках. На этих грунтах во многих городах Белоруссии построены различные здания разной высоты, с использованием ленточных, свайных и других типов фундаментов [3].

Неуклонно возрастают темпы накопления техногенных грунтов. В практике отечественного градостроительства они используются на протяжении уже более полувека. Пойменные, заболоченные территории, овраги, балки и другие территории, ранее считавшиеся непригодными для строительства, представляют собой важный градостроительный резерв. Их освоение позволяет сделать городскую среду более компактной, улучшить ландшафт и микроклимат. Однако при освоении таких территорий часто складываются сложные инженерно-геологические условия, в частности, формируются обводненные или слабые грунты в основании зданий. Из-за большой глубины залегания этих грунтов использование свайных фундаментов или полной замены грунта экономически нецелесообразно. В таких случаях эффективным решением является использование уплотненных насыпных грунтов, которые перекрывают слабые грунты и служат несущим слоем для фундаментов. Нередко при инженерной подготовке стройплощадок, организованных на «бросовых землях», возникает необходимость перемещения большого количества земляных масс, и наиболее рациональным способом, утвердившимся в настоящее время, является гидронамыв грунтов. Так, использование намывных грунтов на пойменных территориях в городах Белорусского Полесья, отличающихся сложностью инженерно-геологических условий, позволило возводить здания и сооружения (при определенных нагрузках, в зависимости от геологического разреза) как на свайных, так и ленточных фундаментах.

Особого внимания заслуживают отложения культурного слоя, представляющие собой скопление бытовых, строительных и промышленных отходов. Эти специфические грунты характерны для старых городских поселений, где их мощность может достигать внушительных размеров (в Витебске – до 15 м, в Минске – 4-7 м, в Полоцке – 4-5 м). Состав культурного слоя отличается высокой неоднородностью: минеральная составляющая определяется геологическими особенностями территории, а наличие примесей отражает хозяйственную деятельность человека. Также эти отложения содержат большое количество органических веществ, концентрация которых уменьшается с возрастом [3]. Важно отметить,

что ЭГС селитебных комплексов, подвергаясь значительным техногенным изменениям, часто сравнимы по степени воздействия с промышленными и горнодобывающими территориями. Это проявляется в трансформации структуры, состава и свойств грунтов, изменении рельефа и гидрогеологических условий, а также в возникновении и активизации различных инженерно-геологических процессов. Типичным примером такого воздействия в городах Белоруссии является статическая нагрузка на грунты основания, создаваемая весом зданий и сооружений. С развитием массового строительства многоэтажных зданий, особенно в последние десятилетия в областных и районных центрах, эта нагрузка существенно возрастает. Давление от многоэтажных домов может достигать 0,5 МПа. Это приводит к уплотнению грунтов и снижению их влажности на глубину в десятки метров в зоне активного сжатия. В свою очередь, такие изменения могут вызывать неравномерные деформации и осадки сооружений [3].

Во многих городах страны в различной степени фиксируется нарушение естественного температурного режима грунтовых толщ. Так, например, проводимые П.А. Галкиным на территории Витебска исследования [1], позволили установить в пределах города ряд локальных аномалий геотермического поля, характеризующийся превышением температуры над естественной фоновой на 3–8 °С и более в зависимости от времени года. Анализ тепловых полей показал, что область с устойчивыми во времени положительными средне- и высококонтрастными тепловыми аномалиями занимает в Витебске около 15% его площади, а с учетом тепловых утечек из подземных коммуникаций – около четверти территории города.

Еще одной значимой проблемой в городах Белоруссии является радоновая опасность, исходящая от грунтовых массивов. Содержание радона в грунте напрямую влияет на его проникновение в жилые и нежилые помещения. Исследования по оценке радоновой опасности территорий населенных пунктов Гомельской, Могилевской и Витебской областей показывают, что наиболее неблагоприятная ситуация складывается в Витебской области (Шарковщинский и Глубокский районы) и в Могилевской области (Шкловский и Горецкий районы). В этих районах зафиксированы значения комплексного радонового показателя, превышающие 0,01 относительной единицы, среднерайонные значения объемной активности радона составляют 100–150 Бк/м³, а средние годовые эффективные дозы облучения населения от радона и его дочерних продуктов достигают более 3,5 мЗв [6]. В целом для большинства литотопов ЭГС селитебных комплексов характерно преобладание массивов различных техногенных грунтов, что оказывает определяющее влияние на прочие компоненты данных ЭГС. Таким образом, представленные данные еще раз подтверждают ключевую роль литотопов в функционировании ЭГС и селитебных комплексов.

В пределах селитебных ЭГС формируются *урбогидротопы* – подсистемы, тесным образом связанные с урболитотопом и характеризующиеся вследствие урбанизации измененными в той или иной степени гидрогеологическими условиями: в эксплуатируемых горизонтах напоры снижаются, а уровень грунтовых вод, наоборот, повышается. Последнее часто приводит к подтоплению жилых и административных зданий и сооружений. В большинстве случаев подтопление в условиях города носит локальный характер и довольно быстро ликвидируется. Однако известно немало случаев, когда подтопление приводило к созданию постоянных или временных, с достаточно длительным сроком существования, водоносных горизонтов. Такие инженерно-гидрогеологические горизонты, наряду со спорадическим обводнением, получили развитие во многих городах и поселках городского типа страны. Например, в Гомеле подтоплением охвачено около 3000 га территории города, в том числе значительная часть жилой застройки (до 50%), а в Витебске подтопленной может считаться практически вся территории города, за исключением сильно расчлененных и хорошо дренированных участков. Довольно часто такие горизонты встречаются в аллювиальных толщах, пиковых лёссовидных образованиях, флювиогляциальных песках и выветрелых слоях морен [3].

Инженерно-геологические процессы, к которым относится подтопление, отличает разнообразие форм и масштабов проявления, характеристик режима и состава вод, их гидравлических связей, что объясняется и неоднородностью инженерно-геологических условий, и множественностью причин возникновения и развития этих процессов.

Техногенное обводнение массивов грунтов часто сопровождается изменением их состава и свойств: сцепление может уменьшиться в 2–2,5 раза, угол внутреннего трения на 10–15%, а модуль деформации – в 2–3,5 раза [3]. Все это неизбежно может привести к различного рода деформациям зданий и сооружений.

Подтопление территорий часто создает благоприятные условия для возникновения суффозии, усиливает плоскостной смыв грунтов, способствует развитию оврагов и оползней. В отличие от

естественных грунтовых вод, режим которых стабилен и зависит от климата, подтопление связано с человеческой деятельностью и часто подчиняется циклам работы городских систем. Важной особенностью подтопления в городах является сопутствующее химическое и бактериальное загрязнение, повышение температуры и агрессивности подземных вод и грунтов в зоне аэрации.

Не менее значима роль *урбоэдафотона* в функционировании ЭГС селитебных комплексов (особенно для городских территорий). Городская почва – это сложная система, включающая твердые частицы, воду, воздух и живые организмы, подвергнутые урбанизации. Согласно М.И. Герасимовой и др. [2], под городскими почвами понимают антропогенно-измененные почвы, имеющие созданный в результате человеческой деятельности поверхностный слой мощностью более 50 см, полученный перемешиванием, насыпанием, погребением или загрязнением материала урбаногенного происхождения. Эти почвы обладают рядом общих признаков, включая: формирование на насыпных, намывных или перемешанных грунтах или культурном слое; наличие строительного и бытового мусора в верхних слоях; нейтральную или щелочную реакцию даже в лесных зонах; загрязнение тяжелыми металлами и нефтепродуктами; специфические физико-механические и другие свойства (например, низкая влагоемкость, высокая плотность, уплотненность, каменистость), а также тенденцию к росту профиля вверх из-за постоянного добавления материалов и ветрового переноса [3].

Характерным диагностическим признаком городских почв является наличие горизонта «урбик» – поверхностного органоминерального насыпного, перемешанного слоя мощностью более 5 см, содержащего более 5% строительного-бытового мусора и промышленных отходов. Этот горизонт отличает городские почвы от естественных. В зависимости от характера застройки, территории городов Белоруссии делятся на открытые (частично озелененные) и закрытые (застроенные и заасфальтированные).

На открытых территориях выделяют три типа почвенно-грунтовых образований: естественно-антропогенные, глубоко преобразованные антропогенные почвы и искусственные урботехноземы.

На заасфальтированных территориях образуются экраноземы – экранированные почвы, характеризующиеся сильным уплотнением, изменением водного, теплового и газового режимов, преобладанием анаэробной микрофлоры, отсутствием внешнего поступления веществ и возможным повреждением верхнего слоя почвы при укладке покрытия [3]. В городах антропогенная трансформация почв может достигать значительного уровня. Это, в свою очередь, сказывается и на всех прочих компонентах данных ЭГС, непосредственно взаимодействующих с почвами. На сельских территориях антропогенная трансформация почв менее значительна.

Выводы

В результате проведенного анализа можно заключить: 1) в функционировании ЭГС селитебных комплексов ключевую роль играют абиотические (урболитотоп, урботехнотоп) и биокосные компоненты (почвы); 2) на городских и на сельских территориях эти компоненты имеют свои специфические особенности, которые необходимо учитывать при инженерно-экологическом исследовании этих территорий.

Литература

1. Галкин П. А. Оценка и картографирование геоэкологических условий на территории крупного города (на примере Витебска) // *Природопользование*. 2023. № 1. С. 93–112.
2. Герасимова М. И., Строганова М. Н., Можарова Н. В., Прокофьева Т. В. *Антропогенные почвы: генезис, география, рекультивация: учеб. пособие*. Смоленск: Ойкумена, 2003. 268 с.
3. Королев В. А., Галкин А. Н. Особенности эколого-геологических систем селитебных комплексов Республики Беларусь // *Вестник Моск. ун-та. Серия 4: Геология*. 2025. № 5. С. 84–93.
4. Королев В. А., Трофимов В. Т. *Систематика эколого-геологических систем*. М.: ООО СамПолграфист, 2025. 120 с.
5. Трофимов В. Т. Эколого-геологическая система, ее типы и положение в структуре экосистемы // *Вестник Моск. ун-та. Серия 4: Геология*. 2009. № 2. С. 48–52.
6. Чеховский А. Л. *Оценка радоновой опасности по косвенным показателям радона (на примере восточных областей Беларуси): автореф. дис. ... канд. биол. наук: 03.01.01 / Бел. гос. ун-т. Минск, 2017. 16 с.*

ДИАГНОСТИКА НЕОЧЕВИДНЫХ ФАКТОРОВ ПОДТОПЛЕНИЯ ГОРОДСКОЙ ЗАСТРОЙКИ

А.В. Гридневский

Донской государственный технический университет, 344000 г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, д.1
E-mail: a328@ya.ru

При поиске решений по борьбе с подтоплением городской среды возникают сложности в определении значимости источников техногенного питания в развитии процесса. Нередко изменения в гидрогеологических-геологических условиях имеют неясную ложноположительную причину или являются отсроченным результатом воздействий многолетней давности.

Рассматриваемый случай сочетает в себе исторически развивающееся подтопление в плотно застроенном районе города Ростова-на-Дону и влияние локальных по времени агрессивных факторов.

В докладе анализируются причины подтопления застройки колледжа Донского государственного технического университета (ДГТУ). Основное здание кирпичной постройки имеет три этажа с 1, 2 и 5-этажными пристройками, подвальными помещениями и расположено на территории 1,2 га. Строительство закончено в 1939 году. После войны здание восстановлено в 1956 году. Через один-два года после начала эксплуатации колледжа его подвалы были затоплены. Почти 85 лет в них удерживается слой воды в 1,5-2,0 метра. Площадь подвалов превышает 800 м², из которых 600 м² могут быть вовлечены в учебный процесс. С развитием университета встал вопрос об осушении подвалов. Особенность случая заключается в частичной или полной утрате документации о строительстве и эксплуатации, а также о защитных инженерных мероприятиях. На объекте отсутствовал мониторинг инженерно-геологических процессов, а экспертные заключения существенно различались в методиках извлечения геологической информации.

Геологические условия. Толща, подверженная инженерному воздействию, представлена неоген-четвертичными отложениями. Лессовидные слабопросадочные ($\epsilon_{sl}=0.01\div 0.03$) четвертичные суглинки прослеживаются от +78,0 м до +34,0 м (абсолютные отметки). В этих отложениях поземные воды образуют горизонт грунтовых вод, баланс которых нарушен под влиянием водонесущей инфраструктуры. Суглинки подстилаются водоупорными скифскими глинами (Q_{Esk}) в интервале +34,0 ÷ +42,0 м. Далее следует комплекс хорошо проницаемых водонасыщенных морских отложений: неогеновых известняков и песчано-глинистых грунтов (+42,0 м ÷ +12 м). Это второй водоносный горизонт – межпластовые безнапорные подземные воды. Они пополняются локально проникающими грунтовыми водами. На глубине 65 м (абс. отметка +12 м) залегают непроницаемые для воды морские глины ниже-сарматского регионаруса (N_{1s_1}) и служат нижней границей водоносного горизонта. Более глубоко залегающая толща не участвует в гидрогеологических процессах рассматриваемой территории и не рассматривается.

В геоморфологическом отношении территория застройки занимает Дон-Тузловское водораздельное пространство Нижнего Дона, осложненное овражно-балочным рельефом. Участок колледжа расположен на возвышенном участке, ограниченном балками Кизитериновская и Безымянная (рис. 1), а также реками Темерник и Дон. Кроме этого, он проецируется на геоморфологический узел – сопряжение разломов широтного и меридионального простирания, вдоль которых заложены эрозионные врезы балок.

Подземные воды четвертичных суглинков характеризуются природно-техногенным режимом фильтрации и участвуют в подтоплении городской среды. Мощность горизонта в городе составляет 15-20 м и достигает 40 м в описываемом районе. Суглинки слабопроницаемые. Коэффициент фильтрации меняется в интервале 0,8-1,2 м/сут.

Важно отметить влияние рельефа местности на режим подземных вод. Гидравлические уклоны УПВ на межбалочных пространствах не превышают 0,002, а скорость движения подземных вод составляет 0,005 м/мес. Наиболее крупные предприятия, водонесущие коммуникации и жилая застройка размещены на межбалочных пространствах. Дренаживание потерь воды в грунт сдерживается и создает предпосылки для устойчивого и фатального подтопления.

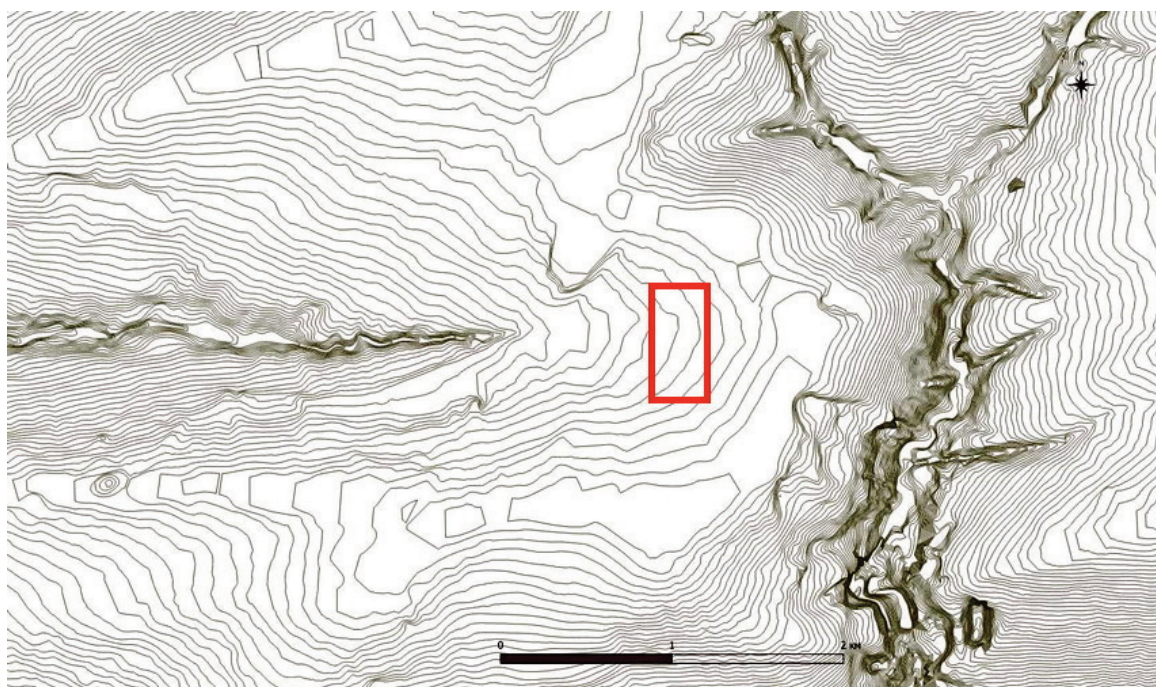


Рис. 1. Горизонтали рельефа местности города Ростова-на-Дону; прямоугольник – расположение колледжа ДГТУ; балки Безымянная и Кизитериновская – широтное и меридиональное направления соответственно

В 1929 году, в 500 м от территории будущей постройки колледжа, введена в строй первая очередь завода комбайнов «Ростсельмаш». Изысканиями было установлено положение уровня подземных вод (УПВ) на глубине 15-20 м. Через два года, из-за потерь воды на предприятии, УПВ вырос до глубин 2-3 м. В настоящее время территория завода и ближайшего окружения остается подтопленной. Естественный горизонт грунтовых вод трансформировался в природно-техногенный.

Опасность подъема УПВ в рассматриваемом районе усугубляется пересечением магистралей водопроводов диаметром 800-1200 мм и разводящих сетей, от двух крупнейших водоочистных сооружений города. Со временем трубы постепенно заменяются, но остаются участки с возрастом более 50 лет. Для поиска возможных инженерных решений по борьбе с подтоплением колледжа предпринято несколько шагов.

1. Организация мониторинга УПВ в районе питания подземных вод и на территории колледжа.
2. Выявление годового и локальных циклов режима УПВ.
3. Обследование дефектов водонесущей инфраструктуры и поиск техногенных потерь воды.
4. Разработка цифровых моделей геофильтрации и исследование на них чувствительности УПВ на территории колледжа к техногенным потерям воды.
5. Исследование вариантов водопонижения УПВ на территории колледжа.
6. Разработка сети наблюдательных гидрогеологических скважин для мониторинга УПВ и поиска эффективной защиты от подтопления.

В ходе обследования района питания подземных вод выявлены здания с затопленными подвалами и установлены актуальные значения абсолютных отметок УПВ. Полученные результаты имели высокую корреляцию с результатами гидрогеологического картирования, выполненного в 2000 году. Это позволило оценить направление потока подземных вод. Расчетная площадь водосборного бассейна для территории колледжа составила 700000 м² кв.

Сформированы пункты мониторинга УПВ в подвальных помещениях колледжа и зданий на расстоянии до 300 м. В ходе наблюдения на протяжении года выявлены локальные циклы колебаний УПВ с амплитудой до 0,02-0,05 м. Анализ показал их тесную связь с потерями воды на территории колледжа. Они возникали при засорах бытовой канализации, а также проникновении к фундаментам стоков вертикальной системы водоотведения.

Степень замачивания толщи у фундамента отслеживалась методом динамического зондирования по консистенции грунтов. Зонд погружался на глубину до 1,9 м. Точки зондирования размещены на расстоянии от 0,2 до 2,0 м от стены здания с шагом 2,5-3,2 м. Результаты показали аномально высокое замачивание грунтов на расстоянии до 2,0 м от фундамента в интервале глубин 0,5-1,5 м.

Фрагменты грунта, извлеченные зондом, состояли из водопроницаемой смеси суглинка, песка, щебня, штыба и обломков кирпича. Таким образом, сочетание нарушений в системе водоотведения атмосферных вод, высокопроницаемой обратной засыпке и отсутствии гидроизоляции фундамента является одним из факторов поступления воды в подвал.

В июле-сентябре 2025 года УПВ в подвальных помещениях опустился ниже пола. Причиной стала интенсивная эвапотранспирация из-за превышения среднесуточной температуры воздуха $+25,5^{\circ}\text{C}$. По данным ВНИИГМИ-МЦД (ВНИИ гидрометеорологической информации – мировой центр данных) только пять раз за последние 100 лет в городе Ростове-на-Дону среднемесячная температура повышалась до указанного уровня. Именно в такие периоды подвалы колледжа осушались естественным образом. Строительство колледжа также пришлось на годы с аномально высокими температурами.

Расчеты показали, что в период повышенной эвапотранспирации из водосборного бассейна в окружении колледжа удалялось около 5000 т влаги ежедневно. Испарение превышало техногенный сброс воды и сформировало отрицательный баланс в водоносном горизонте с понижением УПВ на 1,5 м.

В ходе наблюдений локализовано высокое положение УПВ в 300 м от колледжа в области водораздела. Здесь концентрация водонесущих сетей наиболее высока, а динамика подземных вод не подчинялась ходу сезонных колебаний. Такие аномалии формируются под влиянием потерь воды на трубопроводах и производственных предприятиях.

С целью поиска техногенных источников воды обследованы водонесущие коммуникации, окружающие территорию колледжа: водопровод, коллекторы ливневой канализации, теплотрасса. В теплотрассе была локализована и устранена временная разгерметизация трубы. Кроме этого, установлена инфильтрация в грунт воды из недействующего и отключенного от общей сети участка водопровода. Совместное обследование участка с ремонтной бригадой водоканала показало, что в трубе отсутствует избыточное давление воды. Однако наблюдения с помощью датчика максимального уровня воды в распределительном колодце свидетельствовали о его периодическом заполнении водой. Вода может перемещаться из отдаленных участков вдоль труб во время порыва водопровода или теплотрассы. Этот феномен требует дополнительного исследования.

В мае 2025 года началась строительное водопонижение из котлована на расстоянии 75 м от колледжа. В этот же период времени обнаружен и устранен порыв водопровода на расстоянии 25 м от здания колледжа. Вода фильтровалась через грунтовый массив в ливневую канализацию с дебитом $115 \text{ м}^3/\text{сут.}$ на протяжении многих месяцев. Два события: водопонижение и устранение потерь водопровода сопровождалось началом интенсивного снижения УПВ в подвалах, которое продолжалось 60 суток и достигло амплитуды 1,5 м. Возникло ложное представление о связи двух техногенных воздействий и быстрого снижения УПВ на территории колледжа.

Для верификации этой идеи были разработаны цифровые модели геофильтрации в программной среде Modflow. С их помощью выполнена серия имитационных экспериментов по оценке влияния водопонижения и ликвидации утечки водопровода на динамику УПВ в колледже.

Модель отображала бассейн грунтовых вод мощностью 45 м и охватывала территорию $2000 \times 2000 \text{ м}^2$, что исключало влияние ее границ на расчеты геофильтрации. Пространство модели дискретизировано горизонтальной ортогональной сеткой с шагом 200 м с постепенным сгущением до 1,5 м в районе колледжа. Количество слоев $N=20$, дискретизация по высоте 0,4-3,0 м. Свойства грунтового массива: $K_{\text{ф}}=0,8 \text{ м/сут.}$, водоотдача – 0,2, эффективная пористость – 0,15, общая пористость – 0,30. Подвал колледжа отображен на модели с помощью граничного условия второго рода (водонепроницаемые стены). В 75 м от колледжа на стройке откачивалась вода и удерживалась на постоянной отметке. В модели это условие имитировалось работой дрена.

Установлено, что при откачке воды на строительной площадке расчетное понижение УПВ в колледже развивалось медленно и не превышало 0,1 м при расчетах в стационарном режиме фильтрации. Сделан вывод о незначительном воздействии водопонижения на динамику УПВ на территории колледжа.

Для оценки влияния порыва водопровода вблизи колледжа задача решалась в два этапа. На первом – моделировалось формирование купола подземных вод с помощью налива воды в скважину со значениями дебита 15-30 и $55 \text{ м}^3/\text{сут.}$ Высота купола соответствовала зарегистрированной амплитуде снижения УПВ. На втором – полученная поверхность подземных вод рассматривалась,

как исходная и контролировалось растекание купола во времени по территории колледжа. Во всех рассмотренных вариантах морфология купола подземных вод и динамика его растекания не соответствовали фактическим наблюдениям. Так, при интенсивности налива $15 \text{ м}^3/\text{сут.}$ высота купола (0,06-0,07 м) оказывалась слишком маленькой, а время его растекания растягивалось на 180 сут. При больших объемах потерь (до $55 \text{ м}^3/\text{сут.}$) формировался высокий купол с крутыми склонами (перепад УПВ 0,2 м). С прекращением налива воды в скважину он снижался за короткое время (16 сут.), что не соответствовало фактической динамике поверхности подземных вод. На основании расчетов сделан вывод о незначимом влиянии утечки из водопровода и строительном водопонижении на УПВ в колледже. Такой феномен подтверждался интересным сценарием. При вскрытии порыва водопровода выяснилось, что вода размывала в грунте канал, по которому основной объем стока перемещался в коллектор ливневой канализации.

В ходе поиска решений по защите подвала от воды рассматривался вариант дренажа в сочетании с гидроизоляцией стен и пола. С этой целью на цифровой модели исследовались схемы снижения УПВ с помощью вертикального и горизонтального кольцевого дренажа. Расчеты показали неэффективность группы вертикальных понижающих скважин из-за низкой водопроницаемости грунтов. Кольцевой горизонтальный дренаж на отметке +72,5 м и расстоянии 2-3 м от контура подвала обеспечивал необходимое положение УПВ на 1 м ниже центра пола. Для утилизации дренажных вод целесообразно использовать выведенные из эксплуатации водопроводные трубы, расположенные в окружении территории колледжа. С этой целью возможно применение технологии релейнинга.

В ходе проведенных обследований водонесущих коммуникаций, экспериментальных работ и годового мониторинга УПВ установлено соответствие режима подземных вод на территории колледжа общей динамике районного подтопления. Подземная часть сооружений расположена в потоке подземных вод от водораздельного пространства к балке Безымянной. Динамика УПВ в районе имеет годовой цикл с минимумом в сентябре и максимумом в марте с амплитудой до 1,5 м. Несколько раз 100 лет в аномально теплый летний период подвал осушался естественным образом. Источники питания – потери воды предприятий и водоводов большого диаметра со сверхнормативным износом. Площадь водосборного бассейна, вовлеченного в подтопление – 70 га. Значительная часть воды поступает в подвал в ходе самозатопления колледжа: транспортируется в подвалы вертикальной системой водоотведения через оконные проемы и обратную засыпку у стен при отсутствии гидроизоляции и поверхностного стока с территории. До 30% трассы бытовой канализации на территории колледжа имеет ненормативный уклон, а утечки из нее замачивают отдельные участки фундамента. Бетонный пол подвала разрушен гидростатическим давлением воды и беспрепятственно пропускает воду при общем подъеме УПВ. Обнаруженный локальный порыв внутриквартальной сети водопровода не оказал существенного влияния на подтопление колледжа. Аномально высокое положение УПВ в 300 м с большой вероятностью имеет аномальную динамику, техногенную природу и требует мониторинга с целью устранения причины его возникновения.

В связи со сложным природно-техногенным режимом подземных вод в районе разработана сеть наблюдательных скважин. Мониторинг УПВ с онлайн-регистрацией данных обеспечит выявление и последующее устранение районных источников подтопления с целью постепенного восстановления естественного режима водоносного горизонта.

ЭКОГЕОФИЗИЧЕСКАЯ ДИАГНОСТИКА ЗАГРЯЗНЕНИЯ ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ СРЕДЫ УРБАНИЗИРОВАННЫХ И ПРОМЫШЛЕННЫХ ТЕРРИТОРИЙ (НА ПРИМЕРЕ Г. ГОМЕЛЯ)

А.П. Гусев

Учреждение образования «Гомельский государственный университет имени Франциска Скорины»,
246028, Беларусь, г. Гомель, ул. Советская, 104
E-mail: andi_gusev@mail.ru

Актуальной проблемой является разработка методов оперативной диагностики загрязнения геологической среды урбанизированных и промышленных территорий. Изучение геологической среды в городе, на промышленных площадках, полигонах отходов имеет существенные ограничения, связанные с высокой плотностью подземных коммуникаций, запечатанностью земной поверхности асфальтовыми покрытиями, застройкой и т.д. На урбанизированных и промышленных территориях имеется значительное количество разнообразных как поверхностных, так и подземных источников загрязнения геологической среды. Часто возникают ситуации, когда трудно определить конкретного виновника загрязнения.

Для оперативного изучения загрязнения геологической среды успешно применяются геофизические методы, которые обладают рядом преимуществ: возможность изучения без нарушения сплошности среды, без разрушения объектов исследований; объективность получаемой информации; пространственная объемность информации; возможность изучения инженерно-геологических и гидрогеологических процессов на различных глубинах; относительно низкие затраты и высокая производительность; возможность повторных наблюдений в разных временных масштабах; возможность дистанционных исследований.

Предлагается понятие целевого эколого-геофизического комплекса, т.е. геофизических методов, объединенных решаемой геоэкологической задачей. Разработка целевого эколого-геофизического комплекса для решения конкретной геоэкологической задачи должна учитывать пространственный масштаб и детальность работ, временные особенности (сезон, сроки, оперативность), эффективность геофизических методов в конкретных геологических условиях, уровень техногенных и природных помех, этапность в применении методов комплекса.

Цель работы – обоснование целевого эколого-геофизического комплекса методов для решения геоэкологических задач, связанных с оценкой загрязнения геологической среды. В целевой эколого-геофизический комплекс нами включены методы, дополняющие друг друга и позволяющие оперативно оценивать загрязнения компонентов геологической среды урбанизированных и промышленных территорий. В комплекс включены: электроразведка (резистивиметрия, электрическое профилирование и вертикальное электрические зондирование методом сопротивлений, метод естественного электрического поля); космическая многозональная съемка (индикатор – вегетационный индекс NDVI); наземная фитоиндикация (индикаторы – проективное покрытие, индекс жизненного состояния древостоя Ln). В качестве дополнительных методов могут использоваться магниторазведка, каппаметрия, термометрия, радиометрия. Данные космической съемки и наземной фитоиндикации используются для оценки экологического эффекта загрязнения [2, 3].

Среди геофизических параметров важное индикационное значения для оценки загрязнения геологической среды имеет удельное электрическое сопротивление (УЭС) и магнитная восприимчивость (МВ). УЭС тесно коррелирует с минерализацией воды и степенью засоления грунтов. По величине УЭС, а также кажущегося электрического сопротивления (КЭС), интегральных параметров продольной проводимости (S), поперечного сопротивления (Т) могут судить о степени загрязнения как отдельных компонентов (почв, грунтов, подземных вод), так и геологической среды в целом водорастворимыми солями [2,3,4,5]. Величина МВ зависит от содержания ферромагнитных минералов и положительно коррелирует с содержанием тяжелых металлов [1]. Таким образом, УЭС и МВ дополняют друг друга и позволяют более полно характеризовать загрязнение.

Полигон твердых отходов химического производства. Отвалы фосфогипса (образуется при производстве минеральных удобрений) являются источником загрязнения, формируемого сульфатами, фосфатами, фтор-ионом. Поверхностный сток с территории отвалов, контролируется рельефом и направлен в близлежащую малую реку Рандовка. В ходе исследований на основе космической съемки (по изменению значений NDVI, которые зависят от степени деградации растительного покрова) и наземным геоботаническим наблюдениям выделены техногенные модификации исходной луговой геосистемы: ТМ-1 – зона сильного загрязнения; ТМ-2 – зона умеренного загрязнения. На основе резистивиметрии поверхностных вод и почв количественно оценена степень их загрязнения. Так, минерализация поверхностных вод в зоне ТМ-1 составляет до 5-10 г/дм³, в зоне ТМ-2 – до 2 г/дм³. Электрическое профилирование методом сопротивлений (ЭП) на серии малых разносов АВ=3, 10, 30 м и вертикальное электрическое зондирование (ВЭЗ) выявили пространственные особенности геоэлектрического разреза, обусловленные засолением зоны аэрации и грунтовых вод.

Были выполнены ВЭЗ на участках, где имеются скважины на грунтовый, напорные подморенный и палеогеновый водоносные горизонты. По данным опробования скважин получены значения минерализации вод соответствующих водоносных горизонтов. По данным интерпретации кривых ВЭЗ определены Т и S зоны аэрации и верхней части разреза (ВЧР). Всего удалось сопоставить данные по минерализации подземных вод и геоэлектрические параметры Т и S в 36 точках. Установлено, что Т зоны аэрации имеет отрицательную корреляцию с минерализацией грунтовых вод (коэффициент корреляции Спирмена составил -0,708 при $p < 0,0001$). Между S зоны аэрации и минерализацией грунтовых вод коэффициент корреляция – 0,578 при $p < 0,01$. Поперечное сопротивление Т ВЧР отрицательно коррелирует с минерализацией первого от земной поверхности горизонта напорных подземных вод – подморенного (коэффициент корреляции Спирмена составил -0,609 при $p < 0,001$). И, наоборот, продольная проводимость S ВЧР положительно коррелирует с минерализацией вод вышеупомянутого напорного горизонта (0,503 при $p < 0,01$).

Коллекторы ливневой канализации. Негативными последствиями утечек из коллектора являются: ухудшение санитарно-гигиенических показателей грунтовых и поверхностных вод; увеличение риска коррозии подземных сооружений; развитие процесса подтопления городской территории.

Многолетний локальный мониторинг подземных вод в наблюдательной скважине выявил аномальные изменения химического состава подземных вод, которые наиболее сильно проявились в первом от земной поверхности напорном водоносном горизонте. Начиная с 2014 г. имел место медленный рост концентраций сульфат-иона и сухого остатка, который в 2020-е гг. резко ускорился. В 2021-2022 г. содержание сульфат-иона выросло в 9 раз, а сухого остатка в 5 раз по сравнению с 2005-2015 гг. Скважина находится в пределах промышленной зоны, в окружении целого ряда предприятий, деятельность которых потенциально может вызвать загрязнение подземных вод. Для выяснения источника загрязнения были использован комплекс, включающий ВЭЗ, ЭП, ЕП, резистивиметрию, магниторазведку. На основе площадной съемки потенциала ЕП были определены участки инфильтрации и разгрузки грунтовых вод. С помощью ВЭЗ построен геоэлектрический разрез через изучаемую территории (до глубины 30 м). ВЭЗ выявили аномалию крайне низкого сопротивления (менее 5 Ом·м) на глубине 10-20 м на одном из участков. Для локализации аномальной зоны выполнено ЭП на разносах АВ=40 м и АВ=60 м. Магниторазведка установила, что аномалия низкого сопротивления пересекается с линейно вытянутой мозаикой положительных и отрицательных аномалий ΔT (амплитуда – до первых тысяч нТл), интерпретируемой как труба подземного коллектора. На основе анализа совокупности данных предположено, что наиболее вероятным источником загрязнения могут являться утечки из близрасположенного подземного коллектора ливневой канализации (коллектор → грунтовый горизонт → подморенный горизонт). Таким образом, комплексирование методов позволило оперативно получить достаточно полную картину химического загрязнения подземных вод.

Второй изучаемый коллектор ливневой канализации проходит через несколько жилых микрорайонов и промышленных зон, служит приемником условно очищенных сточных вод нескольких предприятий. По данным резистивиметрии минерализация воды в коллекторе в 1,65 раза выше фоновой, а УЭС береговых почв коллектора в 2,24 раза ниже, чем у фоновых водоемов. Токсичность воды проявляется в деградации древесной растительности на берегах водоема-отстойника. Для локализации мест утечек были выполнены электроразведочные исследования по профилю вдоль коллектора. Выявлены выделяются отрицательные и положительные аномалии потенциала ЕП. Поло-

жительные аномалии отмечены в 1-2 точках и, вероятно, имеют техногенную природу. Отрицательная аномалия в поперечнике имеет около 20 м. По данным ЭП (разнос АВ=10 м – соответствует глубинности исследования 1-2,5 м) примерно в этом же месте наблюдается существенное снижение кажущегося сопротивления до 39-85 Ом·м. Предполагается, что отрицательные аномалии ЕП, имеющие геофильтрационное происхождение, указывают на инфильтрацию поверхностных вод в грунтовый горизонт. Интерпретация графика ЕП показывает, что глубина возмущающего объекта составляет примерно 3,6-5,0 м. Снижение сопротивления объясняется как увеличением влажности, так ростом минерализации фильтрующейся воды. Сопряженные в пространстве снижение кажущегося сопротивления и отрицательная аномалия ЕП связаны с инфильтрацией воды из коллектора в грунтовый водоносный на данном участке. Таким образом, утечки коллектора ливневой канализации фиксируются по изменениям УЭС и ЕП в зоне его влияния. Установлено, что такие аномалии имеют в поперечнике ширину в первые десятки м, сопряжены друг с другом в пространстве, амплитуда изменения ЕП составляет 10-30 мВ, сопротивление снижается в 3,5-6 раз относительно соседних участков.

Таким образом, разработанный целевой эколого-геофизический комплекс позволяет оперативно получить достаточно полную характеристику загрязнения геологической среды на урбанизированной территории и в зонах влияния экологически опасных объектов.

Исследования выполнены при финансовой поддержке Белорусского республиканского фонда фундаментальных исследований (проект № Х25УЗБ-079).

Литература

1. *Водяницкий Ю.Н., Шоба С.А. Магнитная восприимчивость как индикатор загрязнения тяжёлыми металлами городских почв // Вестник Московского университета. Серия 17. Почвоведение. 2015. №1. С. 13–20.*
2. *Гусев А.П. Комплексирование космической съемки и геоэлектрических методов при диагностике химического загрязнения геологической среды // Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Геология. 2023. №3. С. 133–140.*
3. *Гусев А.П. Комплексирование геоэлектрических методов и дистанционного зондирования Земли при оценке состояния окружающей среды в зоне влияния экологически опасных объектов // Bulletin of the Tomsk Polytechnic University. Geo Assets Engineering. 2024. V. 335 (10). P. 134–145.*
4. *Огильви А.А. Основы инженерной геофизики. М.: Недра, 1990. 501 с.*
5. *Фоменко Н.Е. Комплексирование геофизических методов при инженерно-экологических изысканиях. Ростов-на-Дону: Изд-во Южного федерального университета, 2016. 291 с.*

УСТОЙЧИВОЕ РАЗВИТИЕ ИСТОРИЧЕСКИХ ГОРОДОВ (ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКИЕ БАРЬЕРЫ И СОЦИАЛЬНО- ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ПРОТИВОРЕЧИЯ)

В.Г. Заиканов, Е.В. Булдакова

Институт геоэкологии им. Е.М. Сергеева РАН, 101000, г. Москва, Уланский пер., д. 13, с. 2
E-mail: v.zaikanov@mail.ru

Введение

Исторические города России, представляющие собой сложные природно-антропогенные системы, оказываются сегодня в эпицентре геоэкологических и социально-экономических противоречий. Когда с одной стороны, они являются главными аттракторами для реализации государственной стратегии развития внутреннего туризма, что отражено в национальных проектах «Туризм и гостеприимство» и «Жилье и городская среда» [1, 2], а с другой их уникальное культурное и природное наследие рассматривается как ключевой ресурс для экономического роста. Поэтому именно эта возросшая привлекательность формирует комплексную угрозу физической сохранности культурно-исторического и природного наследия. Проблема заключается в конфликте двух моделей развития: экстенсивной, нацеленной на максимизацию туристического потока, и устойчивой, требующей управления нагрузкой на основе научно обоснованных расчетов антропоёмкости территорий.

Сегодня можно выделить три взаимосвязанных аспекта этой проблемы:

1. Геоэкологические барьеры: комплекс факторов на исторической части городов, формирующие совокупное воздействие опасных геологических процессов (подтопление, оползни, карст, суффозия) и возрастающих техногенно-рекреационных нагрузок (вытаптывание, загрязнение, статическое давление), приводящие к деградации объектов истории и экономики.

2. Социально-экономические противоречия: наблюдается явный дисбаланс между растущим турпоток и стагнацией или депопуляцией самих исторических городов. Например, в г. Плёс при экстремальной нагрузке в 210 туристов на одного жителя численность постоянного населения за 2015-2022 гг. сократилась на 16,8% [3], что свидетельствует о неспособности туристической компании компенсировать общий социально-экономический спад.

3. Правовая и управленческая неопределенность: ситуация усугубляется институциональными пробелами. Кардинальное сокращение в 2024 г. федерального перечня исторических поселений с более 400 до 49 объектов [4] лишило многие города с уникальным наследием Федерального и даже общемирового значения (такие как Великий Новгород, Углич, Сергиев Посад) особого охранного статуса, ослабив режимы регулирования застройки и землепользования, а также сократив финансирование специальных программ направленных на сохранение и реставрацию таких объектов.

Актуальность данного исследования заключается в систематизации современных проблем и противоречий, препятствующих устойчивому развитию исторических городов, что является необходимой основой для выработки адекватных управленческих решений.

Несмотря на формирование международных и национальных правовых рамок в области устойчивого развития городов и охраны наследия (табл. 1), их практическая реализация на местном уровне зачастую остается декларативной, не подкрепленной конкретными геоэкологическими нормативами и экономическими механизмами.

В основу исследования положен комплексный анализ, включающий: 1) систематизацию и классификацию геоэкологических угроз на основе анализа литературных источников и фондовых данных; 2) статистический анализ динамики туристических потоков по данным Росстата (2022-2024 гг.) для выявления региональных диспропорций; 3) оценку качества городской среды исторических городов на основе данных Индекса качества городской среды Минстроя РФ (2019-2024 гг.); 4) сравнительный анализ международных и национальных правовых рамок в сфере охраны наследия и устойчивого развития городов.

<i>Таблица 1</i>			
Правовые и программные рамки устойчивого развития исторических городов			
Уровень	Сфера регулирования	Ключевые документы / Инициативы	Основные рамочные требования устойчивого развития исторических городов
Международный	Охрана всемирного культурного наследия	Конвенция ЮНЕСКО об охране всемирного наследия (1972); Программа «Креативные города ЮНЕСКО»	Придание статуса объекта Всемирного наследия; сохранение аутентичности; интеграция культуры в стратегию развития.
	Правовое регулирование устойчивого развития и соблюдение изменения климатических тенденций	Повесткой дня в области устойчивого развития на период до 2030 года. Инициатива ФАО «Зеленые города»	Обеспечение инклюзивной, безопасной, жизнестойкой и экологичной городской среды; адаптация к изменению климата.
Национальный (РФ)	Охрана наследия и градостроительное регулирование	ФЗ №73 «Об объектах культурного наследия»; Градостроительный кодекс; Перечень исторических поселений (Приказ Минкультуры №839)	Установление охранных зон, режимов использования территорий; реставрация объектов.
	Развитие городской среды и экологических требований	Нацпроекты «Жилье и городская среда», «Экологическое благополучие»; ФП «Формирование комфортной городской среды»	Комплексное благоустройство, создание зеленой инфраструктуры, повышение экологических показателей.
	Государственное и частное стимулирование туризма	Нацпроект «Туризм и гостеприимство» и др.	Развитие туристической инфраструктуры, дорожное строительство, благоустройство территорий, увеличение потока.

Систематизация геоэкологических угроз

Анализ опубликованных и фондовых материалов позволил перейти от простого перечня опасностей к структурированной схеме, раскрывающей источники, механизмы и объекты негативного воздействия (табл. 2). Главной особенностью выявленных угроз является их кумулятивный эффект: например, подтопление фундаментов, усиленное вибрацией от транспорта и сезонным наплывом туристов, приводит к активизации образований трещин в кладке памятника. Управление рисками в таких условиях требует не только инженерной защиты отдельных объектов, но и комплексного регулирования всех видов нагрузки на территорию.

<i>Таблица 2</i>	
Система геоэкологических угроз природно-исторических территорий и городов	
Категория угроз	Основные источники и проявления
Природно-техногенные процессы	Подтопление территорий; нарушение естественного гидрогеологического режима; активизация оползневых и карстово-суффозионных процессов.
Техногенные воздействия	Вибрация от авто- и железнодорожного транспорта; промышленные и коммунальные выбросы (пыль, газы); локальное загрязнение почв и водных объектов, повышенная статическая нагрузка.
Рекреационная нагрузка	Массовое вытаптывание растительности; локальное динамическое воздействие на грунты; замусоривание территории; нерегулируемый доступ к объектам наследия.

Качество среды и туристическая нагрузка

Исследование подтвердило значительную дифференциацию в развитии исторических городов, которая формирует две взаимосвязанные, но разнонаправленные траектории. Анализ туристических

потоков (2022-2024 гг.) выявил резкое смещение интереса в Центральный федеральный округ, где абсолютным лидером роста стала Тверская область (+163,3%). Этот тренд указывает на успешную диверсификацию внутреннего туризма, однако создает точечные очаги экстремальной нагрузки, как, например, в Плесе, где на одного жителя приходится более 200 туристов в год. Параллельно оценка Индекса качества городской среды показала, что малые города (Ростов Великий, Углич) за счет своей компактности и тесной связи с естественным ландшафтом успешнее сохраняют и развивают зеленый каркас, демонстрируя высокие показатели озеленения (44-49 баллов из 60). В то же время более крупные исторические центры (Сергиев Посад), демонстрируют отставание по экологическим показателям. Выявленная поляризация между регионами-лидерами и аутсайдерами, а также между качеством среды в малых и крупных исторических центрах создает разноуровневые риски: от локальной деградации памятников до социального недовольства местных жителей, чьи повседневные потребности отходят на второй план. Это делает невозможным использование универсальных управленческих решений и требует разработки дифференцированных стратегий, основанных на точной диагностике типа территории, структуры угроз и баланса между интересами туристов, местного общества и необходимостью реставрации или консервации объектов наследия.

Заключение

Проведенный анализ позволяет сделать вывод, что устойчивое развитие исторических городов России сдерживается комплексом взаимосвязанных геоэкологических и социально-экономических барьеров. Ключевым противоречием является конфликт между политикой наращивания туристического потока, с одной стороны, и необходимостью сохранения уязвимых объектов культурно-исторического и природного наследия и комфортной среды для жителей – с другой. Существующие правовые рамки, хотя и задают общее направление на устойчивое развитие, оказываются недостаточными для решения конкретных проблем на местном уровне, особенно в условиях сокращения числа охраняемых исторических поселений. Преодоление выявленных диспропорций требует не универсальных, а адресных стратегий, учитывающих тип города, структуру угроз и специфику социально-экономического контекста. Необходима разработка и внедрение научно обоснованных механизмов управления рекреационно-туристической и хозяйственной нагрузкой, которые позволят превратить туризм из основного источника угроз в инструмент сбалансированного развития исторических территорий.

Литература

1. Паспорт национального проекта «Туризм и гостеприимство». URL: <https://национальныепроекты.пф/projects/turizm>
2. Паспорт национального проекта «Жилье и городская среда». URL: <https://национальныепроекты.пф/projects/zhile-i-gorodskaya-sreda>
3. Бухвальд Е.М., Валентик О.Н. Малые города в системе пространственного регулирования российской экономики // Региональная экономика. Юг России. 2018. № 1 (19). С. 169–180.
4. Приказ Минкультуры России от 04.04.2023 N 839 «Об утверждении перечня исторических поселений...». Зарегистрировано в Минюсте России 07.06.2023 N 73770.
5. Татаренко И.Н. Сохранение культурного наследия исторических поселений в России: история и современные проблемы // Вестник Томского государственного университета. 2020. № 449. С. 177–184.
6. Оборин М.С., Шерешева М.Ю., Иванов Н.А. Проблемы и перспективы развития туристско-рекреационного потенциала малых городов // Вестник Тюменского государственного университета. Социально-экономические и правовые исследования. 2017. Т. 3, № 3. С. 169–192.

НЕОТЕКТОНИЧЕСКИЕ СТРУКТУРЫ БОЛЬШОГО СОЧИ В СВЯЗИ С ОЦЕНКОЙ ГЕОДИНАМИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ СТРОИТЕЛЬНЫХ ПЛОЩАДОК

В.М. Макеев, Е.А. Пикулик, И.В. Коробова, Е.А. Фикри

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

Введение

Рассматриваемый объект орографически относится к поднятию Северо-Западного сегмента Большого Кавказа, сопряженному с Черноморским глубоководным прогибом. Сегмент характеризуется относительно невысокими абс. отм. по сравнению с другими сегментами и широким развитием эрозионно-денудационных ступеней. Соответствующие им отложения аккумулируются в межгорных и предгорных прогибах, включая Черноморский. Ступени подвергаются разнотипным деформациям: изгибным и разрывным. Цель работ – выявление и оценка неотектонических структур, включая зоны дислокаций для обеспечения геодинамической безопасности площадок со зданиями и сооружениями разной категории ответственности.

Изгибные структуры – это прогибы и поднятия (складки), развитие которых вызывает образование рельефа: впадин и хребтов соответственно. Разрывные структуры по морфолого-кинематическому типу относятся к взбросам, сбросам и сдвигам. Возраст разрывов – новейший, четвертичный и современный. Изгибные и разрывные структуры вместе с транзитными линеаментами нередко образуют парагенез, позволяющий определить характер действующего в регионе поля напряжений и его кинематический тип. [4]. На основе фундаментального свойства парагенеза структур создана оригинальная методика структурно-геодинамических исследований, учитывающая разную глубину деформаций и их взаимодействие на различных литосферных уровнях. [1].

Среди разновозрастных разломов выделяются голоценовые (активные) как опасные, поскольку с ними связывается накопление напряжений, намного превышающих фоновые. Активный разлом, как правило, является протяженным, глубинным и транзитным. Его современная подвижность выражается, прежде всего, в дислокациях позднечетвертичных отложений и в смещениях форм рельефа. Нижняя возрастная граница, соответствующая началу активности, может быть сколь угодно древней, но, как правило, не древнее средне-позднечетвертичного времени. Верхняя – соответствует нынешнему времени. Активность разлома измеряется отношением амплитуд смещения к ширине нарушения (базе) и возрасту (градиент современной скорости деформаций).

На площадках реконструируемых ныне объектов в разные годы геологическими и геофизическими методами выделено большое число разрывных нарушений. По условиям образования (тип напряжений и механизмы) они часто противоречат друг другу. При этом буровые данные часто не содержат описание разломов, т.е. они выделены исключительно по косвенным признакам: дистанционно и по геофизическим данным. Наши полевые маршрутные наблюдения, проведенные в окрестностях площадок, не подтверждают их наличие.

Задачей исследования является уточнение установленных ранее в ходе инженерно-геологических изысканий зон разрывных нарушений (локализация, кинематический тип и оценка активности) в районе очистных сооружений ОСК «Бзугу». Результаты исследований основаны на разномасштабных камеральных и полевых маршрутных работах с использованием фондовых данных, опубликованных материалов, топографических основ и цифровых моделей рельефа.

Результаты работ

В течение последних нескольких лет проведены: региональные и детальные структурно-геодинамические исследования. *Региональные исследования*, выполненные в Северо-Западном и Центральном сегментах Большого Кавказа, выявили структуры изгибного типа и трансзональные линеаменты как проявления возможных принципиально важных разрывных нарушений (рис. 1).

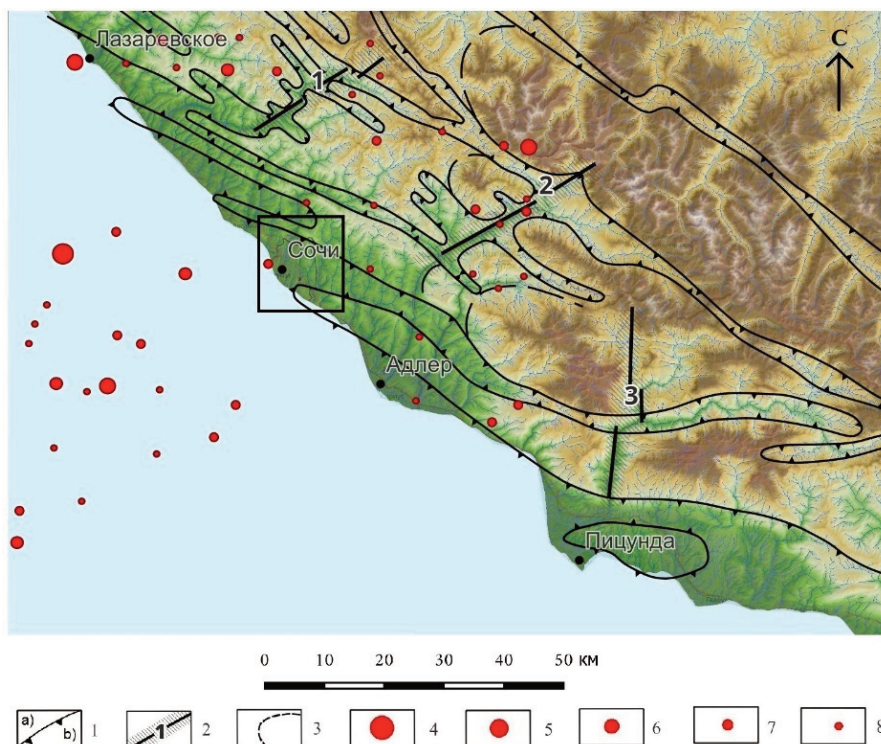


Рис. 1. Структуры Северо-Западного и Центрального сегментов Большого Кавказа

1 – поднятия - а) и прогибы - б); 2 – наиболее отчетливо выраженные поперечные линеаменты, приуроченные к Северо-Западному сегменту (1), границе двух сегментов (2), Центральному сегменту (3); 3 – структурные линии, подчеркивающие развитие складок; 4-8 – сейсмичность $M = 5-3$.
Рамка – ближний район исследований ОСК «Бзугу» (см. рис. 2)

Поднятия и прогибы однородны. Они простираются исключительно в общекавказском, СЗ, направлении, отражая активность коллизионных напряжений сжатия. При приближении к береговой зоне Черного моря их поперечные размеры уменьшаются и становятся диагональными относительно простирания берега. Одна из причин – это агрессивная активность Черноморского прогиба, генерирующего глубинные напряжения растяжения. Линеаменты и сейсмичность являются индикаторами этой активности. Секущий тип локализации линеаментов отражает формирование глубинного структурного плана. Очаги сейсмичности, приуроченные к глубинам около 10 км, распределяются равномерно в акватории и на суше, независимо от их геологического строения. Таким образом, интерференция разнотипных по происхождению напряжений сжатия и растяжения определяет современные геодинамические условия широкой полосы сочленения Черноморского прогиба и горного поднятия Большого Кавказа.

Ближний район участка ОСК «Бзугу» (Большое Сочи) расположен в пределах Туапсинско-Адлерской олигоцен-нижнемиоценовой впадины, отложения которой смяты в линейные и коробчатые складки раннеорогенной стадии новейшего этапа горообразования [2]. Во время позднеорогенных движений, начавшихся в конце миоцена (в послесарматское время), произошло поднятие с образованием Южной Прибортовой зоны Большого Сочи [3]. Поднятие сопровождалось дифференцированными движениями с образованием продольных и поперечных структур, зон разрывов и эрозивно-денудационных ступеней (рис. 2).

Структуры продольного общекавказского простирания представлены поднятиями и прогибами, среди которых особенно выделяются узкие валообразные поднятия. К юго-востоку от Сочи прибрежное поднятие согласуется с антиклиналью, а сопряженный с ним прогиб – с синклиной, выполненной позднепалеогеновыми отложениями. Валы являются прерывистыми по простиранию и часто приурочены к поднятому крылу раннеорогенных взбросов и надвигов, что является хорошим индикатором активности разрывов. Парагенез изгибных и разрывных форм и их морфолого-кинематические особенности указывают на развитие этих форм в условиях напряжений сжатия.

Структуры поперечного простирания представлены отчетливо выраженными грабенообразными понижениями, которые сопряжены с плосковершинными горстами. Грабены устанавливаются по характерным профилям долин рек Сочи, Псахе и Мацеста. В правом борту Сочинского грабена

установлен сброс, по которому этот борт максимально приподнят относительно поймы (Мамайский горст) [3]. На пересечении грабена с валом долина р. Сочи резко сужается, приобретая antecedentное строение. В Псахеском и Мацестинском понижениях развитие валов обрывается, а их периклиналильные замыкания испытывают поворот против часовой стрелки. Очевидно, что грабены и горсты формируются в условиях сбросо-левосдвиговых напряжений растяжения.

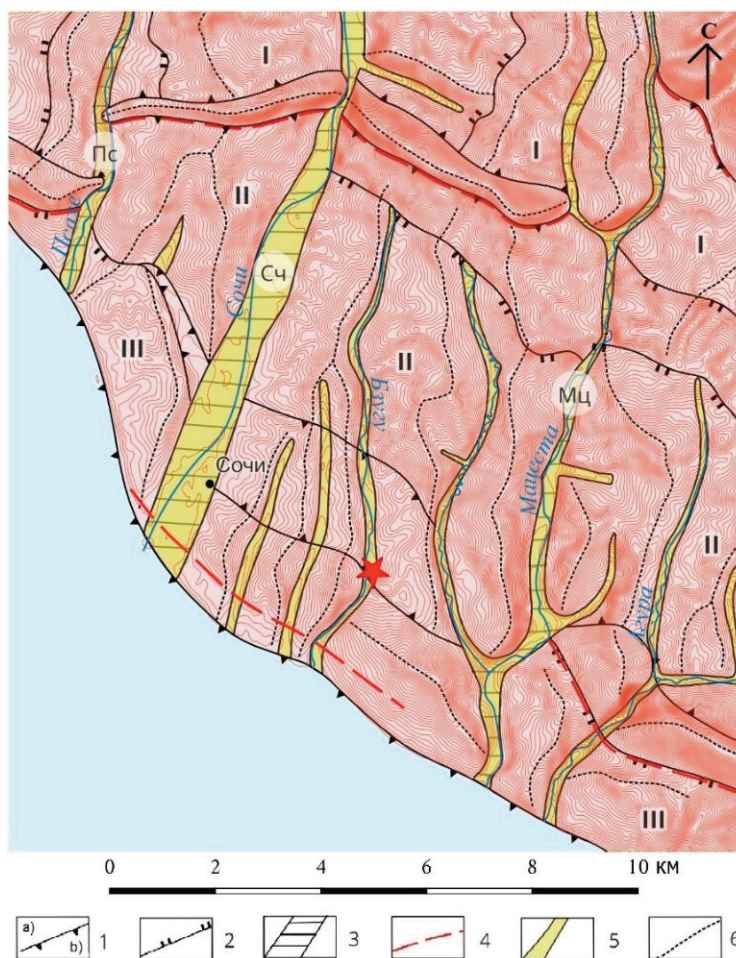


Рис. 2. Структуры ближнего района исследований ОСК «Бзугу» (Большое Сочи)

1 – изгибные формы: а) поднятия, б) прогибы; 2 – тыловые швы эрозионно-денудационных ступеней и их номер: I (относительно низкая), II (средняя) и III (относительно высокая); 3 – поперечные структуры. 4 – зоны разрывных нарушений, 5 – грабенообразные понижения; 6 – осевые линии водоразделов. Красная звезда – инженерный объект ОСК «Бзугу»

Участок ОСК «Бзугу» расположен исключительно в пределах пойменных голоценовых песчано-галечниковых отложений мощностью до пяти метров. Эти отложения несогласно залегают на складчатых породах сочинской свиты позднего олигоцена, представленной аргиллитами с прослоями мелкозернистых песчаников и алевролитов (субаргиллиты) [5]. Азимут угла падения пород СЗ 290-300° угол 12-13°. Погребенная поверхность пород (цоколь) находилась в изолированных условиях от воздействия экзогенных процессов в течение последних 11 тыс. лет. С этой точки зрения подошва голоцена рассматривается как хороший репер для выявления тектонических зон нарушений (рис. 3). Поверхность подошвы слабо наклонена в сторону моря. Ее образование связывается с раннечетвертичной морской абразией.

Деформации подошвы выявлены по многочисленным скважинам, которые представлены полными вертикальными поднятиями и понижениями. Они согласуются с продольными складками Северо-Западного Кавказа и отвечают напряжениям сжатия. Вертикальные амплитуды деформаций составляют максимум 5-10 м на базе 90-100 м. Для области активного тектогенеза уклоны мизерные и сопоставимы с платформенными. Их соотношение - 1:10. Такие уклоны вряд ли могут отражать большие накопления напряжений в коренных породах и, тем более, вызывать образование разрывов. Градиент современной скорости деформаций за голоценовое время составляет 0,04-0,09 см/год.

Учитывая срок службы инженерных сооружений 100 лет, суммарная тектоническая деформация на базе 90-100 м составит всего 4-9 см. Полученные расчеты были переданы проектировщикам.



Рис. 3. Строение погребенной поверхности коренных отложений сочинской свиты верхнего палеогена (в абс. отгм. с сечением горизонталей через 0,5 м). 1 – эрозионная поверхность коренных пород; 2 – склоны с относительно неглубоким залеганием коренных пород; 3 – склоны, образовавшиеся в результате оползневых смещений; 4 – пологая поверхность древней морской абразионной террасы; 5 – р. Бзугу и ее притоки по данным 1975 г. Красными линиями показаны границы участка ОСК «Бзугу», розовыми - контуры основных сооружений

Структурно-геоморфологические и полевые маршрутные исследования, проведенные на площадке и в окрестностях с целью уточнения зон нарушений, выявили аккумулятивные ступени голоценовой поймы и средне- и неоплейстоценовые террасы, перекрытые слоем делювиальных суглинков мощностью 3-5 м. Установлено три голоценовых уровня. Первый – практически горизонтальный, второй – деформирован с вертикальной амплитудой 3 м, третий имеет амплитуду деформаций около 6 м. База, на которой происходят деформации, составляет несколько км. Активные разрывные нарушения в их классическом понимании со смещениями пород и ступенями в рельефе, не выявлены.

Если принять во внимание консервативный принцип, согласно которому активные разломы все-таки имеют место быть на участке ОСК «Бзугу», то за срок службы сооружения смещения по ним будут небольшими. Более значительный ущерб может нанести сотрясаемость грунтов, поскольку площадка находится в сейсмоопасном регионе. Ее основание сложено слабопрочными грунтами (субаргиллитами), перекрытыми маломощным песчано-галечниковым слоем. В этом аспекте, учет и оценке подлежит Пшехско-Адлеровская поперечная зона разломов, расположенная к юго-востоку от рассматриваемого объекта. Она представлена субмеридиональными разрывными зонами транс-зонального типа, по которым Северо-Западный сегмент Большого Кавказа контактирует с более высоким Центральным сегментом.

Таким образом, участок ОСК «Бзугу» расположен в зоне тектонических напряжений, различающихся по своему происхождению и кинематике. По результатам их воздействия различают на-

пряжения коллизионного сжатия и глубинного «рифтогенного» растяжения. Они приводят к формированию двух пересекающихся структурных планов соответственно: 1) продольных общекавказских структур сжатия и 2) поперечных антикавказских структур растяжения. Первые связаны с тектоникой сближения Закавказской и Скифской плит, вторые отражают глубинные внутрикоровые напряжения, генерируемые Черноморской глубоководной впадиной, агрессивной по отношению к горно-складчатым структурам. Разнотипные напряжения вызывают латеральную тектоническую расслоенность литосферы и сейсмичность. Одна из таких зон, возможно, локализована на глубине около 10 км. К ней приурочены очаги землетрясений. Интерференция разнотипных по происхождению напряжений сжатия и растяжения определяет геодинамические условия всех строительных площадок в прибрежной черноморской зоне.

Литература

1. *Макеев В.М., Ревазов М.О., Пикулик Е.А., Фикри Е.А. Структуры альпийского орогенеза южного склона Западного сегмента Большого Кавказа в связи с обеспечением безопасности площадок инженерных сооружений // Геология и геофизика юга России. Т. 14. №4. 2024. С. 39-53.*
2. *Мейснер Л.Б., Туголесов Д.А. Туапсинский прогиб – впадина с автономной складчатостью // Геотектоника. № 5. 1998. С. 76-86.*
3. *Несмеянов С.А., Воейкова О.А. Неотектоника Воронцовской зоны и проблема молодых надвигов на Западном Кавказе // Геоэкология. №4. 2020. С. 3-20.*
4. *Расцветаев Л.М. Парагенетический метод структурного анализа дизъюнктивных тектонических нарушений. Проблемы структурной геологии и физики тектонических процессов. М.: ГИН АН СССР, 1987. Ч.2. С.173-235.*
5. *Юбко В.М. Государственная геологическая карта РФ м-ба 1:200000. Серия Кавказская. Листы К-37-IV и К-37-V. ВСЕГЕИ. 2009.*

МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ ПРИНЦИПЫ ТИПИЗАЦИИ ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ СРЕДЫ ДЛЯ ВЫБОРА КЛАССА ВЗЛЕТНО-ПОСАДОЧНЫХ ПОЛОС НА ПРИМЕРЕ АЭРОПОРТА «СЕВЕРНЫЙ» Г. ГРОЗНЫЙ

Т.В. Маликова¹, И.А. Родькина²

^{1,2} МГУ им. М.В. Ломоносова, 119234, Россия, г. Москва, Ленинские горы, д. 1, геологический факультет

¹ Институт геоэкологии им. Е.М. Сергеева РАН, 101000, Россия, г. Москва, Уланский пер., д. 13, с. 2
E-mail: malikovatv@my.msu.ru, irina-rodkina2007@yandex.ru

Объекты авиационной инфраструктуры – это важные и оперативные транспортные артерии, связывающие между собой субъекты Российской Федерации. Аэропорты, в том числе в городах Северного Кавказа, создают возможности для транспортной мобильности, способствуют увеличению туристического потока, а также помогают в развитии взаимодействия с другими регионами страны.

Ключевым элементом каждого аэропорта является взлетно-посадочная полоса (ВПП), участок размещения которой должен быть выбран еще до начала проектирования. С этой целью собирают, систематизируют и обрабатывают накопленную геологическую, гидрогеологическую и инженерно-геологическую информацию. В процессе проведения инженерно-геологических изысканий для строительства взлетно-посадочных полос в пределах аэропортов в должной степени не учитываются все факторы инженерно-геологических условий территорий, не составляются (либо составляются лишь ориентировочные) карты инженерно-геологического районирования. При грамотной и комплексной оценке инженерно-геологических условий перед началом строительства взлетно-посадочных полос возможно предотвратить негативные последствия, возникающие при их строительстве и эксплуатации.

Целью настоящей работы является разработка методологии типизации инженерно-геологических условий территорий проектирования аэропортов. Работа выполнена на примере аэропорта «Северный», расположенного в г. Грозный.

Аэропорт «Северный» располагается в черте города Грозный, в его северной части. В геоморфологическом отношении участок аэропорта представляет собой аккумулятивную равнину, наклоненную в сторону от Кавказского хребта и расчлененную речными долинами с набором террас. Естественная поверхность техногенно изменена, абсолютные отметки изменяются в пределах 130–180 м. В геологическом строении территории принимают участие четвертичные отложения различного генезиса (техногенные отложения и комплекс аллювиально-делювиально-пролювиальных отложений). Техногенные отложения встречаются локальными участками в пределах территории аэропорта и представлены дресвяным грунтом с суглинистым заполнителем (вскрытая мощность отложений 0,1–2,0 м). Комплекс аллювиально-делювиально-пролювиальных отложений представляет собой переслаивание лессовидных просадочных суглинков с прослоями супеси и линзами песчаного материала (общая мощность отложений достигает 20 м).

Инженерно-геологическая типизация территории аэропорта г. Грозный проводится для оценки возможности использования конкретного класса ВПП в зависимости от величины осадок грунтового основания. Последовательность действий для проведения данной оценки следующая:

1. Анализ геологического строения территории аэропорта на основе материалов выполненных инженерно-геологических изысканий;
2. Оценка величины возможной осадки грунтового основания в зависимости от выбранного класса взлетно-посадочной полосы;
3. Построение карт изолиний равных осадок для каждого выбранного класса взлетно-посадочной полосы;
4. Построение карты оценочного инженерно-геологического районирования территории аэропорта г. Грозный по выбору класса взлетно-посадочных полос, сравнение полученного результата с действующей взлетно-посадочной полосой в пределах аэропорта.

Взлетно-посадочные полосы в пределах аэропортов классифицируют в соответствии с СП 121.13330.2019 [3] в зависимости от размеров и нормативной нагрузки на основание, зависящей от массы взлетающих с полос самолетов. В связи с этими признаками взлетно-посадочные полосы подразделяются на классы А, Б, В, Г, Д и Е (табл. 1). На территории аэропорта г. Грозный в настоящий момент действует взлетно-посадочная полоса класса В.

<i>Таблица 1</i>						
Классификация аэродромов по длине ВПП						
Показатель	Класс ВПП					
	А	Б	В	Г	Д	Е
min длина ВПП, м	3200	2600	1800	1300	1000	500
max масса самолета, т	440	270	190	54	21,8	6,5

<i>Таблица 2</i>						
Рассчитанные величины осадок (красным цветом отмечены осадки, превышающие нормативное значение – 2,0 см)						
№ п/п	Осадок для классов ВПП без аэродромного покрытия, см			Осадок для классов ВПП с аэродромным покрытием, см		
	Б	В	Г	Б	В	Г
1	6,68	4,32	0,30	2,68	0,32	0,00
2	32,43	21,15	1,97	28,43	17,15	0,00
3	2,52	1,60	0,04	0,00	0,00	0,00
4	5,45	2,80	0,00	1,45	0,00	0,00
5	5,28	2,89	0,00	1,28	0,00	0,00
6	6,24	3,74	0,00	2,24	0,00	0,00
7	6,48	3,40	0,00	2,48	0,00	0,00
8	6,02	3,78	0,00	2,02	0,00	0,00
9	5,60	3,17	0,00	1,60	0,00	0,00
10	10,30	6,13	0,00	6,30	2,13	0,00
11	6,54	3,35	0,00	2,54	0,00	0,00
12	6,26	4,02	0,22	2,26	0,02	0,00
13	5,32	2,36	0,00	1,32	0,00	0,00
14	4,74	2,77	0,00	0,74	0,00	0,00
15	5,72	3,51	0,00	1,72	0,00	0,00
16	6,26	4,02	0,22	2,26	0,02	0,00
17	6,26	4,02	0,22	2,26	0,02	0,00
18	6,26	4,02	0,22	2,26	0,02	0,00
19	6,91	4,36	0,02	2,91	0,36	0,02
20	6,32	3,78	0,00	2,32	0,00	0,00
21	5,23	2,65	0,00	1,23	0,00	0,00
22	13,08	8,55	0,85	9,08	4,55	0,00
23	6,24	2,24	0,00	2,24	0,00	0,00
24	6,12	3,42	0,00	2,12	0,00	0,00
25	6,27	2,19	0,00	2,27	0,00	0,00
26	6,34	4,01	0,05	2,34	0,01	0,05
27	6,22	3,82	0,00	2,22	0,00	0,00
28	6,21	3,72	0,00	2,21	0,00	0,00
29	5,07	2,86	0,00	1,07	0,00	0,00
30	7,12	4,63	0,41	3,12	0,63	0,00

Для каждой пробуренной и описанной в пределах территории аэропорта инженерно-геологической скважины (~ 300 шт.) методом послойного суммирования по расчетной схеме в виде линейно-деформируемого полупространства была рассчитана прогнозируемая осадка грунтового основания в зависимости от масс самолетов для двух случаев:

Без учета покрытия ВПП (когда нагрузка от взлетающих с полосы самолетов передается непосредственно на грунтовое основание);

С учетом покрытия ВПП (когда нагрузка от самолетов, воздействующая на грунтовое основание, снижается в результате ее демпфирования аэродромным покрытием).

Расчет проводился для существующего в настоящее время класса ВПП в пределах аэропорта (класс В), а также для смежных классов ВПП (Б и Г) для оценки возможности улучшения класса существующей полосы, либо его понижения при необходимости. Величина максимально допустимой осадки была выбрана с учетом требований соответствующих нормативных документов [3] – 2,0 см. Полученные величины прогнозируемых осадок (табл. 2) свидетельствуют о превышении нормативной величины практически во всех скважинах при рассмотрении ВПП классов Б и В без использования аэродромного покрытия. При использовании аэродромного покрытия предварительная величина снижения осадки составляет 4,0 см, следовательно на территории аэропорта допускается применять более высокие классы взлетно-посадочных полос.

Для визуального отображения полученных при расчете без учета аэродромного покрытия результатов были построены статистические поверхности (карты, построенные по результатам интерполяции полученных величин) для рассчитанных величин осадок в зависимости от выбранного класса ВПП (рис. 3, 4, 5). Результаты интерполяции легли в основу карты оценочного инженерно-геологического районирования по выбору типа ВПП (рис. 6). На данной карте фоновым цветом показаны классы ВПП (В, Г, Д) с осадкой грунтового основания менее 2,0 см без учета аэродромного покрытия, штриховкой – классы ВПП (Б', В', Г') с осадкой менее 2,0 см с учетом аэродромного покрытия. Т.е. фиолетовая штриховка типа Б' указывает на то, что в результате проектирования аэродромного покрытия взлетно-посадочная полоса класса В может быть улучшена до класса Б. Аналогично, синяя штриховка типа В' указывает на улучшения класса ВПП с Г до В при проектировании покрытия, зеленая типа Г' – на улучшения класса ВПП с Д до Г. Красной штриховкой А' показана предварительно оцененная возможность улучшения класса ВПП с Б до А при применении на данном участке одного из методов технической мелиорации грунтов – силикатизации.



Рис. 3 – Рассчитанные величины осадок для ВПП класса Г



Рис. 4 – Рассчитанные величины осадок для действующей в пределах аэропорта ВПП класса В

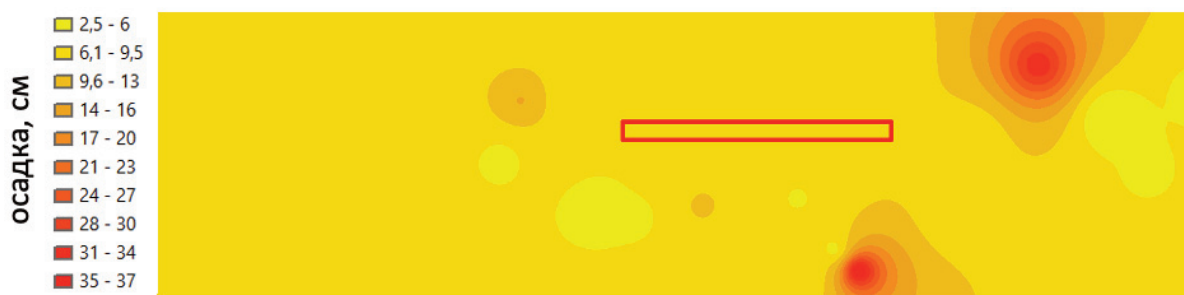


Рис. 5. Рассчитанные величины осадков для ВПП класса Б

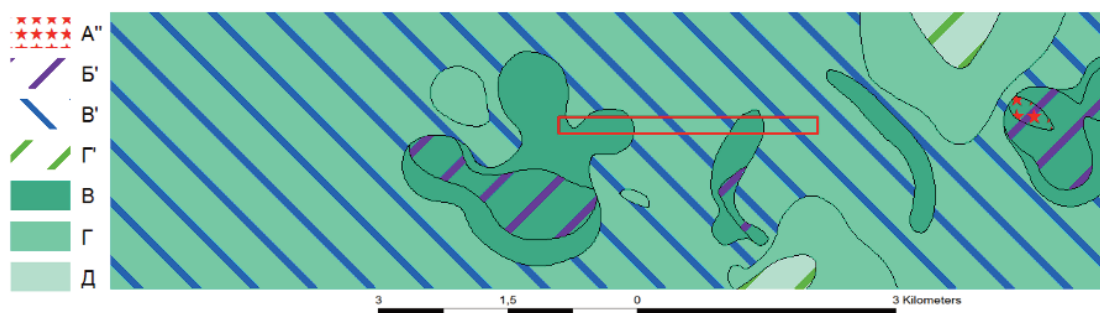


Рис. 6. Карта оценочного инженерно-геологического районирования по выбору класса ВПП

Предложенные методологические принципы типизации, составленные для аэропорта г. Грозный, позволяют также рассмотреть по-отдельности и другие аэропорты в пределах Северного Кавказа, и впоследствии применить данные принципы и к территориям со схожими инженерно-геологическими условиями с составлением общей карты типизации геологической среды Северного Кавказа.

На стадии территориального планирования приведенная типизация позволит оценить сложность инженерно-геологических условий участков предполагаемого проектирования и строительства аэропортов, в особенности участков проектирования определенных классов ВПП с расчетом возникающих при их эксплуатации осадков, что обеспечит безопасность при их дальнейшем использовании.

Литература

1. *Инженерная геология СССР. В 8-ми томах. Т. 1. Русская платформа.* – М.: Изд-во Моск. ун-та, 1978. – 528 с.
2. *Инженерная геология СССР. В 8-ми томах. Т. 8. Кавказ. Крым. Карпаты.* – М.: Изд-во Моск. ун-та, 1978. – 366 с.
3. *СП 121.13330.2019. Аэродромы.* – М.: Росстандарт, 2019. – 169 с.
4. *Трофимов В.Т., Аверкина Т.И. Теоретические основы региональной инженерной геологии.* – М.: ГЕОС, 2007. – 463 с.

ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ТЕРРИТОРИИ СЕВЕРО-ЗАПАДНОГО СКЛОНА ГОРЫ СИНЮХА (ГОРНЫЙ АЛТАЙ)

В.Д. Махлаев¹, Д.С. Андриюшин², О.В. Зеркаль¹.

¹ – Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Ленинские горы, д. 1, г. Москва, 119991

² – Игарская геокриологическая лаборатория Института мерзлотоведения им. П.И. Мельникова СО РАН,
Красноярский Край, Туруханский р-н, г. Игарка, 1-й мкрн., 8а, 663200
E-mail: vasilii.makhlaev@mail.ru, andriushinds@mail.ru, igzov@mail.ru

Введение

Горно-складчатые регионы территории России в основном находятся на удалении от плотно населенной Европейской части. В связи с этим выделяются две ключевые особенности освоения таких территорий: интерес к рекреационному потенциалу, а также малая изученность. В последние годы такого рода вопросы остро затрагивают предгорья Горного Алтая. Живописные виды Чуйского тракта с каждым годом привлекают все большее количество туристов, а в отдаленных населенных пунктах возникают новые и развиваются старые курорты. Одним из них является всесезонный курорт «Манжерок».

Объекты горнолыжной инфраструктуры содержат большое количество сооружений различных назначения и характеристик; занимают большие площади. По этим причинам требуется достаточно глубокий и комплексный подход к изучению инженерно-геологических условий территорий рекреационного назначения. Цель представляемой работы – охарактеризовать многообразие инженерно-геологических условий территории северо-западного склона г. Синюха (Горный Алтай).

Исследуемая территория соответствует участку строительства всесезонного курорта «Манжерок» в пределах Майминского района Республики Алтай. Работы по изучению инженерно-геологических условий территории выполнялись авторами и сотрудниками ООО «Инжзащита».

Геологическое строение

Дочетвертичный геологический разрез района включает *эсконгинскую свиту венда-нижнего кембрия (V-€1es)* и *усть-семинский комплекс (v€2us)* [2, 5].

Породы эсконгинской свиты представлены глубоководными разностями известняков, доломитов, туффитов и прорваны образованиями усть-семинского комплекса (рис. 1) основного состава, представленными порфиридовидными зеленовато-серыми, голубовато-серыми метагаббро. Породы характеризуются высоким содержанием хлорита – до 40%, что свидетельствует о претерпевании начальных стадий регионального метаморфизма. Прочие породообразующие минералы – роговая обманка (ок. 40%) и плагиоклазы (ок. 15%). Породы обладают высокой прочностью на одноосное сжатие – в среднем, 96 МПа. В массиве породы разбиты на призматические блоки линейным размером, в среднем, 60 см.

Территория Горного Алтая претерпевает воздействие тектонических сил, действовавших на протяжении всего фанерозоя. Тектонической природой в региональных исследованиях объясняется формирование самой Манжерокской котловины [7]. Кроме того, в пределах исследуемой территории развит ряд разрывных нарушений преимущественно Кайнозойского возраста.

В пределах исследуемой территории в подрезках серпантинных и горнолыжных трасс удалось выявить и проследить одно из таких разрывных нарушений. Комплексирование полевых методов исследований и обработки радарной космической съемки позволило уточнить положения поверхности сместителя разлома [1]. Ориентировка падения поверхности сместителя получена по результатам полевых измерений: аз. пд. 126 уг. пд. 62. Разлом субпараллелен Катунскому, а также практически не выражен в рельефе, что свидетельствует о его сравнительно небольшом – Кайнозойском – возрасте.



Рис. 1. А – общий вид на обнажения метагаббро усть-семиного комплекса; Б – подверженные тектоническим структурным изменениям метагаббро Караташского массива; видны трещины кливажа, зоны вторичной минерализации, трещины отрыва (фото автора)

В пределах приразломной зоны наблюдается – кливажирование и вторичная минерализация, сланцевание пород усть-семиного комплекса. В таких условиях резко изменяются физико-механические свойства пород. Обобщенно и количественно изменения показаны на рис. 2.

В пределах массива влияние тектонических процессов выражено сетью трещин. Наиболее частая ориентировка трещин соответствует ориентировке кливажа и сланцеватости в приразломной зоне. В пределах массива, в общей сложности, выделено 5 трещинных систем.

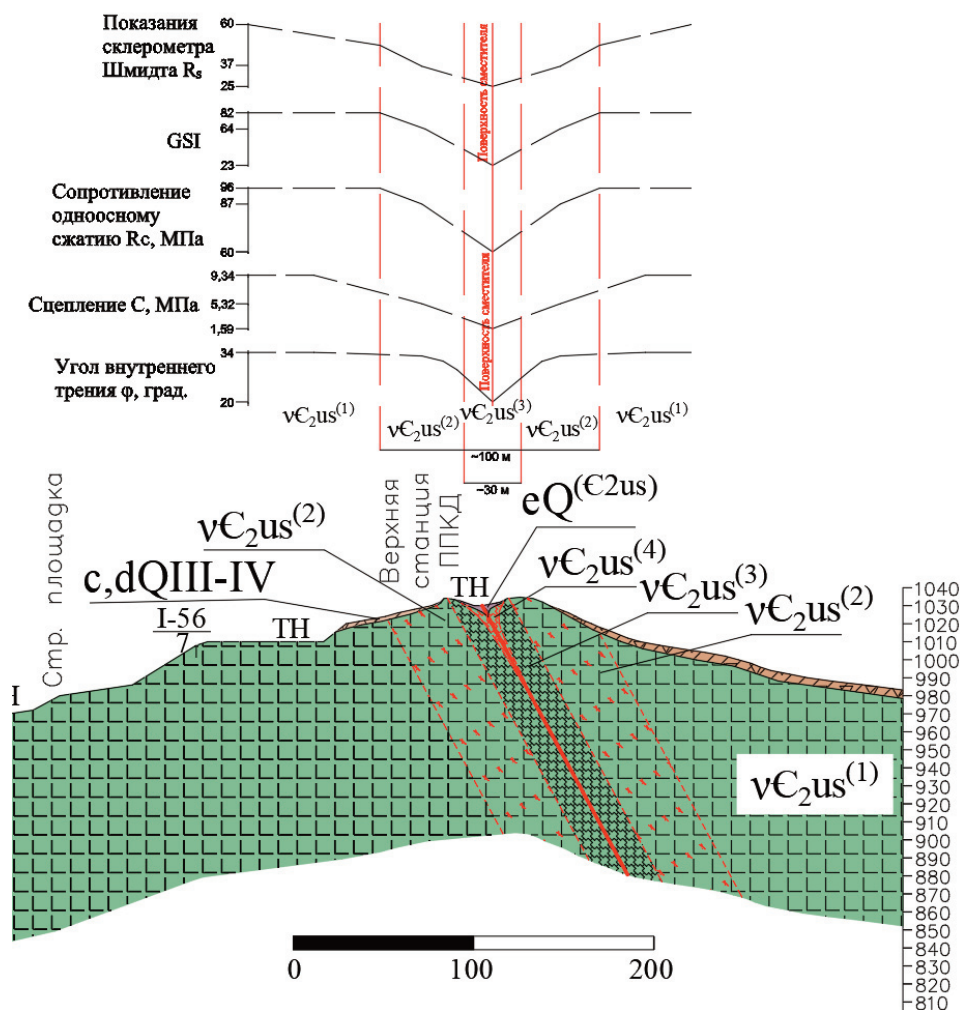


Рис. 2. Фрагмент геологического разреза привершинной части г. Синюха

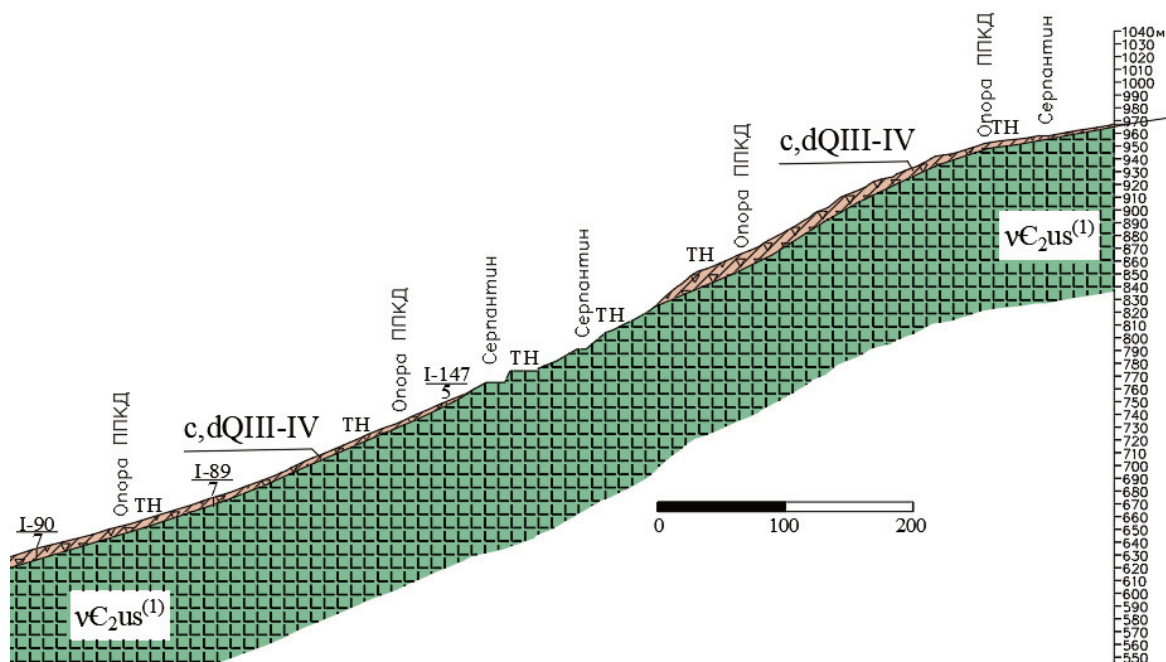


Рис. 3. Фрагмент геологического разреза в средней части склона: отображено прерывистое распространение склоновых отложений

Отложения склонового комплекса (c, dQ_{III-IV} , $c, d, dl(?)QI^1$) распространены в пределах склона г. Синюха (рис. 3, 5). Отложения представлены преимущественно коричневыми щебенистыми суглинками мощностью до 10 м в верхней и средней частях склона, до 35 м – в нижней части склона. Отложения сформированы за счет комбинации плоскостного смыва, осыпей и реже – обвалообразования.

Манжерокская котловина сформирована в катафлювиальных отложениях ининской толщи ($a, fg(?)QI^2-IIin$) мощностью до 80 м, представленных переслаиванием песков, гравия, галечника с включениями валунов (рис. 4 А, Б; 5); реже встречаются прослои пылеватых супесей, маркирующих перерывы в осадконакоплении.

В окрестностях озера Манжерокского распространены озерные отложения (l, dQ_{III}), залегающие на отложениях ининской толщи, а у подножия склона – на отложениях склонового комплекса (рис. 4, В; 5). В случае подножия склона г. Синюха, неоплейстоценовые озерные отложения перекрыты характерными отложениями склонового комплекса голоценовой генерации. Отложения представлены преимущественно суглинками, часто заторфованными на интервалах мощностью до 1 м. В пределах современного озера формируются органоминеральные грунты – торфа и сапропели.

В пределах склона элювиальные образования отсутствуют. Однако в привершинной части горы, вблизи поверхности сместителя Караташского разлома, элювий мощностью не менее 5 м представлен светло-коричневыми суглинками, лишенными крупнообломочных включений, характерных для отложений склонового комплекса. Схематично локализация элювиальных отложений привершинной части склона показана на рисунке 2 – $eQ^{(e2us)}$.

Склон горы Синюха характеризуется приповерхностным залеганием кровли скальных грунтов с нередкими скальными выходами. В средней его части развит покров склоновых образований глинистого состава мощностью до 10 м. У подножия склона расположена Манжерокская котловина, выполненная озерными, склоновыми отложениями суммарной мощностью до 35 м катафлювиальными отложениями ининской толщи мощностью в центральной части котловины до 80 м.

Геоморфологическая характеристика

В пределах склона г. Синюха абсолютные отметки поверхности изменяются от ~400 м до 1197 м. Крутизна склона в целом составляет от 20° до 60° , однако в пределах верхней части склона нередки субвертикальные скальные выходы. В ходе строительной деятельности в пределах склона возникают крутые и субвертикальные откосы высотой до 10 м.

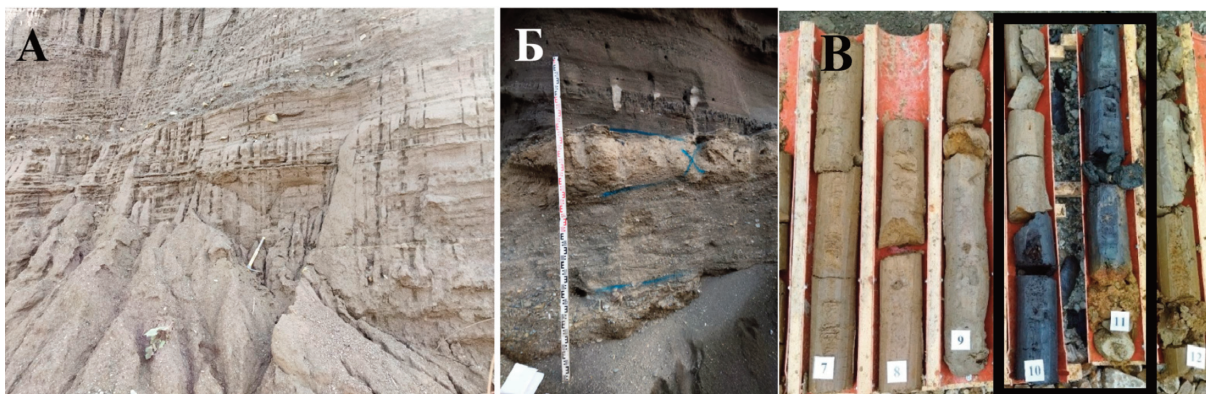


Рис. 4. А - отложения ининской толщи в борту карьера Едрала; Б – знаком X обозначен облессованный интервал, маркирующий перерыв в осадконакоплении; В - озерные отложения: мягкопластичные серые суглинки (инт. 8-9,5 м) и черные заторфованные суглинки (инт. 9,5-10,8 м) в кернах скважины, пройденной на берегу оз. Манжерокское; выше и ниже залегают характерные отложения склонового комплекса – щебенистые суглинки и супеси

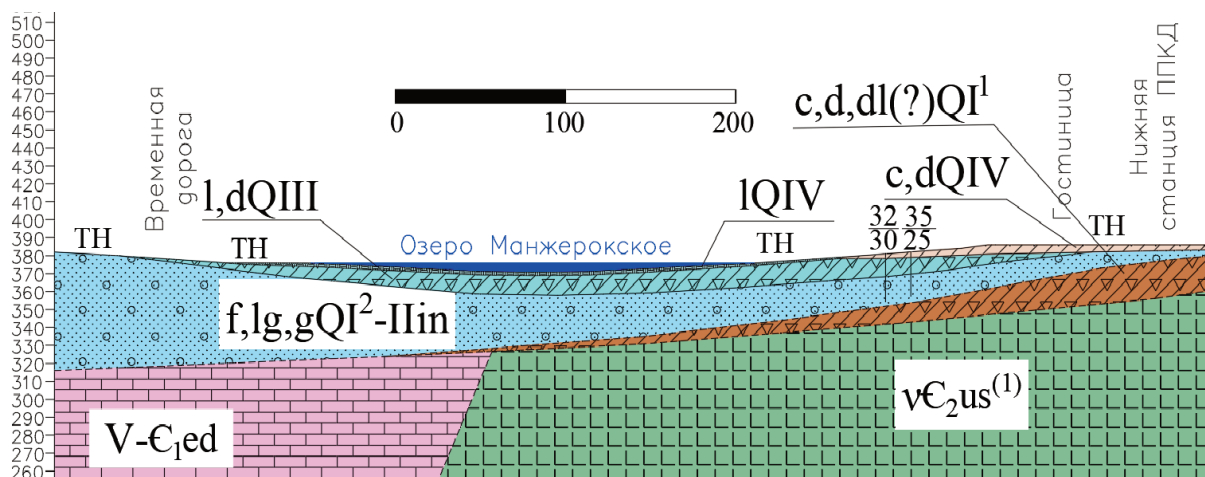


Рис. 5. Фрагмент геологического разреза Манжерокской котловины в районе оз. Манжерокское (у подножия северо-западного склона г. Синюха)

Рельеф в пределах склона г. Синюха расчленен врезами малых постоянных потоков: ручьев Манжерок, Караташ и др. В настоящее время рельеф склона и ложа котловины подвергается техногенному воздействию – возводятся насыпи, обустраиваются серпантины и горнолыжные трассы.

Склон примыкает к расположенной у его подножия Манжерокской котловине, сформированной в пределах ининской террасы р. Катунь. Это сравнительно ровная площадка, в пределах которой высотные отметки составляют 380-400 м. В пределах котловины расположено одноименное озеро глубиной в первые метры.

Геологические процессы

Территория характеризуется *расчетной сейсмической интенсивностью 8-9 баллов* согласно картам ОСР [6]. Наиболее интенсивное землетрясение в регионе за последние годы – Чуйское – характеризовалось магнитудой 7,3 [3].

В верхней части склона, в условиях близкого залегания к поверхности и распространения выходов скальных грунтов, при организации дорожных выемок и откосов развиваются *осыпи*. Реже возможно *обвалообразование*.

Локально в пределах склона распространены *оползни-сплывы* глубиной захвата до первых м. Такие оползни препятствуют обустройству горнолыжных трасс, серпантинных и строительству сооружений канатных дорог, обеспечивающих доступ посетителей к инфраструктуре

В пределах территории широко развита *линейная эрозия*. В отложениях ининской толщи под воздействием временных водных потоков развиваются промоины глубиной до 1,5 м, что связано с размываемостью песчаных интервалов толщи и отсутствием густого растительного покрова.

В пределах естественной поверхности склона г. Синюха преобладает эрозия постоянных и сезонных водных потоков. В условиях залегания с поверхности глинистых отложений и густого растительного покрова, эрозия за счет временных водных потоков в настоящее время не выражена, о чем свидетельствуют U-образные профили ложбин. Тем не менее, в пределах обустраиваемых дорог и горнолыжных трасс, при удалении растительного покрова и дернины, происходит интенсивный размыв поверхности, затрудняющий эксплуатацию транспортной инфраструктуры.

В общих условиях высокой сейсмичности, различия в преобладающих геологических процессах в пределах территории обусловлены разным геологическим строением и разными геоморфологическими условиями. В пределах склонов наибольшее внимание при ведении инженерно-хозяйственной деятельности следует уделять гравитационным процессам, учитывая возможную активизацию эрозионных.

Заключение

В общей сложности, территорию северо-западного склона г. Синюха можно разделить на три области, характеризующиеся различными геологическими, геоморфологическими и геодинамическими особенностями.

Верхняя часть склона характеризуется наличием сформированной зоны разрывного нарушения с развитой корой выветривания мощностью в первые метры – сопоставимой с заглублением фундамента сооружения. В условиях отсутствия активных геологических процессов, проблемы могут представлять повышенная трещиноватость скального массива в данной области и неоднородность потенциального основания.

В пределах **средней части склона** развиты склоновые процессы с преобладанием осыпей в пределах обнажений ближе к вершине; и маломощных оползней в дисперсных отложениях, ассоциируемых с избыточным увлажнением. В наибольшей степени неблагоприятствующим фактором освоения территории в этой части склона является уклон свыше 20° и густая растительность. Линейная эрозия не оказывает существенного влияния на природные склоны, но может получать широкое развитие в случае удаления растительного покрова.

В условиях относительно ровной площадки **нижней части склона** распространены неоднородные дисперсные отложения разного генезиса. Наибольшую опасность при обустройстве фундаментов сооружений представляют слабые органоминеральные грунты озерного происхождения и отложения склонового комплекса.

Литература

1. Андрюшин Д.С., Махлаев В.Д., Зеркаль О.В. Применение радарных космических снимков для решения региональных инженерно-геологических задач (на примере Горного Алтая) // Сергеевские чтения. Региональная инженерная геология и геоэкология (28–29 марта 2024 г.). — Т. 25. — М.: Геоинфо, 2024. — С. 402-406.
2. Государственная геологическая карта Российской Федерации: масштаб 1:200 000. Серия Горно-Алтайская. Лист М-45-II (Горно-Алтайск)
3. Еманов А.Ф., Еманов А.А., Лескова Е.В. [и др.]. Чуйское землетрясение 27 сентября 2003 года с $M_s=7.3$, $K_p=17$ (Горный Алтай) // Землетрясения Северной Евразии в 2003 году. — Обнинск: Изд-во ГС РАН, 2009. — С. 326–343.
4. Зольников И.Д., Деев Е.В., Назаров Д.В., Котлер С.А. Генезис отложений высоких террас рек Чуя и Катунь // Геология и минерально-сырьевые ресурсы Сибири. — 2014. — № 1. — С. 30–40.
5. Кривчиков В.А., Селин П.Ф., Русанов Г.Г. и др. Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1:200 000. Издание второе. Серия Горно-Алтайская. Лист М-45-II (Горно-Алтайск). Объяснительная записка. — М.: Московский филиал ФГБУ «ВСЕГЕИ», 2018. 199 с.
6. СП 14.13330.2018. Строительные нормы и правила. Строительство в сейсмических районах. Актуализированная редакция СНиП II-7-81*. — М.: Минстрой России, 2018.
7. Тверитинова Т.Ю., Маринин А. В., Деев Е. В. Геодинамика Катунского разлома (Горный Алтай) по структурно-кинематическим данным // Вестник Московского университета. Сер. 4. Геология. — 2023. — № 1. — С. 46–59.

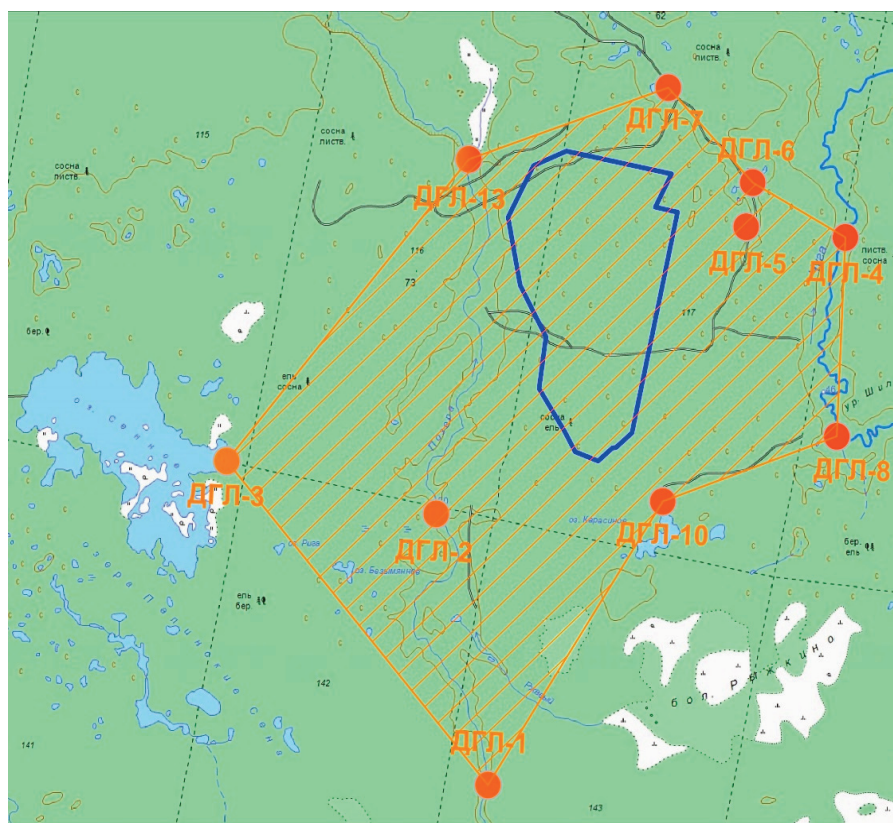
ОЦЕНКА ТОКСИКОЛОГИЧЕСКИХ РИСКОВ ДЛЯ ОРГАНИЗМОВ, ОБИТАЮЩИХ В ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЯХ В РАЙОНЕ ДЕЙСТВУЮЩЕГО ГИПСОВОГО КАРЬЕРА

В.А. Наход, А.И. Малов

ФГБУН Федеральный исследовательский Центр комплексного изучения Арктики имени академика Н.П. Лаверова
УрО РАН, 163020, г. Архангельск, пр. Никольский, 20
E-mail: Nakhod.Vitaliy@knauf.ru, malovai@yandex.ru


Качество поверхностных вод существенно зависит от состояния донных отложений, выполняющих роль естественных фильтров. Осадки водоемов аккумулируют значительную долю выпадающих органических и минеральных примесей, включая особо опасные и токсичные загрязнители, тем самым содействуя очистке воды. Однако при изменении условий накопленные соединения могут возвращаться обратно в воду, провоцируя повторное загрязнение водоемов. Это явление наиболее характерно для регионов с активной добычей полезных ископаемых, где реки испытывают значительное влияние человеческой деятельности вследствие притока сточных карьерных вод, насыщенных тяжелыми металлами [1]. Исследования последних лет показывают, что концентрация токсичных элементов, включая тяжелые металлы, значительно увеличилась в донных осадках основных рек промышленных зон России [2-4].

В августе 2023 года в районе месторождения гипса в Архангельской области было отобрано десять проб донных отложений, из которых пять проб донных отложений из рек Позера (ДГЛ-1, 2, 13) и Чуга (ДГЛ-8, 4) и пять проб донных отложений из озер Сенное (ДГЛ-3), Карасевое (ДГЛ-10),



Условные обозначения:

 Контур горного отвода карьера

 Площадь отбора проб донных осадков (1 322 га)

 Место отбора проб донных осадков

ДГЛ-1 Шифр пробы донных осадков

Рис. 1. Схема расположения точек отбора проб донных отложений

а также из трех безымянных малых озер (ДГЛ-5, 6, 7). На Рисунке 1 показана территория исследования и места отбора донных проб.

Таблица 1														
Распределение элементов в донных отложениях рек и озер (ДГЛ), а также их кларки в сланце, песчаниках и карбонатах (Turekian, Wedepohl, 1961), мг/кг														
Пробы	Sr	Fe	Mn	Zn	V	Cu	Cr	Pb	Ni	Mo	Cd	Co	Ca	Mg
ДГЛ-1	32	7300	163	22	11	2,3	9,0	2,3	7,2	5,1	0,82	2,5	2880	1740
ДГЛ-2	31	6020	124	16	8,0	1,8	7,0	1,4	5,4	3,6	0,64	1,1	3030	1250
ДГЛ-3	2,0	791	8,0	2,0	2,2	0,32	1,4	0,7	0,8	2,9	0,10	н.о.	383	241
ДГЛ-4	57	3330	98	9,0	4,3	1,8	3,5	0,8	3,8	6,5	0,44	н.о.	4560	2470
ДГЛ-5	23	6500	74	18	11	5,3	9,6	2,3	9,4	5,0	0,71	1,6	3280	2060
ДГЛ-6	121	7070	95	27	22	43	19	8,2	15	6,7	1,20	0,9	28900	4000
ДГЛ-7	96	10300	74	36	19	16	20	5,1	16	9,9	1,30	1,8	16400	2550
ДГЛ-8	290	3140	171	8,0	5,3	2,3	4,2	1,2	4,4	н.о.	0,48	н.о.	12700	3950
ДГЛ-10	15	2740	52	13	7,5	7,1	5,9	4,8	5,6	3,0	0,48	н.о.	5370	1080
ДГЛ-13	34	5490	196	15	6,1	1,9	5,2	1,3	4,6	2,0	0,56	1,1	3100	1000
Среднее	70	5268	105	17	9,6	8,2	8,5	2,8	7,2	4,5	0,67	0,9	8060	2034
Сланец	300	47200	850	95	130	45	90	20	68	2,6	0,3	19	22100	15000
Песчаник	20	9800	50	16	20	5,0	35	7,0	2,0	0,2	0,05	0,3	39100	7000
Карбонаты	610	3800	1100	20	20	4,0	11	9,0	20	0,4	0,03	0,1	302300	47000

Таблица 2											
Физико-химические параметры донных отложений											
Проба	Грансостав, %					LOI (%)	CO ₃ ²⁻ (%)	ОВ (%)	рН	Eh, мВ	Растворимые соли, мг/кг
	>500μ	500μ	250μ	100μ	<45μ						
ДГЛ-1	4,70	16,3	46,5	21,4	11,1	0,46	0,63	6,47	5,90	118	0,86
ДГЛ-2	6,48	16,5	57,9	13,6	5,52	0,39	0,53	5,37	6,63	83	0,65
ДГЛ-3	28,2	44,6	22,6	4,04	0,56	0,10	0,14	0,39	5,92	127	0,16
ДГЛ-4	42,5	46,5	7,80	2,29	0,91	0,83	1,13	0,74	6,58	96	0,39
ДГЛ-5	14,4	21,3	37,7	15,6	11,0	0,96	1,31	6,05	6,19	85	1,14
ДГЛ-6	64,9	15,8	10,9	4,90	3,50	1,77	2,41	45,6	6,65	67	3,30
ДГЛ-7	11,5	24,1	30,8	17,8	15,8	1,18	1,61	44,5	5,95	116	3,52
ДГЛ-8	10,3	36,5	46,6	5,00	1,60	0,97	1,32	3,72	6,97	73	0,92
ДГЛ-10	20,2	14,5	33,9	24,2	7,20	0,33	0,45	38,2	5,54	132	0,63
ДГЛ-13	7,00	34,0	43,6	11,0	4,40	0,44	0,60	5,83	6,50	63	0,79
среднее	21,0	27,0	33,8	12,0	6,20	0,70	1,00	15,7	6,30	96	1,20

Минимальные концентрации микроэлементов (МЭ) обнаружены в отложениях озера Сенное (проба ДГЛ-3) (табл. 1), расположенного в трех км к востоку от карьера (рис. 1). Это озеро имеет минимальное значение общей минерализации воды (0,1 г/л) и минимальное содержание органических веществ в донных отложениях (0,39%). В озере Карасевое (проба ДГЛ-10), имеющем такое же значение минерализации, но расположенном в 0,5 км к юго-востоку от карьера, концентрации МЭ в среднем в шесть раз выше. Однако отложения этого озера характеризуются высоким содержанием органических веществ (38,25%) (табл. 2). Еще более высокие содержания органических веществ (44,46-45,61%) обнаружены в отложениях карстовых озер (образцы ДГЛ-6 и ДГЛ-7), расположенных в 0,5 км к северо-востоку от границы горного отвода карьера. Здесь донные отложения имеют максимальные содержания МЭ. Речные отложения характеризуются средними значениями

как для МЭ, так и для содержания органических веществ (4,5%) и значений общей минерализации воды (1,6 г/л).

В донных отложениях озер с аномально высоким содержанием органического вещества, карбонатов и растворимых солей зафиксированы максимальные концентрации приоритетных загрязнителей: кадмия 1,20-1,30 мг/кг, никеля 15-16 мг/кг, цинка 27-36 мг/кг и свинца 5,1-8,2 мг/кг.

Для этих локальных аномалий характерны экстремальные значения трех расчетных индексов загрязнения по кадмию и молибдену: $I_{geo} > 1$ (умеренное загрязнение), $Cf > 3$ (значительное загрязнение), $EF > 40$ (очень сильное обогащение) и индекс суммарного загрязнения: $Cd > 8$ (умеренная степень загрязнения) (рис. 2). В то же время, средние значения индекса суммарного загрязнения свидетельствуют о низкой степени загрязнения ($Cd = 5,15$).

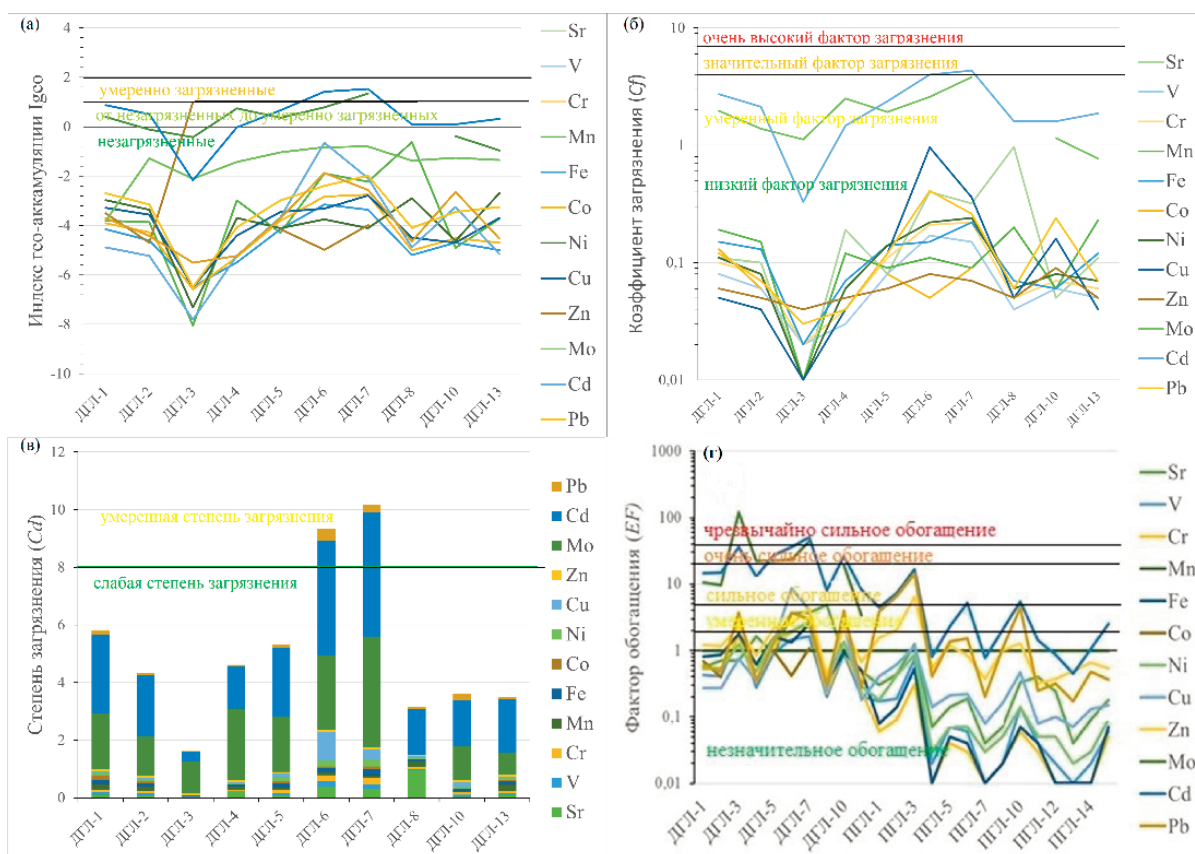


Рис. 2. Графики распределения показателей, характеризующих загрязнение донных отложений: а) индекс геоаккумуляции, б) фактор загрязнения, в) степень загрязнения, г) фактор обогащения. Также указаны классы загрязнения

Величина индекса экологического риска (ERi) для кадмия в пробах ДГЛ-6 и ДГЛ-7 достигала 120-130, что соответствует критериям значительного потенциального экологического риска (рис. 3 а). Вероятность токсического воздействия на водные организмы на этих участках возрастала до 30% ($mERM-Q = 0,129-0,137$) (рис. 3 г), в существенной степени за счет никеля (рис. 3 в, д), а содержания кадмия и меди превышали пороговые уровни (TEL), что указывает на возможность возникновения неблагоприятных биологических эффектов, а также требует особого внимания при разработке мероприятий по мониторингу. В то же время, большинство проб (100% для Pb, Zn, Cr, Ni, Cu; 50% для Cd) находятся ниже пороговых уровней (TEL , ERL), при которых вероятны негативные эффекты для биоты, а суммарный индекс потенциального экологического риска (RI) для всех проб соответствует низкому уровню экологической опасности (рис. 3 б).

Проведенное сравнение с данными других промышленных регионов показало, что значения коэффициента обогащения для кадмия (8,2-50,2) сопоставимы с показателями для промышленных районов Индии (20,3-44) [5-8] и алмазных месторождений Архангельской области (5,8-44,8).

Полученные результаты показывают, что специфические условия среды (высокое содержание органических веществ, создающих сорбционную емкость и карбонаты, влияющие на pH и

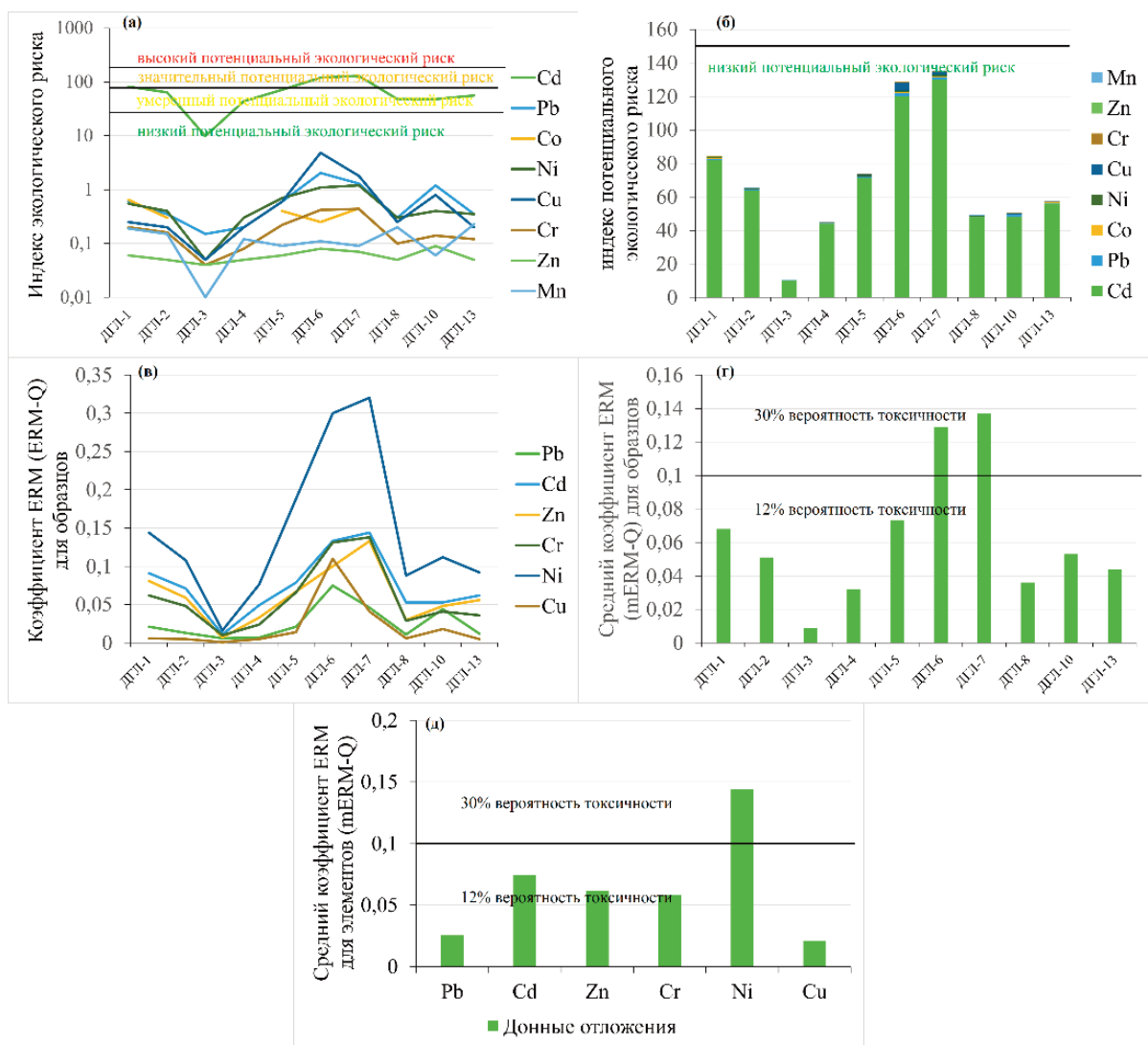


Рис. 3. Распределение индексов, характеризующих токсикологические риски для организмов, обитающих в донных отложениях и почвах: (а) индекс экологического риска для элементов (ERI), (б) индекс экологического риска для проб (RI), (в) коэффициент ERM ($ERM-Q$) для проб, (г) средний коэффициент ERM ($mERM-Q$) для проб, (д) средний коэффициент ERM для элементов ($mERM-Q$)

процессы осаждения) формируют локальные геохимические барьеры, способствующие аккумуляции загрязняющих веществ до опасных уровней. Это подчеркивает необходимость учета специфики геохимических условий при оценке экологических рисков горнодобывающих предприятий.

Результаты корреляционного и факторного анализов подтвердили, что основной вклад (64,8% дисперсии) в распределение элементов связан с антропогенным фактором, объединяющим тяжелые металлы (Zn, Cu, Ni, Cr, Pb, Mo, Cd) с содержанием органического вещества ($r = 0,75$), карбонатов ($r = 0,71$) и растворимых солей (0,87). Антропогенное загрязнение донных отложений подтверждается также тем, что по уровням обогащения (EF) донные отложения контрастно выше по сравнению с почвами (рис. 2 г) [9].

Приоритетными загрязнителями донных отложений являются молибден и кадмий (умеренное загрязнение по I_{geo} , C_f , сильное обогащение и очень сильное обогащение по EF). Согласно индексу экологического риска (RI), уровень загрязнения донных отложений в целом характеризуется низким потенциальным экологическим риском, но загрязнение кадмием характеризуется средним экологическим риском.

Согласно нормативам SQGs и значениям $mERM-Q$, загрязнение донных отложений в районе добычи гипса не должно провоцировать неблагоприятные биологические эффекты (12% вероятность токсичности), однако на отдельных локальных участках они иногда возможны из-за загрязнения никелем (30% вероятность токсичности).

Литература

1. Закруткин В.Е., Гибков Е.В., Скляренко Г.Ю., Решетняк О.С. Геоэкологические проблемы углепромышленных территорий // Проблемы безопасности окружающей среды: сб. ст. / отв. ред. А.К. Сагателян. Ереван, 2016. С. 85–92.
2. Мур Дж.В., Рамамурти С. Тяжелые металлы в природных водах: Контроль и оценка влияния: пер. с англ. М., 1987. 288 с.
3. Манихин В.И., Никаноров А.М. Растворимые и подвижные формы тяжелых металлов в донных отложениях пресноводных экосистем. СПб., 2001. 165 с.
4. Папина Т.С. Транспорт и особенности распределения тяжелых металлов в ряд: вода – взвешенное вещество – донные отложения речных экосистем: анализ. обзор. Новосибирск, 2001. 58 с.
5. Bramha S. N. Heavy metal content in the beach sediment with respect to contamination levels and sediment quality guidelines: a study at Kalpakkam coast, southeast coast of India / S. N Bramha, A. K. Mohanty, K. K. Satpathy [et al.]. — DOI: 10.1007/s12665-014-3346-y // *Environ Earth Sci.* — 2014. — V. 72. — P. 4463-4472.
6. Krishnakumar P. Trace metal in beach sediments of Velanganni coast, South India: application of autoclave leach method / P. Krishnakumar, C. Lakshumanan, M. P. Jonathan [et al.]. — DOI: 10.1007/s12517-013-0956-8 // *Arab J Geosci.* — 2013. — V. 7. — P. 2655-2665.
7. Subramanian V. Heavy metals distribution and enrichment in the sediments of southern east coast of India / V. Subramanian, G. Mohanachandran // *Mar Pollut Bull.* — 1990. — V. 21. — P. 324-330.
8. Sujatha C. H. Chemical assessment of sediment along the coastal belt of Nagapattinam, Tamil Nadu, India, after the 2004 Tsunami / C. H Sujatha, N. Aneeshkumar, K. R. Renjith // *Curr Sci.* — 2008. — V. 95. — P. 382-385.
9. Malov A. I., Nakhod V. A., Druzhinin S. V. Impact of gypsum mining on the environment in the northern taiga. /— DOI: 10.1007/s12665-024-12038-7 // *Environmental Earth Sciences.* — 2025. — V. 84. — Art. 73 (2025).

ПРИРОДНЫЕ И ТЕХНОГЕННЫЕ РИСКИ СОХРАННОСТИ ОСОБО ЦЕННЫХ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ ЗАПАДА ИЖОРСКОЙ ВОЗВЫШЕННОСТИ (ЛЕНИНГРАДСКАЯ ОБЛАСТЬ)

Л.П. Норова^{1,2}, М.Г. Цинкобурова², Д.М. Смирнов²

¹ ФБУ «ТФГИ по СЗФО», 199155, г. Санкт-Петербург, ул. Одоевского, д. 24

² Санкт-Петербургский Горный университет императрицы Екатерины II, 199106, Санкт-Петербург, 21-я линия В.О., 2
E-mail: larianorova@rambler.ru, maschek@mail.ru, dms-51@yandex.ru

Особо ценные геологические объекты, т.е. геологические объекты, представляющие научную и культурную ценность, могут быть выделены в статусе геологических заповедников, заказников либо геологических памятников (Закон РФ от 21.02.1992 № 2395-1 «О недрах», ред. от 31.07.2025). Помимо этого, особо ценные геологические объекты могут входить в комплексные особо охраняемые природные территории (ООПТ). История выделения особо ценных геологических на территории России насчитывает уже почти сто лет, за это время утверждены в статусе охраняемых сотни различных (по рангу и тематике) особо ценных геологических объектов. При этом если методике выделения ООПТ разной тематики уделяется очень большое внимание, то мониторинг состояния особо ценных природных объектов проводится, в первую очередь, для объектов биологического, а не геологического наследия. Однако скорость утраты геологических памятников или часто геологической составляющей в составе комплексных ООПТ в силу как природных, так и техногенных причин достаточно высока. Это отчетливо видно при анализе состояния особо ценных геологических объектов северо-запада Русской плиты. Многие утвержденные геологические памятники (например, многие стратотипы региональных стратиграфических подразделений, опорные стратиграфические разрезы) оказались утраченными или близкими к утрате (Цинкобурова [9] et al, 2024).

В Ленинградской области в списке ООПТ (по состоянию на 01.01.2025 года) насчитывается 58 комплексов, из них статус ООПТ федерального значения имеют только три объекта, региональное значение – 48 объектов и местное – 4. Одним из ценных геологических объектов, установленных еще в 70-е гг. XX в. является гидрогеологический памятник «Радоновые источники и озера в поселке Лопухинка», расположенный на западе Ленинградской области, в Ломоносовском районе. Большая часть района расположена в пределах Ижорской возвышенности, структурно-денудационного пологоволнистого плато. Помимо вышеупомянутых радоновых источников этот регион интересен также с точки зрения относительно активного проявления неотектонических процессов, развития пликтивных дислокаций в породах осадочного чехла, формирования достаточно редкой зоны современного пресноводного карбоната накопления. Однако далеко не все примечательные геологические объекты запада Ижорской возвышенности отражены в реестре геологических памятников региона, мониторинг состояния утвержденных, как было отмечено выше, не проводится, хотя вся Ижорская возвышенность является регионом с интенсивной техногенной нагрузкой.

Первые региональные работы на территории Ижорской возвышенности были связаны с изысканиями источников водоснабжения для Санкт-Петербурга (М.П. Алтухов и М.Б. Фейгин, 1894-1896 гг.). В начале XX в. вопросы возможного снабжения Санкт-Петербурга ключевой водой выснял Н.Ф. Погребов и показал, что предыдущие исследователи не учитывали возможности появления серии маловодных лет. Кроме того, по предварительным данным он установил содержание радона в родниках и серии озер запада Ижорской возвышенности [8]. В связи с ростом промышленности и сельскохозяйственного строительства с 30-х гг. XX в. геологические и гидрогеологические исследования (сопровождаемые большим объемом бурения) в описываемом регионе приобрели широкий размах. Систематическое изучение подземных вод Ижорской возвышенности началось с 60-х гг. XX в. К настоящему времени на рассматриваемой территории проведен целый ряд работ геоэкологической направленности, был организован регулярный мониторинг концентрации радона в источниках и озерах (она составила 15–20 Бк/л в родниках и 54 Бк/л в озере) [1-3].

Описываемая территория находится у северной границы особой орографической структуры – Ижорского плато, северо-западная часть которого носит название – Ижорская возвышенность. Плато представляет собой плоскую равнину с абсолютными отметками поверхности от +130 до +160 м, снижающимися в северном направлении к Предглинтовой низменности. Между этими двумя орографическими элементами в субширотном направлении простирается Балтийско-Ладожский глинт, который характеризуется абсолютными отметками от 100 до 130 м, крутизной уступа – 20-30 градусов. Благодаря наличию карста, обуславливающего быстрый перевод поверхностного стока в подземный, в центральной, наиболее возвышенной части Ижорского плато практически отсутствует речная сеть. Речной сток формируется на периферии Ижорского плато из карстовых источников. Формирование структурно-денудационного Ижорского плато обусловлено развитием в регионе кембрий-ордовикских терригенных и карбонатных пород и условиями длительной субаэральной денудации в регионе, продолжавшимися с мезозоя по настоящее время. На большей части территории породы палеозоя перекрыты моренными супесями и суглинками.

В пределах западной части Ижорского плато развиты водоносные комплексы и водоупоры, залегающие выше регионального водоупора – нижнекембрийского горизонта «синих глин». Обводненность здесь связана как с локально распространенными песчаными прослоями четвертичного возраста, так и с дочетвертичными терригенно-карбонатными породами. Маломощная морена (1-5 м) слабо препятствует процессам инфильтрации атмосферных осадков в карбонатную толщу ордовика. В палеозое выделяются следующие гидрогеологические подразделения: ордовикский карбонатный водоносный комплекс (ВК), копорско-леэтсеский водоупорный комплекс, кембрийский терригенный водоносный комплекс и лонтовасский водоупорный горизонт. Ордовикский ВК в пределах Ижорского плато распространен повсеместно, его северная граница проходит по глинту. Вдоль глинта мощность трещиноватых и закарстованных известняков и доломитов варьирует от первых метров до более 100 м (в долине реки Рудицы до 25 м, иногда свыше 50 м). Водоносный комплекс содержит безнапорные воды, их уровенная поверхность в сглаженной форме повторяет рельеф поверхности земли, образуя купол с максимальными отметками в центральной, наиболее возвышенной части Ижорского плато. Отсюда уровни подземных вод снижаются во всех направлениях до отметок 100-110 м. Область питания Ордовикского ВК совпадает с областью его распространения, дренирование осуществляется по линии глинта. Водообильность достаточно высокая, но неравномерная по площади. Удельные дебиты колеблются в пределах от 0,2 л/с до 20 и более л/с. Подземные воды не защищены от загрязнения с поверхности [1,2].

Подземные воды Ордовикского комплекса повсеместно пресные, с минерализацией до 0,6 г/дм³, гидрокарбонатные магниево-кальциевые или кальциево-магниевые, умеренно жесткие и жесткие с нейтральной реакцией среды. В связи с недостаточной естественной защищенностью ВК подземные воды подвержены загрязнению с поверхности. Локально отмечаются участки с повышенными значениями нитратов. Как видно, по результатам опробования и мониторинговых наблюдений площади с концентрацией нитратов 20-40 мг/дм³ и выше приурочены к интенсивно обрабатываемым сельхозугодьям, средним и крупным объектам животноводства и населенным пунктам. Подземные воды Ордовикского водоносного горизонта загрязнены также специфическими компонентами: нефтепродуктами, СПАВ, фиксируются также превышения ПДК по бактериологическим показателям, а также по Fe, Cd, Ba, Zn, Mn, Cr, P и др. [3,5].

Созданная в пределах плато наблюдательная сеть мониторинга регионального и локального уровня решает задачи слежения за качеством подземных вод на территории плато. Результаты этой работы используются при решении вопросов водоснабжения, а также для разработки первоочередных мероприятий по нормализации качества подземных вод, в первую очередь – соблюдение санитарно-технических норм эксплуатации водозаборов, включая обустройство зон санитарной охраны.

Карбонатная толща мощностью от 15 до 150 м представлена карстующимися известняками разной степени доломитизации. Согласно морфолого-генетической классификации карст Ижорской возвышенности относится к типу покрытого известняково-доломитового. Поверхностные карстовые формы выражены воронками, котловинами, реже долинами, суходолами, провалами и озерами. Количество карстовых воронок варьирует от 0 и до 30 шт на км². Пустотность, связанная с карстованием известняков, – 1-4%, иногда 8%. Наибольшее проявление карста наблюдается в северной части рассматриваемой территории (наиболее интенсивная поверхностная закарстованность отмечена вдоль глинта). Пространственные закономерности распространения карстовых форм связаны с развитием

тектонической трещиноватости карстового массива, причем оси образовавшихся воронок обычно совпадают с направлениями господствующей трещиноватости (СЗ – 320-330° и СВ -30-50°) [5].

К основным факторам, обуславливающим развитие карстовых процессов в пределах Ижорского плато, можно отнести повышенное инфильтрационное питание, агрессивность раствора, мощность зоны аэрации. Дополнительные условия для усиления процессов карстообразования зависят от загрязнения органическими кислотами с объектов животноводства и птицефабрик.

Копорско-леэтсеский относительно водоупорный слой залегает в подошве ордовикского ВК. Диктионемовые сланцы этого слоя радиоактивны, что обуславливает наличие в нижележащем кембро-ордовикском горизонте подземных вод с повышенным содержанием emanации радона. Так на северо-западной окраине п. Лопухинка зафиксировано максимальное содержание радона 312 Бк/л [5].

Особенности разреза карбонатной толщи ордовика лучше всего можно пронаблюдать в береговых обрывах р. Рудица в окрестностях пос. Лопухинка.

Геологический памятник регионального значения «Радоновые источники и озера в поселке Лопухинка». Хотя памятник заявлен только как гидрогеологический, но его можно было бы рассматривать как комплексный геологический. Стратиграфическая ценность памятника обусловлена достаточно большой степенью представительности карбонатного разреза среднего ордовика, вскрывающегося в береговых обрывах р. Рудица и Радоновых озер (верхи волховского горизонта – ласнамягский горизонт, табл. 1). Эти отложения характеризуют типичный набор фаций мелководного Северо-Эстонского фациального пояса ордовикского морского бассейна Балтики и представлены микритовыми и органогенными известняками с многочисленными прослоями известковистых глин, породы ордовика содержат богатый комплекс морских беспозвоночных. Геоморфологическая составляющая памятника связана с хорошо развитым каньоном р. Рудица, хорошо выраженный глубокий врез которого, отсутствие террасированности, а также вертикальное смещение одинаковых стратиграфических уровней на разных берегах водотока являются косвенными доказательствами приуроченности долины р. Рудица к скрытому разрывному нарушению. Вероятно, с этим же связана повышенная трещиноватость пород ордовика в описываемых обнажениях. Гидрогеологическая составляющая памятника обусловлена многочисленными достаточно высокодебитными источниками, наблюдаемыми в долине р. Рудица, связанными с выходами на поверхность вод ордовикского водоносного комплекса. Величины родниковой нагрузки на территории особо- ценного объекта по бассейну реки Лопухинка составляет 0,58 м³/сек. В химическом составе родников района отмечается повышенное содержание радона. Естественный сток родников и рек зарегулирован, соответственно, образовались два искусственных водоёма длиной около 200 м (верхний) и 550 м (нижний), шириной 40-60 м. По литературным данным из-за повышенной концентрации радона в озерах отсутствует альгнофлора и цвет воды в озерах бирюзово-изумрудный [10]. В настоящее время фитопланктон в озерах развивается, что приводит к утрате прозрачности воды. Изменения биоты озер вероятно связано с организацией здесь еще в советское время рыбного хозяйства.

<i>Таблица 1</i>				
Региональные и местные стратиграфические подразделения нижнего и среднего ордовика запада Ижорской возвышенности				
Отдел	Ярус	Горизонт	Свита	Исторические названия
Средний	Дарривильский	Ухакусский	Кыргеллаская	Эхиносферитовый известняк
		Ласнамягский	Вяоская	
		Азериский	Азериская	
		Кундаский	Лообуская	Верхний чечевичный слой Ортоцератитовый известняк Нижний чечевичный слой
	Дапингский	Волховский	Тойлаская	Глауконитовый известняк
Нижний	Флоский	Латорпский	Леэтсеская	Глауконитовый песчаник
	Тремадокский	Пакерортский	Копорская	Диктионемовый сланец

Потенциальный геологический памятник (литолого-фациальный) «Зона современного травертинонакопления в русле р. Шингарки и ручьев Ривкузи и Еркузи». Как было отмечено выше, помимо утвержденных геологических памятников на западе Ижорской возвышенности можно выделить серию особо ценных геологических объектов, не имеющих охранного статуса. Ярким примером являются достаточно редкая зона формирования пресноводных травертиноподобных карбонатов, которые М.Ю. Никитин назвал «одним из заметных феноменов Ижорского плато» [6]. При том, что пик пресноводного карбонатонакопления на Ижорской возвышенности пришелся на бореальное время (9-7,5 тыс.л.н.), в настоящее время в ряде ручьев Ижорской возвышенности продолжается формирование травертинов. Одним из таких районов является р. Шингарка, образуемая при слиянии ручьев Ривкузи и Егузи. В руслах ручьев можно наблюдать разные стадии генерации травертинов и гажи: от частичной литофикации современной растительности, произрастающей на берегах ручьев (харовых водорослей, зеленых мхов) до формирования фитоморфоз и микробиалитов. В качестве контролирующих травертиногенез факторов выступают тектонический, геоморфологический, гидрологический и биологический [6]. Основные проявления травертинов приурочены к местам дислокаций пород палеозоя, с этими зонами связана и большая водообильность ордовикского водоносного комплекса и большая степень минерализации поверхностных водотоков. В качестве биологического фактора выступает распределение цианей, способствующих осаждению карбоната кальция из воды. Таким образом, описываемые зоны представляют собой уникальную модель современного пресноводного холодноводного карбонатонакопления. Однако в настоящее время из-за интенсивных стоков из д. Глядино, находящейся в верховьях ручья Егузи, травертиногенез в данном ручье уже полностью прекращен [6]. В связи с тем, что воды реки Шингарки питают фонтаны Петродворца загрязнение как подземных вод, питающих ручьи и реку, так и загрязнение всего комплекса поверхностными стоками представляет серьезнейшую угрозу для объектов Всемирного историко-культурного наследия.

Резюмируя сказанное, следует отметить, что как и в ситуации с выделением ООПТ, связанных с объектами живой природы [4], для региона характерно отсутствие природоохранного статуса у многих типов эталонных и относительно редких геологических объектов, неправильная паспортизация утвержденных геологических памятников и отсутствие мониторинга состояния выделенных особо ценных геологических объектов.

Литература

1. Гидрогеологическая карта листа О-35-VI, масштаб 1:200000. Составили Н.В. Капустина, И.В. Баскова, Е.А. Шебеста и др., Фонды ГП ПКГЭ МПР России, 2010.
2. Грейсер Л.Е. Формирование ресурсов подземных вод Ижорского месторождения. Записки ЛГИ т.129, 1981 с.62-70.
3. Жданов, С.В. Проблемы водопользования Ижорского месторождения подземных вод/ С.В. Жданов, В.В. Куриленко // Записки Горного института. - 2013.-№200.-с. 216-221.
4. Ковалев Д.Н., Носков Г.А., Носков М.Г., Попов И.Ю., Рымкевич Т.А. Концепция формирования региональных систем особо охраняемых природных территорий (на примере Санкт-Петербурга и Ленинградской области). Часть I: экологические аспекты //Биосфера, Т., 4, № 4, 2012. С. 427-462.
5. Куриленко В.В., Жданов С.В. Научно-методическое обоснование и оценка развития карбонатного карста на территории Ижорской возвышенности и картирование связанных с ним экологических рисков. Экология и промышленность России. 2013;(10):52-56. <https://doi.org/10.18412/1816-0395-2013-10-52-56>
6. Никитин М.Ю. О генетической приуроченности месторождений голоценовых пресноводных карбонатов к особенностям структурного плана Ижорского плато // Известия Российского государственного педагогического университета им. А.И. Герцена, № 138, 2011. С. 100-110.
7. Отчет об изысканиях ключевой воды для водоснабжения С.-Петербурга / сост. М.И. Алтухов, М.Б. Фейгин. СПб.: Изд. С.-Петербургского городского общественного городского общественного управления, 1896, 2 с.
8. Погребов Н.Ф. О результатах гидрогеологических исследований, произведенных с целью выяснения вопроса возможности снабжения Петербурга ключевой водой. СПб, 1913, с.60-78.
9. Цинкобурова М.Г., Норова Л.П., Смирнов Д.М., Барановская М.Л. Об утрате объектов геологического наследия Главного девонского поля // Горный журнал. 2024. № 9. С. 90–96.
10. Хазанович К.К. Геологические памятники Ленинградской области. Л.: Лениздат, 1982.- 79 с.

РЕАКЦИЯ ГРЯДОВО-МОЧАЖИННОГО КОМПЛЕКСА ВЕРХОВЫХ БОЛОТ НА СБРОС КАРЬЕРНЫХ ВОД

Т.В. Орлов¹, М.В. Архипова¹, В.А. Смагин², В.В. Бондарь¹, А.К. Иванов³

¹Институт Геоэкологии им. Е. М. Сергеева Российской Академии Наук, 101000, Москва, Уланский пер. д.13 с. 2.

²Ботанический институт им. В.Л. Комарова РАН, 197376, Санкт-Петербург, ул. Профессора Попова, д. 2

³АО «Севералмаз», 163046, г. Архангельск, ул. Карла Маркса, 15
E-mail: tim.orlov@gmail.com

Введение

Значительное количество горнодобывающих предприятий, и занимающихся транспортировкой и переработкой полезных ископаемых находится вблизи массивов верховых болот. В результате чего они подвергаются антропогенному воздействию, приводящему к трансформации их гидрологического режима, химических характеристик и биотических компонентов.

Наиболее типичными и занимающими наибольшую площадь зонального типа верховых болот таежной зоны являются грядово-мочажинные микроландшафты. Этот тип болотного участка характеризуется высокой структурной и функциональной неоднородностью.

Классические исследования показали, что даже относительно слабые внешние воздействия могут приводить к существенной трансформации структуры торфяной толщи, водного режима и растительного покрова верховых болот ([1], 1957).

Особое внимание в литературе уделяется роли микрорельефа в формировании устойчивости болотных систем. Показано, что гряды обладают более высокой устойчивостью к гидрохимическим нарушениям по сравнению с мочажинами, что связано с их приподнятым положением, более плотной структурой торфа и особенностями растительного покрова ([5], 1995).

В работах, посвящённых загрязнению и техногенному воздействию, подчёркивается, что поступление минерализованных или нейтрализованных вод в олиготрофные болота приводит к смещению кислотно-щелочного равновесия, росту электропроводности и, как следствие, к смене видового состава растительности. В первую очередь такие изменения затрагивают сфагновые сообщества, чувствительные к повышению минерализации и pH ([4], 1991).

При длительном или интенсивном воздействии происходит переход от растительных сообществ верховых болот в свойственные переходным и низинным, сопровождающийся замещением сфагновых мхов травянистой растительностью ([6], 2011). При этом степень и обратимость трансформаций существенно зависят от уровня воды, длительности воздействия, сохранности микроландшафтной структуры и отложения минеральных наносов.

В качестве основного антропогенного фактора в настоящей работе рассматривается сброс карьерных вод, осуществляемый при разработке алмазного месторождения имени М. В. Ломоносова. В рамках проектных решений карьерные воды, стекающие по бортам карьера, откачиваются и сбрасываются на прилегающее верховое олиготрофное болото, которое используется в качестве поля поверхностной фильтрации (ППФ).

Целью исследования является анализ реакции грядово-мочажинного комплекса на сброс карьерных вод в фазе активного воздействия, а также оценка процессов восстановления олиготрофного болотного комплекса после прекращения сброса.

Материалы и методы

Исследуемый болотный участок типичен для олиготрофных верховых болот Беломоро-Кулойского плато. Растительный покров представлен преимущественно кустарничково-сфагновыми грядами и сфагновыми мочажинами, в которых доминирует *Sphagnum majus*, *S. balticum* *S. lindbergii*. В естественном состоянии мочажины характеризуются стабильным уровнем болотных вод, низкой минерализацией и кислой реакцией среды.

Карьерные воды принципиально отличаются от болотных по своим физико-химическим свойствам. Они характеризуются высокой минерализацией и нейтральной или слабощелочной реакцией (рН порядка 7-8), а также значительной мутностью, обусловленной присутствием глинистых частиц. При этом карьерные воды не содержат химических или токсичных загрязнителей; при исключении взвешенных глинистых частиц по своему составу они близки к подземным водам водоносного горизонта, потенциально пригодным для питьевого использования.

В работе рассматриваются две основные стадии: стадия активного сброса карьерных вод и стадия восстановления грядово-мочажинного комплекса после его прекращения.

При исследовании проводились геоботанические описания, измерения физико-химических параметров карьерных и болотных вод, использовались данные космической съёмки и материалы аэрофотосъёмки с беспилотных летательных аппаратов, что позволило оценить пространственное распространение и трансформацию болотных комплексов.

При анализе химического состава вод основное внимание уделялось электропроводности и значению рН, которые являются индикаторами степени влияния карьерных вод на болотную гидросистему. В условиях олиготрофного болота, характеризующегося рН порядка 3,0-3,5 и крайне низкой минерализацией, даже незначительное повышение электропроводности служит надёжными признаками присутствия карьерных вод. Таким образом, указанные параметры являются достаточными для идентификации их участия в водном балансе исследуемых участков болота.

Экологический анализ зоны восстановления произведен на основе описаний растительности на площадках 10 на 10 метров, экологических шкал Цыганова ([3], 1983) и эколого-ценотических групп видов ([2], 2006). В качестве опорных точек использованы фоновые описания болот района обследования незатронутые активной деятельностью человека.

Результаты

Период активного сброса

В период активного сброса карьерных вод выявлены три основных гидрологических сценария:

- движение воды по поверхности или вблизи поверхности поперёк гряд;
- движение воды по поверхности или вблизи поверхности вдоль гряд;
- формирование уровня воды, существенно превышающего поверхность болота.

Роль гряд существенно различается в зависимости от указанных сценариев.

При движении потока поперёк гряд последние функционируют как поперечные барьеры. Данный сценарий является наиболее распространённым, поскольку направление потока, как правило, ориентировано перпендикулярно простиранию гряд. Гряды замедляют продвижение карьерных вод и препятствуют их прямому распространению, в результате чего вода аккумулируется в мочажинах, формируя серию своеобразных отстойников. В узких или ослабленных участках гряд возникают прорывы, по которым вода может перемещаться в виде локальных потоков или небольших водопадов. Таким образом, гряды выполняют выраженную барьерно-регулирующую функцию.

При движении воды вдоль гряд установлено, что гряды практически полностью задерживают карьерные воды. Карьерная вода в этом случае разливается по поверхности мочажин, однако не проникает через тело гряды, что подтверждено результатами полевых измерений.

Измерения электропроводности и рН, проб воды, взятых с различных глубин внутри гряд и за их пределами, показали, что карьерные воды проникают в толщу болота на глубину до примерно 3 м. В мочажинах карьерная вода прослеживается по всей мощности торфяной толщи, тогда как гряды остаются практически непроницаемыми для неё до глубин, соответствующих распространению грядового торфа. Ниже этого уровня фиксируется горизонтальное перемещение карьерных вод.

Для исследуемого участка олиготрофного грядово-мочажинного болота характерно формирование воронок погружения карьерных вод в нижележащие горизонты. Выявлены две такие воронки, в пределах которых вода опускается вниз и далее мигрирует по границе торфяной толщи и минерального дна. Вблизи выхода болота на минеральную поверхность и к руслу реки фиксируются локальные поднятия болотного дна, предположительно связанные с реликтовыми русловыми формами. В этих зонах наблюдается подъём карьерных вод в виде слабых фонтанирующих выходов.

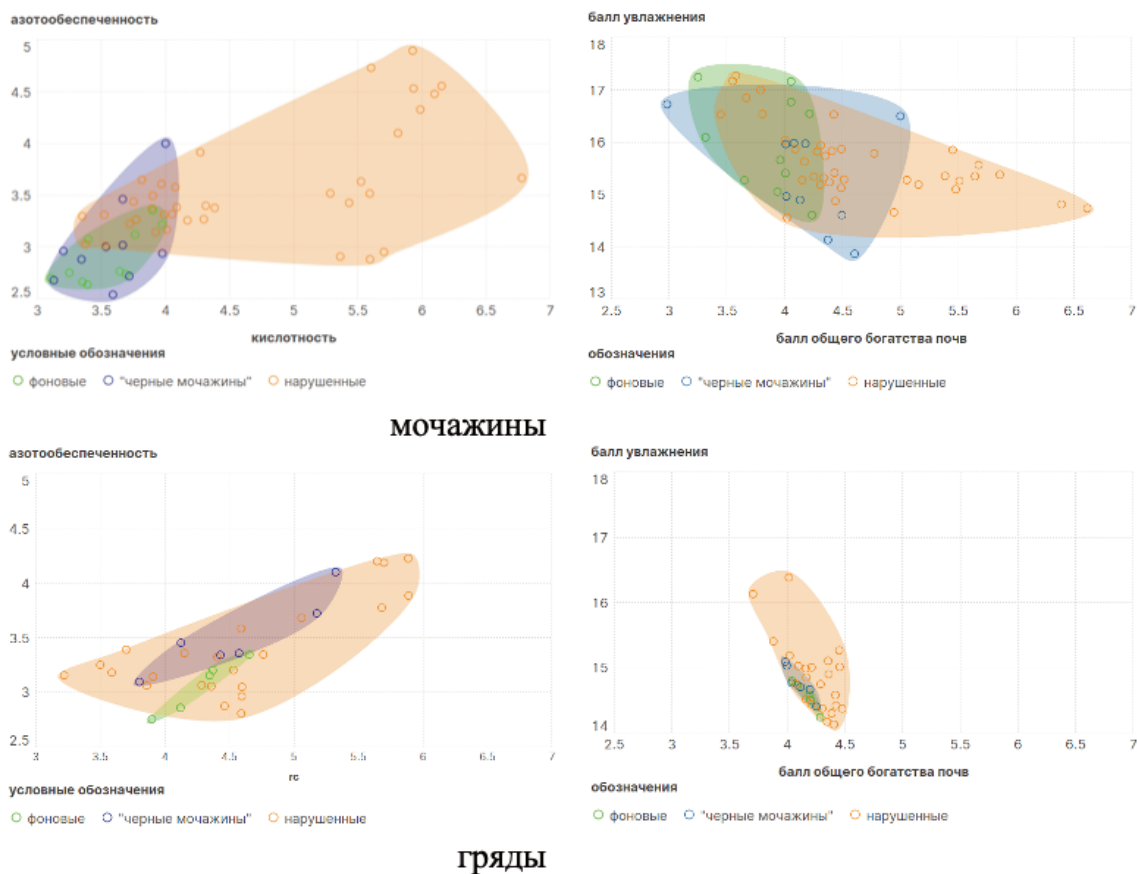


Рис. 1. Диаграммы распределения сообществ по отношению к увлажнению и общему богатству почв, обеспечению почв азотом и кислотности почв

2. Период восстановления

сценария восстановления:

- уровень карьерных вод сохраняется выше поверхности болота;
- уровень воды становится сопоставимым с естественным болотным уровнем.

В первом случае происходит полное разрушение растительного покрова верхового болота и формирование сообществ, характерных для низинных болот, с доминированием рогаза, тростника, ив, вейника или образования водоема.

Во втором случае наблюдается замещение растительных сообществ. На основе сопоставления описаний фоновой растительности грядово-мочажинных болот, с участками регрессивного комплекса, и с растительностью сообществами краевой части ППФ по формам микрорельефа (мочажины, гряды) определены основные тенденции изменения сообществ. В мочажинах по сравнению с фоновыми сообществами происходит внедрение большого количества видов, включая не болотные – 34 вида найденных в фоновых сообществах: древесно-кустарниковые виды (*Salix phylicifolia*, *S. cinerea*, *S. caprea*, *S. pentandra*, *Betula pubescens*, *Picea abies*), виды свойственные сырым лугам и низинным болотам (*Typha latifolia*, *Carex canescens*, *Juncus alpinus*, *Carex rostrata*, *Comarum palustre*), сорные виды (*Tussilago farfara*, *Rorippa palustris*) и лесные травянистые виды (*Avenella flexuosa*). На грядах происходит внедрение меньшего количества видов – около 20, но группы новых видов не меняются. Это древесно-кустарниковые виды – ивы и береза, виды низинных болот – рогаз, осока серая, тростник. Можно отметить, что почти все виды характерные для фоновых болотных сообществ присутствуют в сообществах краевой части ППФ. Однако у большей части видов резко снижается обилие. Прежде все в мочажинах исчезают сфагновые мхи, сильно снижено обилие пухоноса и шейхерии болотной. На грядах сфагновые мхи остаются, но их обилие снижается в два раза, как и покрытие морошки и лишайников рода *Cladonia*.

Геоботаническая индикация показывает, что условия увлажнения практически не меняются: как для сообществ мочажин фоновых болот, так и для северо-восточной части ППФ характерен лесо-болотный тип увлажнения. По второму показателю (трофности) сообщества ППФ и фоновых болот отличаются: для ППФ характерны более богатые условия питания, чем для фоновых болот. Происходит как увеличение обеспеченности почвы азотом, так и уменьшение ее кислотности (рис. 1).

Гряды в среднем меньше подвержены эвтрофикации, чем мочажины. В мочажинах, вследствие сохранения воды повышенной минерализации, несмотря на её частичное разбавление атмосферными осадками, происходит смена олиготрофной растительности на сообщества низинных и переходных болот.

Сфагновые мхи в мочажинах исчезают полностью. На грядах, напротив, сохраняются кустарнички и карликовая берёза, что обеспечивает сохранение преэмерсентности с растительностью верхового болота. В результате формируется сочетание, близкое к гетеротрофному ГМК: гряды сохраняют верховой характер, тогда как мочажины приобретают черты низинных болот.

Это свидетельствует о значительно более высокой устойчивости гряд как элементов грядово-мочажинного комплекса к воздействию карьерных вод.

Выводы

Была выявлена выраженная пространственно-дифференцированная реакция болотных микроландшафтов на сброс карьерных вод, обусловленная микрорельефом и неоднородностью торфяной толщи.

В период активного сброса гряды выполняют ключевую барьерно-регулирующую функцию, ограничивая распространение карьерных вод, замедляя поверхностный и приповерхностный сток и способствуя их аккумуляции в межрядовых понижениях. Наиболее интенсивное проникновение карьерных вод в торфяную толщу происходит в пределах мочажин. Проникновение карьерных вод в толщу болота ограничено глубиной около 3 м и приурочено к границе распространения грядового торфа. Ниже данного уровня фиксируется горизонтальная миграция вод по контакту торфа с минеральным дном, а также формирование локальных зон погружения и разгрузки.

После прекращения активного сброса характер восстановления болотного комплекса определяется уровнем стояния воды. При превышении уровня поверхности болота происходит полная трансформация верхового болота в низинное, тогда как при уровнях, сопоставимых с естественными болотными, формируется мозаичная структура с сохранением верховых признаков на грядах и трансформацией мочажин в низинные или переходные сообщества.

Мочажины являются наименее устойчивыми элементами грядово-мочажинного комплекса и претерпевают наиболее глубокие и, в ряде случаев, необратимые изменения. Гряды, напротив, характеризуются повышенной устойчивостью к воздействию карьерных вод и в значительной степени сохраняют верховой или переходный характер растительного покрова.

Полученные результаты подтверждают важную роль гряд как природных буферов, снижающих масштабы трансформации олиготрофных болот при сбросе карьерных вод, и подчёркивают необходимость учёта микроландшафтной структуры при оценке устойчивости болотных экосистем и планировании техногенных воздействий.

Литература

1. Иванов К.Е. *Водно-минеральное питание болот*. — Л.: Гидрометеиздат, 1957. — 364 с.
2. Смирнов В.Э., Ханина Л.Г., Бобровский М.В. *Обоснование системы эколого-ценотических групп видов растений лесной зоны европейской России на основе экологических шкал, геоботанических описаний и статистического анализа*// Бюлл. МОИП, отд. биол. Том 111, Вып.2. 2006. С. 36-47.
3. Цыганов Д.Н. *Фитоиндикация экологических режимов в подзоне хвойно-широколиственных лесов*. М.: Наука. 1983. 196 с.
4. Gorham E. *Northern peatlands: role in the carbon cycle and probable responses to climatic warming* // *Ecological Applications*. — 1991. — Vol. 1, No. 2. — P. 182–195.
5. Vitt D.H., Halsey L.A., Bauer I.E., Campbell C. *Spatial and temporal trends in carbon storage of peatlands of continental western Canada through the Holocene* // *Canadian Journal of Botany*. — 1995. — Vol. 73. — P. 168–178.
6. Laine A.M., Bubier J., Riutta T. et al. *Abundance and composition of plant biomass as potential controls for mire net ecosystem CO₂ exchange* // *Botany*. — 2011. — Vol. 89. — P. 63–74.

ОСОБЕННОСТИ ИНЖЕНЕРНО-ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ИЗЫСКАНИЙ НА ОБЪЕКТАХ РЕКУЛЬТИВАЦИИ ГОРНОДОБЫВАЮЩИХ ПРЕДПРИЯТИЙ

И.Г. Петрова¹, О.А. Екимова¹, Ю.В. Сулова¹, Т.Н. Устинова²

¹Уральский государственный горный университет, г. Екатеринбург,
ул. Куйбышева, 30
E-mail: igp05@mail.ru

²ООО «Гидрогеологии инженерной геологии и геоэкологии» г. Екатеринбург
ул. Хохрякова, д. 72, оф. 405

Интенсивное освоение полиметаллических и золоторудных месторождений высокогорных районов Магаданской области привело к формированию значительных по площади нарушенных земель на территории горнодобывающих предприятиях. После завершения разработки месторождения недропользователь, согласно требований природоохранного законодательства, обязан провести мероприятия по рекультивации земель или выполнить их консервацию. Для принятия проектных решений и выбора направления рекультивации необходимо получить сведения, характеризующие современное экологическое состояние.

Многолетний опыт работ на горнодобывающих объектах региона, начиная с этапа геоэкологических исследований для технико-экономического обоснования кондиций, инженерно-экологических изысканий для проектирования предприятий и оценки нарушенных земель для проектов рекультивации месторождений, позволил установить некоторые особенности, как в методическом подходе проведения работ, так и в объективности оценки параметров среды. Наибольшее количество вопросов у изыскателей возникает при изучении почв и грунтов участка рекультивации, что связано с масштабами нарушений ландшафтов, разнообразным функциональным назначением объектов в границах рекультивации и несовершенством существующей нормативной базы [3].

Порядок проведения рекультивации и консервации земель устанавливает Постановление Правительства РФ от 29.05.2025 № 781 «Об утверждении Правил проведения рекультивации и консервации земель».

Нормативными документами, регламентирующими проведение экологических изысканий, являются: СП 47.13330.2016. «Свод правил. Инженерные изыскания для строительства. Основные положения. Актуализированная редакция СНиП 11-02-96» [9]; СП 502.1325800.2021 «Инженерно-экологические изыскания для строительства. Общие правила производства работ» [10]. Общие требования и оцениваемые параметры в зависимости от направлений дальнейшего использования земель устанавливает ГОСТ Р 59057-2020 «Охрана окружающей среды. Земли. Общие требования по рекультивации нарушенных земель». Выбор направлений рекультивации определяется в соответствии с требованиями ГОСТ Р 59060-2020. Охрана окружающей среды. Земли. Классификация нарушенных земель в целях рекультивации».

Результаты полевых и аналитических исследований почв и грунтов месторождений горных районах Магаданской области показывает наличие высотной поясности в распределении почвенного покрова даже в границах небольших по площади месторождений. На вершинах водоразделов и в верхней части склонов картируются каменистые россыпи и фрагменты горных примитивных почв, по склонам в подзоне лиственничного редколесья развиты подбуры и подзолистые почвы, в межгорных впадинах и депрессиях под кустарниковыми лиственничниками развиты различные таежные глеевые и торфянистые почвы [1].

Месторождения находятся в области сплошного распространения многолетнемерзлых пород, где естественные экосистемы обладают низкой устойчивостью и способностью к самовосстановлению. Суровый климат и наличие мерзлоты являются ограничивающим фактором для биохимических процессов, усложняют закладку корнеобитаемого слоя и формирование плодородного слоя [5]. Почвенный покров даже в ненарушенных условиях имеет малую мощность, высокую степень каменистости в верхней части профиля [4]. Для основных типов почв региона характерно низкое значение рН. Кроме того, для почв месторождений, наличие рудных зон и рудогенных минерали-

заций в скальных породах и почвообразующих рыхлых породах, определяет наличие геохимических аномалий в верхних горизонтах гумусового слоя. Ассоциации элементов и их содержание имеют вариативное значение для разных типов месторождений, чаще всего это мышьяк и сера, связанные с арсенопиритовыми рудами золоторудных месторождений, а для полиметаллических месторождений это свинец, кадмий и цинк [6]. Причем фоновые концентрации, установленные в почвах и грунтах до начала промышленной разработки, значительно выше нормативных предельно-допустимых значений. Часто, практически все почвы месторождений по совокупности нормируемых показателей относятся малопригодным, для них не рекомендуется снятие и сохранение.

Особенность изучения и оценки свойств почв и грунтов территорий, нарушенных при добыче рудного сырья связана с требованием к детальности исследований. Изыскатель для получения достоверных сведений о состоянии почвенного покрова при составлении программы работ и обосновании объемов должен руководствоваться рекомендациями п. 5.24.2 СП 502.1325800.2021, ГОСТ 17.4.3.01–2017 «Охрана природы. Почвы. Общие требования к отбору проб» [2], а также п. 6.ГОСТ Р 59057-2020 «Требование гласит «- не менее одной объединенной пробы, состоящей как минимум из пяти точечных проб, взятых с одной пробной площадки на каждые 0,5-1.0 га. с глубины от 0 до 5 см и от 5 до 20 см. масса каждой точечной пробы не более 200 г. – для территорий, подлежащих рекультивации». То есть оценки химического состава отвала вскрышных пород (зачастую однородного по литологии) площадью до десятков гектар необходимо послойно отобрать и изучить десятки или сотни проб, чтобы убедиться, что в этих породах повышенные концентрации некоторых металлов [7], для добычи которых эту породу и вынимали на поверхность.

Требования к отбору проб на агрохимические и агрофизические исследования и оценки плодородных свойств для территорий нарушенных земель, предназначенных к рекультивации в нормативной базе отсутствуют, впрочем как и для территорий иного функционального назначения (транспортных, селитебных). При изысканиях на стадии проектирования специалисты традиционно пользуются рекомендациями «Общесоюзной инструкции по почвенным обследованиям и составлению крупномасштабных почвенных карт землепользований (утверждена Министерством сельского хозяйства СССР от 23 июня 1972 г.)», которая разработана для оценки сельскохозяйственных земель, а никак не для территорий горнодобывающих предприятий отвалов, карьеров, дорог, отстойников, т.е. «типичных» для рекультивации месторождений участков. Детальность исследований и перечень обязательных показателей, определяемых в лабораторных условиях, несут некоторый элемент творчества, хотя изыскатели при работе на месторождениях и придерживаются рекомендаций п. 5.25.2.2. 502.1325800.2021 при прохождении экспертиз возможны отклонения в требованиях в части применимости ГОСТов «Охрана природы. Почвы» и «Охрана природы. Земли».

Общим нормативным документом, используемым в экологических исследованиях для оценки степени загрязнения почв, является СанПиН 1.2.3685-21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания», в составе которого представлена таблица 4.1 «Предельно допустимые концентрации (ПДК) и ориентировочно допустимые концентрации (ОДК) химических веществ в почве», но этот таблица относится к разделу «Почва населенных мест и сельскохозяйственных угодий». Земли горнодобывающих предприятий, предназначенные для рекультивации, это чаще всего арендованные земли лесного фонда. Нормирование по данной таблице носит условный характер, так как существуют противоречия в оценке степени загрязнения почв.

В СанПиН 1.2.3685-21 [8] оценка степени загрязнения почвы и выбор вида ее использования проводятся с учетом лимитирующих показателей вредности: общесанитарный, миграционный водный, миграционный воздушный, транслокационный, которые для неорганических соединений в почвах не регламентируются ни одним утвержденным документом. Нормирование загрязнения почв с использованием показателей K_{max} , также отсутствует в существующих нормативных документах. Аналогичное требование к оценке качества почв прописано в п. 21 раздела IV СанПиН 1.2.3685-21, введенного в действие также с 01.03.2021 г. Согласно данному документу, оценка степени химического загрязнения почв проводится с учетом класса их опасности, ПДК и максимального значения допустимого уровня содержания элемента K_{max} (максимальное значение допустимого уровня содержания элемента по одному из четырех показателей вредности). Значения K_{max} приведены в МУ 2.1.7.730-99, однако этот документ не подлежит государственной регистрации, не

относится к санитарным правилам, а указанные в нем уровни допустимого содержания элементов (в т.ч. Ктах) не являются гигиеническими нормативами.

Согласно п. 119 СанПиН 2.1.3684-21, использование почв в зависимости от степени их химического, бактериологического, паразитологического и энтомологического загрязнения должно осуществляться в соответствии с приложением № 9, в котором допущена техническая ошибка, согласно письму от 28 сентября 2022 г. N 09-17466-2022-40 Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, в части рекомендации использования почв, которые должны быть вывезены и утилизированы на специализированные полигоны. Так как к настоящему времени в приложение 9 СанПиН 2.1.3684-21 изменения не внесены, следует обратиться к предыдущей версии СанПиН 2.1.7.1287-03 «Санитарно-эпидемиологические требования к качеству почвы», отмененный в связи с введением новых нормативов в 2021 г., где рекомендации по использованию почв, в зависимости от степени их загрязнения – «вывоз и утилизация на специализированных полигонах», оценивалась по степени химического загрязнения по максимальному значению допустимого уровня содержания элементов по показателям вредности.

Следует отметить, что основные показатели оценки санитарного состояния почв, предусмотренные для территорий населенных мест, не учитывают специфику источников загрязнения окружающей среды и функциональное назначение проектируемых объектов.

На территории горнодобывающих предприятий и вблизи месторождений «условной чистые» почвы и грунты с «допустимой» категорией загрязнения отсутствуют, и найти почвы пригодные для рекультивации по свойствам зачастую просто невозможно в виду их отсутствия.

Таким образом, при выполнении ИЭИ для любой стадии проектирования выполнить корректную оценку экологического состояния почв и определить вид их дальнейшего использования в зависимости от степени загрязнения, с учетом требований новых СанПиН 2.1.3684-21 и СанПиН 1.2.3685-21 не представляется возможным, поэтому существует вероятность принятия необоснованных проектных решений в части дальнейшего использования почв и рекультивации нарушенных земель.

Литература

1. *География и генезис почв Магаданской области/ Под ред. Игнатенко И.В, Берман Д.И./ Владивосток., ДВНЦ АН СССР, 1980.*
2. *ГОСТ 17.4.3.01–2017 «Охрана природы. Почвы. Общие требования к отбору проб»*
3. *Грязнов О.Н., Петрова И.Г., Стороженко Л.А. Геоэкологическое районирование освоенных территорий. Екатеринбург: Известия УГГУ, 2017. Вып. 4(48). 7-13 с.*
4. *Иосифович Н.Л., Татарченков М.И. Земледелие Магаданской области. Магадан. Магаданское книжное издательство, 1968.*
5. *Классификация и диагностика почв СССР. М.: Колос, 1977.*
6. *Клокова Ю.В. и др. Исследование почвенного покрова территории серебряно-полиметаллического месторождения в республике Саха (Якутия). –Иркутск, 27 февраля–03 марта 2023 года*
7. *Клокова Ю.В. и др. Проблемы изучения и оценки степени загрязнения почв и грунтов в границах МПИ. — 2021.*
8. *СанПиН 1.2.3685-21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания»*
9. *СП 47.13330.2016. «Свод правил. Инженерные изыскания для строительства. Основные положения. Актуализированная редакция СНиП 11-02-96»*
10. *СП 502.1325800.2021 «Инженерно-экологические изыскания для строительства. Общие правила производства работ»*

ОСОБЕННОСТИ ЭКОЛОГО-ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ АЭРОПОРТА ДОМОДЕДОВО

И.А. Родькина

МГУ имени М.В. Ломоносова, геологический факультет. 119991, Российская Федерация, Москва, Ленинские горы, д. 1
E-mail: irina-rodkina2007@yandex.ru

Особенности антропогенного блока объекта

Международный аэропорт Домодедово имени М.В. Ломоносова – международный аэропорт федерального значения, один из четырёх основных аэропортов Москвы и Московской области, второй по объёму пассажиропотока в РФ. Расположен на границе городского округа Домодедово и Раменского района Московской области, в 45 километрах к юго-востоку от центра Москвы, в 22 километрах от МКАД.

Аэропортовый комплекс включает в себя лётное поле, образованное двумя независимыми параллельными взлётно-посадочными полосами (ВПП-1 и ВПП-2). Они расположены в двух километрах друг от друга, что делает Домодедово единственным аэропортом Московского авиационного узла, способным одновременно производить на своих полосах операции по взлёту и посадке. Обе ВПП сертифицированы по категории ICAO CAT IIIA. Реконструкция ВПП-1 сделала Домодедово первым российским аэропортом, имеющим возможности принимать пассажирский лайнер Airbus A380.

Пассажирский терминал аэропорта Домодедово имеет сертификат «С» IATA (International Air Transport Association – Международная ассоциация воздушного транспорта) и является первым в России, прошедшим сертификацию по международному стандарту качества ISO 9001:2000. В 2022 году Домодедово обслужил 21,2 млн пассажиров.

В настоящий момент ведется строительство третьей взлетно-посадочной полосы, в ближайшем будущем планируется увеличение взлетных полос до 10, а к 2062 году превращение аэропортового комплекса в огромный «аэротрополис».

Особенности абиотических и биокосных компонент ЭГС объекта

Особенности литотона ЭГС объекта. В ландшафтно-географическом отношении рассматриваемая территория расположена в пределах Климовского ландшафта волнистых и плоских, озерно-водноледниковых равнин Московско-окской провинции. Ландшафт располагается на абсолютных высотах 160-195 м. Дочетвертичный фундамент, кровля которого представлена юрскими глинами с прослоями песков, относительно ровный (150-160, местами 170 м). Ландшафт сформировался на участке, где водно-ледниковые потоки позднемосковского времени имели застойный характер. Поэтому в его структуре преобладают местности озерно-водноледниковых равнин. Доминантное урочище – волнистые озерно-водноледниковые равнины, сложенные покровными суглинками на озерно-водноледниковых алевритах и песках. Непосредственно территория аэропорт расположена в пределах пологоволнистой эрозионной равнины с хорошо разработанными долинами рек (Пахра, Рожайка, Гнилуша) и их притоками (Жданка, Мурашиха и т.д.). Большинство притоков берут начало в непосредственной близости от территории аэропорта, дренируя его территорию со всех сторон. Вся территория аэропорта представляет собой зону транзита поверхностных и латеральных геохимических потоков. Локально в ней выделяются зоны аккумуляции, приуроченные к полужамкнутым понижениям рельефа [2].

Геологическое строение территории рассматривается на глубину техногенного воздействия, которое определяется глубиной залегания эксплуатируемых водоносных горизонтов каменноугольной системы по региональным данным. Четвертичная система представлена среднечетвертичными, верхнечетвертичными и современными отложениями. Мощность четвертичных отложений изменяется от 10 м до 50 м. Наименьшие мощности наблюдаются в поймах рек и в оврагах, наибольшие зафиксированы на участках погребенных долин, которые не унаследованы современной гидрографической сетью.

Четвертичные отложения представлены отложениями снизу вверх:

- водно-ледниковые отложения представлены песками, супесями и суглинками флювиогляциального, аллювиального и озерного генезиса;

- донская морена имеет повсеместное распространение, литологически представлена валунными суглинками основной морены с линзами мелкозернистого песка с гравием и галькой средней мощностью 10-20 м;

- водно-ледниковые отложения времени отступления донского ледника и наступания московского, а так же донско-московский горизонты (нерасчлененный комплекс) представлены песками, участками разнозернистыми с гравием, супесями, суглинками и глинами;

- основная морена московского оледенения, представленная суглинками бурыми с включением по всему разрезу гравия, гальки, валунов и линз песка мощностью чаще всего 5-12 м, но на отдельных участках может увеличиваться до 26 м; широкое распространение получили водноледниковые отложения времени 1-го и 2-го этапа отступления московского ледника, представленные песками, суглинками реже глинами мощностью в среднем 5-8 м, на отдельных участках до 20 м;

- покровные отложения перекрывают отложения водораздельных равнин и надпойменных террас, в долинах рек отложения комплекса отсутствуют.

Литологически отложения комплекса представлены преимущественно суглинками с прослоями и линзами супеси, тонко-мелкозернистого песка и мелкого гравия мощностью 5-8 м, реже до 12 м.

Меловая система представлена нижним отделом, сложенным мелкозернистыми песками, которые развиты отдельными пятнами в пределах рассматриваемой территории. Мощность нижнемеловых песков составляет 10-15 м.

В отложениях юрской системы выделяются оксфордский и волжский ярусы. Оксфордский ярус представлен плотными глинами мощностью 5-20 м. Волжский ярус сложен глауконитовой глиной, вверх по разрезу переходящей в глауконитовые, затем кварцево-глауконитовые пески. Мощность яруса от 0,8 до 6,4 м.

Каменноугольная система представлена отложениями нижнего и среднего отдела, сложенными карбонатными отложениями. Отложения представлены преимущественно известняками и доломитами с прослоями мергелей и глин, иногда песками и песчаниками.

Территория аэропорта расположена в южной части *Московского артезианского бассейна*, характеризующейся распространением средне- и нижнекаменноугольных отложений, к которым приурочены водоносные горизонты, служащие основным источником водоснабжения Подмосковья. Водоносные горизонты мезозойских и кайнозойских отложений маловодообильны и имеют местное водохозяйственное значение, они эксплуатируются сельским населением с помощью каптажа источников и колодцев.

В четвертичных отложениях территории выделяются следующие водоносные горизонты: водоносный горизонт современных аллювиальных отложений; надморенный водоносный горизонт; надъюрский водоносный комплекс; водоносный комплекс каменноугольных отложений.

Водоносный горизонт современных аллювиальных отложений распространен повсеместно в долинах рек, ручьев и днищах балок. Водовмещающими породами являются супеси, пески и гравийно-галечные отложения мощностью от 0,5 до 11,5 м. Глубина залегания уровня изменяется от 0,0 м до 6,5 м. В долинах рек Пахры аллювий залегает непосредственно на известняках каменноугольной системы, что обуславливает его тесную связь с подольско-мячковским водоносным горизонтом. В местах размыва днепровской морены мощность обводненной толщи увеличивается до 15-20 м за счет супесчаных пород окско-днепровского флювиогляциала, нижнего мела и верхней юры, т.е. объединяются надъюрский и аллювиальный водоносные горизонты в единый водоносный комплекс. Горизонт пополняется за счет инфильтрации атмосферных осадков, бокового притока и питания из поверхностных водоемов при подпоре реки. Разгрузка грунтовых вод осуществляется за счет испарения и дренированием вдоль рек и оврагов, а также бокового оттока. Надморенный водоносный горизонт имеет спорадическое распространение, развит в северной части планируемой территории. Фильтрационный поток направлен к долинам рек, осложняясь овражно-балочной сетью, образует в понижениях рельефа поверхностные водоемы. Глубина залегания надморенного водоносного горизонта изменяется от 1 м до 5 м в зависимости от рельефа поверхности земли, а также кровли и мощности днепровской морены, которая является нижним, подстилающим водоупором. Водовмещающими породами являются пески днепровско-московского флювиогляциала и песчаные прослои в покровных глинах (разнозернистые, местами глинистые, содержащие гравий, гальку, иногда валуны). Мощность водовмещающей толщи изменяется от 1 м до 7 м. Сезонные колебания уровня грунтовых вод (УГВ) могут превышать 1 м. Питание горизонта осуществляется за счет инфильтрации – атмосферных осадков, полива огородов и полей, а также бокового притока. Разгрузка – за счет перетекания вниз, бокового

оттока, испарения с УГВ и в виде высачивания на поверхность родниками по балкам, оврагам и по долинам рек, что способствует росту оврагов и формирует местами поверхностные болота.

Надьюрский водоносный комплекс объединяет надьюрские отложения водовмещающие отложения, которые включают горизонты, представленные песками волжского яруса, меловыми отложениями, флювиогляциальными и аллювиально-флювиогляциальными супесчаными слоями, которые имеют общие зоны питания или разгрузки. Нижним водоупором являются юрские глины, кроме мест размыва в долине реки Пахры, где надьюрский водоносный комплекс горизонты объединяется карбоновым водоносным горизонтом в единый.

Водоносный комплекс каменноугольных отложений представлен подольскомячковским водоносным горизонтом, каширским водоносным горизонтом и окскопротвинским водоносным горизонтом.

Подольско-мячковский водоносный горизонт приурочен к известнякам и доломитам подольского и мячковского горизонтов общей мощностью 40-50 м. Верхним водоупором служат оксфордские глины мощностью 3-8 м, отсутствующие в долине рек Пахры. Отсутствие глин юрского возраста в долинах рек обусловило тесную гидравлическую связь, как с загрязненными водами четвертичных отложений, так и с поверхностными водами реки Пахры. В настоящее время режим подольскомячковского водоносного горизонта нарушен интенсивной эксплуатацией для хозяйственно-питьевого водоснабжения населенных пунктов ГО Домодедово.

Каширский водоносный горизонт имеет повсеместное распространение и приурочен к известнякам и доломитам с редкими прослоями мергелей и глин с преобладающей мощностью 40-50 м. Верхним водоупором являются глины и мергели ростиславльской толщи, нижним – плотные глины и мергели верейского возраста.

По составу подземные воды каменноугольных отложений гидрокарбонатные кальциевые, кальциево-магниево-магниево-кальциевые с повышенным содержанием фтора, стронция и железа.

Особенности эдафотона. Почвы территории аэропорта преимущественно супесчано-легкосуглинистые, слабоуплотненные или рыхлые в гумусовом и пахотном горизонтах, тяжелосуглинистые и плотные в иллювиальных горизонтах.

Как по морфологическим, так и физико-химическим свойствам почвы и техногенные поверхностные образования аэропорта существенно отличаются от фоновых для округа. Техногенные поверхностные образования аэропорта – квазиземы [1], представляют собой полигенетические образования (почвогрунты), у которых верхняя гумусово-минеральная часть насыпная, а нижняя – остаточная – почва, срезанная до глубины 30-50 см.

Реакция среды варьирует от слабокислой (рН – 5,5-5,7) до щелочной (рН – 7,9). С глубиной практически во всех профилях кислотность повышается. Такая вариабельность рН обусловлена неравномерным внесением удобрений и разной интенсивностью агрохимического и агротехнического обслуживания специализированного травяного газона. Вблизи взлетно-посадочных полос в почвах наблюдается снижение кислотности, что видно по состоянию и составу растительного покрова. Содержание гумуса средне-высокое, колеблется в пределах 4-10%, что объясняется, во-первых, более интенсивным поступлением тепла и солнечной энергии на открытую поверхность почв, без изъятия биомассы и, во-вторых, дополнительным внесением органики и особенно минеральных удобрений, стимулирующих рост трав и естественные процессы накопления органического вещества и его гумификации [2].

Высокая вариабельность наблюдается и по агрохимическим показателям. Обеспеченность почв фосфатами (P_2O_5) колеблется от очень низких значений, до высоких и очень высоких. Подвижным калием (K_2O) поверхностные горизонты почв обеспечены высоко и очень высоко, что является следствием внесения минеральных удобрений. Высокие и очень высокие значения обменного натрия (Na_2O) в поверхностных горизонтах почв, связаны с привносом в почвы реагентов содержащих соли натрия при облещенениях взлетно-посадочных полос, стоянок самолетов и рулежных дорог (РД). По гранулометрическому составу почвы аэропорта близки к окружающим. Плотность сложения гумусовых горизонтов на глубине 0-10 см, как правило, не превышает $1,05 \text{ г/см}^3$. С глубиной плотность сложения увеличивается. Травяная растительность в этих благоприятных условиях создает довольно плотную дернину, что и обуславливает повышенную плотность нижней части гумусового горизонта.

В техногенных поверхностных образованиях аэропорта, которые формируются по периферии взлетно-посадочных полос, стоянок самолетов, рулежных дорог наблюдается более высокий (нейтрально-щелочной) рН.

В этих условиях чаще производится посев и подсев трав, а также внесение минеральных удобрений. Пестрота по содержанию органического вещества обусловлена исходной неоднородностью органо-минеральных горизонтов при их создании и вследствие неравномерного внесения удобрений. На отдельных участках органо-минеральный горизонт имеет очень высокое содержание гумуса. В отличие от дерново-подзолистых почв для органо-минеральных горизонтов техногенных поверхностных образований характерны особенно высокие значения Ca^{2+} .

По гранулометрическому составу все техногенные поверхностные образования супесчаные с утяжелением вниз по профилю. По плотности поверхностного горизонта они преимущественно рыхлые (0,96-1,08 г/см³). Вниз по профилю в насыпном минеральном подповерхностном горизонте плотность резко возрастает до 1,40-1,45 г/см³ [2].

Особенности биотических компонентов ЭГС объекта

Особенности микробоценоза. За счет внесения удобрений и специальных обработок газона, микробоценоз на территории аэропорта крайне скуден и представлен типичными представителями подзолистых почв. За счет привноса удобрений в почву доминируют бациллы, способные использовать не только органический, но и минеральный азот (*Bac. Megaterium*, *Bac. mecentericus*, *Bac. subtilis*). По окраинам газонов, где слабо протекают минерализационные процессы преобладают спорообразующие бактерии, нуждающиеся в органическом азоте (*Bac. cereus*, *Bac. tuscoides* и другие). Среди дрожжей преобладают представители рода *Candida*, имеющие в цикле развития мицелиальную стадию. Отмечаются актиномицеты и азотфиксирующие бактерии (*Clostridium pasterianum*).

Однако следует отметить, что биомасса всех этих организмов снижена примерно в 2-3 раза по сравнению с фоновой.

Особенности фитоценоза. Основная особенность фитоценоза – это отсутствие любых представителей фитоценоза, кроме травянистых растений. Основные представители аэродромной травосмеси аэропорта Домодедово: райграс многолетний (20%), овсяница тростниковая (20%), мятлик луговой (15%), кострец безостый (20%), овсяница красная (25%)

Особенности зооценоза: Зооценоз территории аэропорта представлен в основном членистоногими: клещи, тли, пауки и перепончатокрылые. Следует отметить, что по состоянию на 2025 год на территории аэропорта проживает 5 ястребов.

В заключении отметим, что при изучении транспортно-коммуникационных ЭГС необходимо учитывать следующие:

- особенности конструктивных решений антропогенного блока ЭГС, из которых напрямую вытекают особенности состава и свойств абиотических компонентов ЭГС (литотопа, гидротопы, геохимических и геофизических полей и аномалий);

- особенности технолитотопа, к которым относятся: специфический состав самих грунтов (искусственный с определенными заданными свойствами), изменении напряженно-деформационного состояния массива, изменение уровня грунтовых вод, изменение температурного режима грунтов, водного баланса, наличие загрязненных грунтов, подземных вод и специфический парагенез экзогенных геологических процессов;

- особенности техноэдафотопы: маломощный почвенный покров урбаземов или полное его отсутствие;

- особенности техномикробоценоза: снижен и изменен видовой разнообразия и биомассы микробных сообществ, наличие форм устойчивых к специфическим удобрениям, противобледе-нительными жидкостями и другим загрязняющим веществам;

- технофитоценоз представлен исключительно специальными газонными травами и специально высаженными деревьями;

- зооценоз практически полностью отсутствует.

Литература

1. Белобров В.П., Замотаев И.В. Почвогрунты и зеленые газоны спортивных и технических сооружений. Москва: Геос, 2007. 178 с.
2. Голубев С.В. Загрязнение почв округа «Домодедово» тяжелыми металлами: автореферат дис. ... кандидата географических наук: 03.00.27. Москва: Идея Принт, 2007. 20 с.

6. РАЗВИТИЕ МЕТОДОВ ИССЛЕДОВАНИЙ И МОДЕЛИРОВАНИЕ В ГЕОЭКОЛОГИИ

ВЕРОЯТНОСТНЫЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ МОРФОЛОГИЧЕСКИХ СТРУКТУР УЧАСТКОВ С ПОЛИГОНАЛЬНО-ЖИЛЬНЫМИ ЛЬДАМИ НА ОСНОВЕ МЕТОДОВ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОРФОЛОГИИ И ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ

В.В. Бондарь, А.С. Викторов

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт Геоэкологии им. Е.М. Сергеева РАН, 01000, Российская Федерация, Москва, Уланский переулок, дом 13, строение 2, а/я 145
E-mail: valter_bond@mail.ru

Наиболее широко развитым явлением в пределах криолитозоны являются полигонально-жильные льды, образованные комплексными процессами морозобойного растрескивания и циклическими процессами льдообразования по трещинам. Полигонально-жильные льды в плане образуют обширные пространства с четкой полигональной решеткой, рисунок которой варьируется в зависимости от комплекса геоэкологических и физико-географических условий развития трещин.

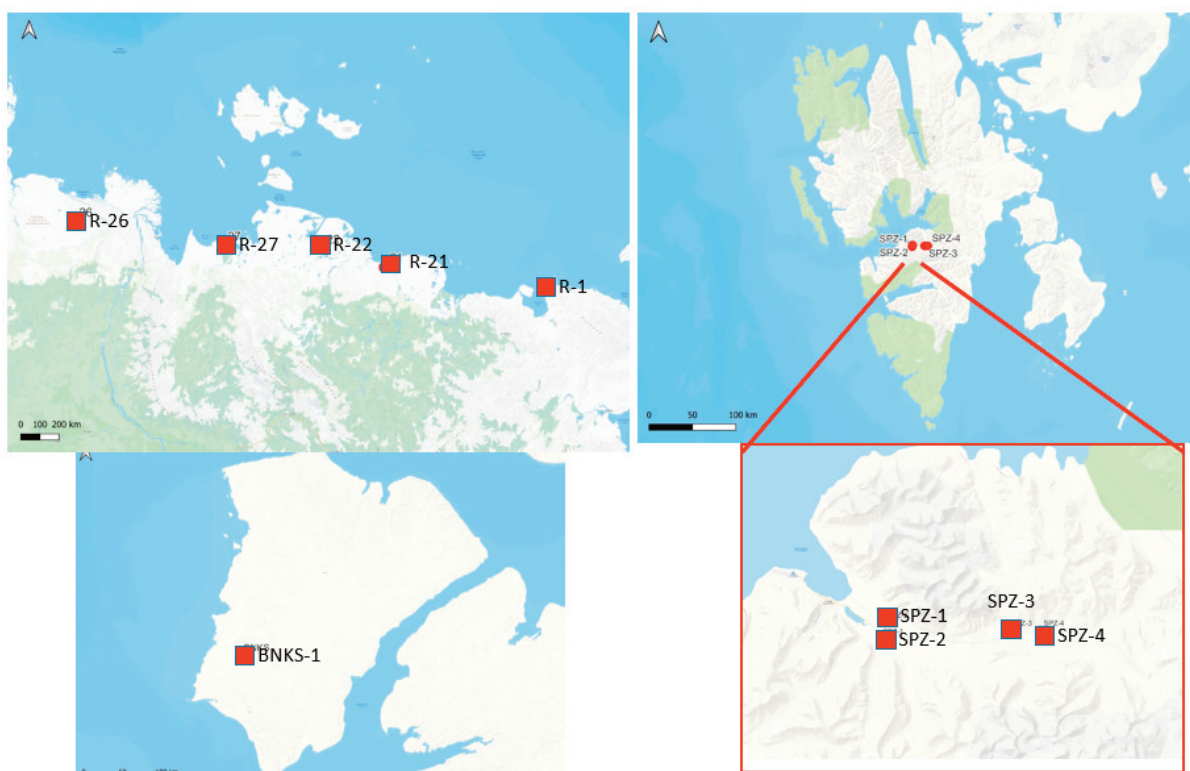


Рис. 1. Расположение участков исследования: R-21, R-22, R-1, R-26, R-27 – Российская Арктика, SPZ-1, SPZ-2, SPZ-3, SPZ-4 – о. Шпицберген, BNKS-1 – остров Банкс, Канада

Полигонально-жильные льды изучались многими авторами, особое внимание уделялось механизму формирования и развития трещин [1,2,4,5]. Ряд работ также посвящен и морфометрическому анализу и закономерностям сетей [3,6], однако, в целом, вероятностные закономерности строения сетей изучены недостаточно.

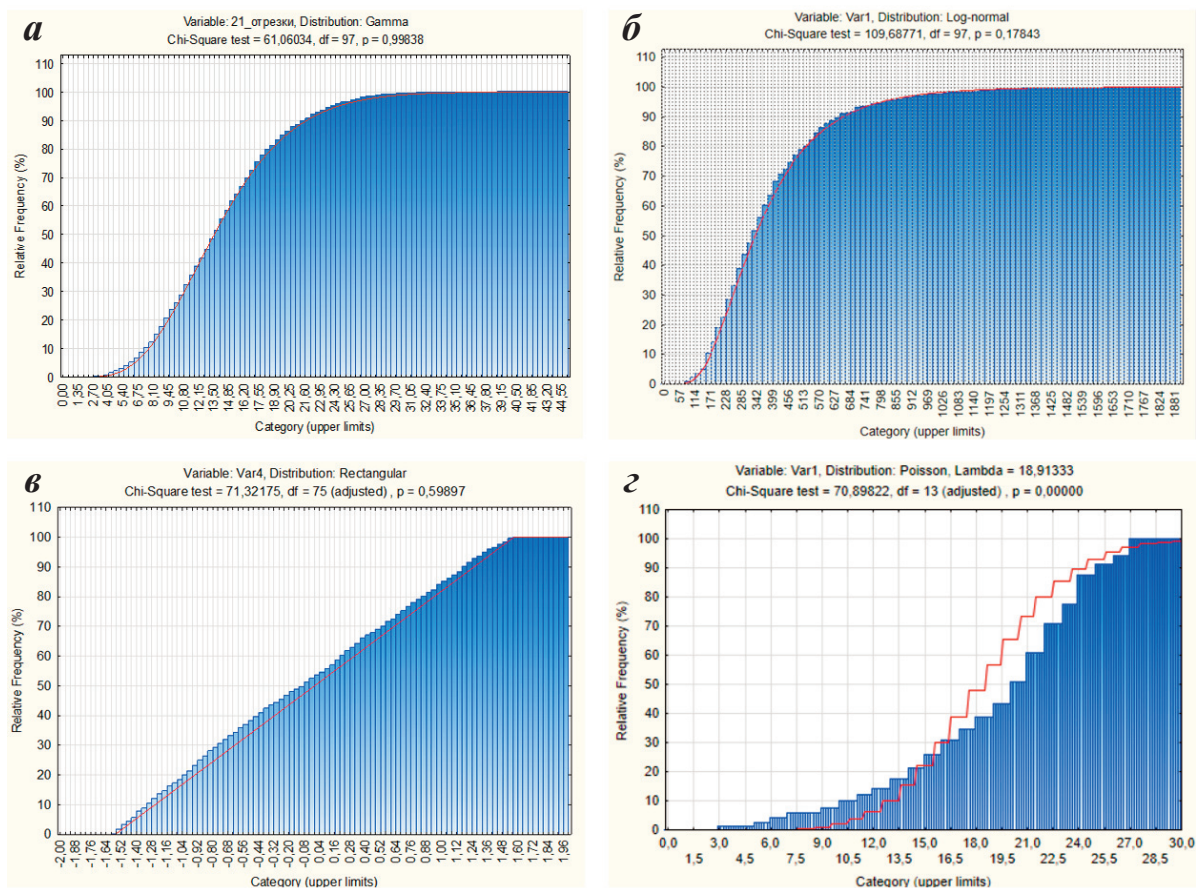


Рис. 2. Пример степени соответствия теоретических и эмпирических распределений для 21 участка: а) длины отрезков (гамма-распределение), б) площади полигонов (логнормальное распределение), в) углы отрезков (равномерное распределение), г) число центров полигонов на случайно выбранной площадке (распределение Пуассона); синий контур – эмпирическое распределение, красная линия – теоретическое распределение

Целью исследования являлось определение вероятностных закономерностей морфологических структур участков с развитием полигонально-жильных льдов.

Исследование посвящено закономерностям случайных сетей, в которых нет преобладающих направлений трещин. Было выбрано 10 ключевых участков, находящихся в разных физико-географических условиях, но имеющих морфологическую однородность (рис. 1). Участки представляют собой небольшие по площади (от 2 до 20 га) комплексы, расположенные в днищах хасыреев (аласов) и долинах рек.

По космическим снимкам высокого разрешения (WV-2, WV-3, 0,5 м/пикс) в программе QGIS на каждом участке были оцифрованы основные элементы сети: отрезки, узлы соединений, полигоны, посчитаны площади полигонов, длины и углы ориентировки отрезков. Затем полученные выборки в программе Statistica сопоставлялись с различными теоретическими функциями распределения для оценки согласия теоретического и эмпирического распределения по критерию Пирсона. Выборки сопоставлялись с равномерным, нормальным, логнормальным, экспоненциальным распределениями и гамма-распределением. Число центров полигонов и узлов сети на случайно выбранной площадке сопоставлялись с распределением Пуассона. В результате оцифровки элементов сети и подсчета параметров получены достаточно большие по объему выборки на каждый параметр (объем варьируется от 400 до 1478), что может говорить о высокой достоверности полученных результатов.

Полученные результаты показали существование вероятностных закономерностей морфологических структур участков с развитием полигонально-жильных льдов со случайным рисунком трещин.

Проверка эмпирических данных показала соответствие распределений длин отрезков границ полигонов гамма-распределению на подавляющем большинстве участков в разных физико-географических и геокриологических условиях при значительных объемах выборок;

Распределение площадей полигонов сети подчиняется логнормальному закону на всех ключевых участках, расположенных в разных физико-географических и геокриологических условиях, что

может быть объяснено схемой многократного последовательного деления полигонов на все более мелкие полигоны в независимом друг от друга соотношении;

Углы ориентировки отрезков сети на большинстве участков подчиняются равномерному распределению, что предварительно объясняется изотропными условиями развития сети на этих участках.

Анализ распределения числа узлов отрезков полигонов на случайно выбранных площадках показал статистически значимые отличия от пуассоновского распределения, что показывает, что возникновение узлов не может рассматриваться как случайное и независимое (рис. 2).

Хотя вид распределений оставался постоянным, значения параметров распределений варьировали от участка к участку в связи с изменениями состава отложений и геокриологических условий. Анализ выборок числа узлов сетки и центров полигонов на случайно выбранной площадке показал, что распределения статистически значимо отличаются от распределения Пуассона.

Полученные вероятностные закономерности морфологических структур участков с развитием полигонально-жильных льдов со случайным рисунком трещин в дальнейшем могут быть использованы для прогнозирования развития сетей морозобойного растрескивания и оценки опасности.

Литература

1. Достовалов Б.Н., Кудрявцев В.А. *Общее мерзлотоведение*. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1967. 416 с.
2. Романовский Н.Н. *Формирование полигонально-жильных структур*. Новосибирск: Наука. 1977. 212 с
3. Kessler M.A., & Werner, B.T. *Self-organization of sorted patterned ground*. *Science*, 2003. 299(5605), 380-383.
4. Lachenbruch A. *Mechanics of thermal-contraction cracks and ice-wedge polygons in permafrost*. *Geological Society of America, special paper 70*. 1962. P. 69.
5. Lachenbruch A. *Contraction theory of ice-wedge polygons; a qualitative discussion*. In: *Permafrost, International Conference Proceedings, National Research Council of Canada publication 1287*. // *National Academy of Sciences*. 1966. P. 63–71.
6. Lousada M.F. da S. *Ice-Wedge Polygonal Patterns: Morphometric Analysis and Environmental Control Factors (Adventdalen, Svalbard) [Doctoral dissertation, University of Lisbon, Instituto Superior Técnico]*. 2020

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗРАСТНОЙ ДИФФЕРЕНЦИАЦИИ ЛАНДШАФТОВ С РАЗВИТИЕМ СЛОЖНОГО КОМПЛЕКСА ЭКЗОГЕННЫХ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ НА ОСНОВЕ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

А.С. Викторов

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт геоэкологии им. Е.М. Сергеева Российской академии наук (ИГЭ РАН) 101000, Российская Федерация, Москва, Уланский переулок, дом 13, строение 2
E-mail: vic_as@mail.ru

На значительных территориях развиты ландшафты с развитием разнообразного комплекса экзогенных процессов, которые обуславливают сочетание противоречивых тенденций развития подобных территорий. Рассматриваемые ландшафты часто представляют собой сочетание природных комплексов разного возраста, своего рода «лоскутное одеяло», составленное из участков, развитие которых стартовало в разное время. Примерами подобных территорий являются эрозионно-термокарстовые равнины с процессами постоянной генерации хасыреев, ландшафт абразионно-денудационных морских берегов, основным элементом морфологической структуры которого являются разновозрастные постоянно образующиеся циркообразные формы, пойменные равнины с комплексами грив и межгривных понижений, образующиеся при искривлении и спрямлении излучин.

Целью работ явилось выявление закономерностей возрастной дифференциации для территорий со сложным комплексом экзогенных процессов на основе анализа математических моделей. Возможности подобного изучения можно показать на примере эрозионно-термокарстовых равнин и абразионно-денудационных морских берегов.

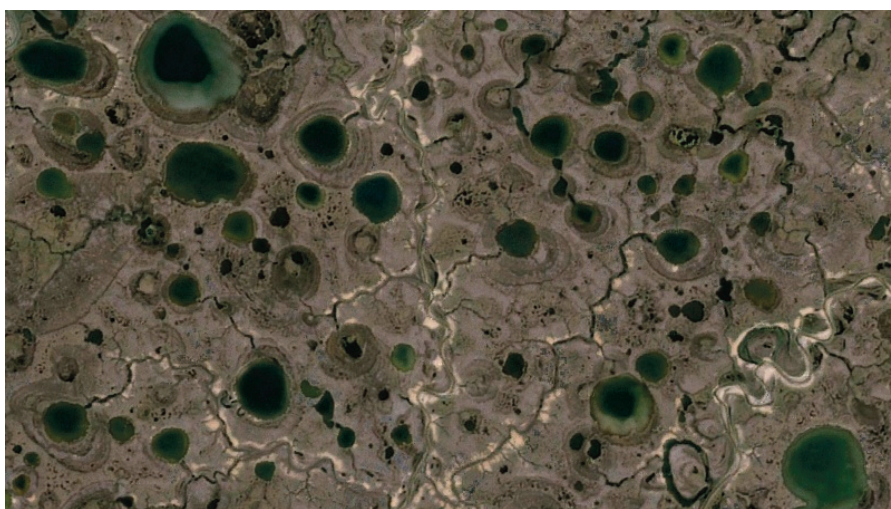


Рис. 1. Типичное изображение эрозионно-термокарстовой равнины на космическом снимке

Эрозионно-термокарстовые равнины представляют собой волнистые или слабохолмистые поверхности с тундровой или лесотундровой растительностью с вкраплением термокарстовых озер и хасыреев и развитием эрозионных форм; озера и хасыреи имеют, как правило, округлые очертания и в беспорядке расположены в пределах равнин (рис. 1).

Развитие эрозионно-термокарстовых равнин происходит под воздействием комплекса разнонаправленных процессов:

- Возникновение первичных термокарстовых понижений с водой (очаг термокарстового процесса) и последующий рост понижений под действием термоабразионных процессов.
- Спуск озер эрозионными процессами с остановкой их роста с появлением хасыреев за счет спуска озер.
- Таким образом, для территории характерно сложное взаимодействие двух противоречивых тенденций, характеризующееся следующими элементами:

- Постоянная генерация новых очагов термокарстовых процессов и их рост.
- Постоянное уменьшение числа и площади термокарстовых очагов при спуске озер термоэрозией.

Дополнительную сложность придает то, что новые термокарстовые понижения не возникают в пределах площади существующих озер, поэтому, чем больше заозеренность, тем меньше в этот момент генерируется новых первичных термокарстовых понижений.

Анализ возрастной дифференциации территории может быть выполнен на основе математической модели морфологической структуры, базирующихся на следующих допущениях:

- Возникновения первичных термокарстовых понижений за непересекающиеся отрезки времени и на непересекающихся площадках являются независимыми случайными событиями; вероятность возникновения понижения зависит только от величины отрезка и площадки.

- Возникновение первичных термокарстовых понижений не происходит на площади существующих термокарстовых озер.

- Радиус возникшего термокарстового понижения как функция времени представляет собой случайный процесс; изменение радиуса происходит независимо от других озер, и его скорость пропорциональна плотности тепловых потерь через боковую поверхность озерной котловины.

- В процессе роста озеро может перейти в хасырею при его спуске эрозионной сетью, вероятность этого не зависит от других озер; при этом рост озера прекращается.

- Возникновения истоков эрозионных форм на непересекающихся площадках являются независимыми случайными событиями; вероятность наличия истока на пробной площадке зависит только от ее величины.

Данная модель прошла эмпирическую проверку. В частности, были проверены аналитические выводы о соответствии распределения озер и хасыреев пуассоновскому распределению, соответствию распределения площадей хасыреев экспоненциальному распределению, а площадей озер – интегрально-экспоненциальному распределению.

Проведенный математический анализ модели позволяет показать, что в большом времени развития морфологическая структура ландшафта оказывается в состоянии динамического равновесия. В силу этого, в частности, стабилизируются следующие характеристики:

- средняя плотность генерации новых озер и хасыреев,
- средняя площадь хасырея,
- заозеренность.

Возраст выбранного участка малых размеров определяется интервалом времени до момента формирования последнего по времени хасырея, которому принадлежит рассматриваемый участок. Используя это, математический анализ модели позволяет показать, что распределение возраста подчиняется экспоненциальному распределению

$$F_{\tau}(x) = 1 - e^{-\lambda(1-P_l)s_h x},$$

где λ – плотность генерации озер на свободной поверхности, S_h – средняя площадь хасырея, P_l – заозеренность. Иначе говоря, соотношение площадей, занятых участками различного возраста, подчиняется приведенному выражению.

Полученный результат имеет практическое значение. С возрастом участка связана вероятность низких температур, а значит – в силу известных в геокриологии зависимостей – и плотность расположения морозобойных трещин.

Другим примером изучения закономерностей возрастной дифференциации для территорий со сложным комплексом экзогенных процессов может быть ландшафт абразионно-термоденудационных берегов с развитием циркообразных форм.

Ландшафт абразионных берегов с развитием циркообразных форм представляет собой сочетание циркообразных форм, включающих в себя оползневые тела разного возраста, поверхности с развитием интенсивных термоабразионных эрозионных и обвально-осыпных и термоденудационных процессов (рис. 2).

Характерной особенностью циркообразных форм является четкая дугообразная граница с прилегающей водораздельной поверхностью, хорошо дешифрируемая на материалах космических съемок, возникновение такой границы связано с тем, что формирование циркообразной формы начинается, как правило, с развития оползневого процесса.



Рис. 2. Типичное изображение ландшафта абразионно-термодеградационного берега на космическом снимке

В ландшафте сочетаются две противоположные тенденции:

Возникновение новых циркообразных форм.

Стирание частичное или полное существующих циркообразных форм за счет образования более молодых.

В этом случае береговой склон представляет собой систему циркообразных форм, часть из которых является новой, не затронутой последующими стираниями, а другая часть является остаточными, сохранившимися после одно-, двух-, трех- и т.д. кратных частичных стираний существующих циркообразных форм новыми. Таким образом, в целом на снимке исследователь наблюдает в случайный момент времени (съемка) систему разновозрастных образований, находящуюся в постоянном изменении.

Анализ возрастной дифференциации территории может быть выполнен на основе математической модели морфологической структуры прямолинейного берегового склона с однородными физико-географическими, геологическими и геокриологическими условиями, базирующейся на следующих допущениях:

- вероятность появления новых циркообразных форм за некоторый временной интервал на отрезке береговой линии определяется только величинами временного интервала и отрезка,
- размеры (длина хорды дуги) возникающих циркообразных форм не зависят от места ее появления на участке и имеют постоянное вероятностное распределение $F_0(x)$, не зависящее от времени.

Таким образом, подразумевается относительно малые изменения климатических условий.

Комплекс математического моделирования и космических методов позволил показать, что в разных физико-географических и геокриологических условиях при значительном времени развития на однородных участках формируется устойчивое стационарное распределение размеров циркообразных форм абразионных берегов

Данная модель прошла эмпирическую проверку. В частности, по материалам повторной космической съемки был проверен полученный аналитический вывод о том, что средний размер циркообразной формы должен уменьшаться со временем или стабилизироваться.

Возраст выбранного участка малых размеров определяется интервалом времени до момента формирования последней по времени циркообразной формы, которой принадлежит рассматриваемый участок. Созданная модель позволяет аналитическим путем решить задачу о распределении возраста участка берега, оно описывается выражением

$$F_{\mu}(x) = 1 - e^{-\lambda hx},$$

где λ – средняя плотность генерации циркообразных форм на береговой линии, h – средний размер циркообразных форм. Таким образом, соотношение длин береговой линии, занятых участками различного возраста, подчиняется приведенному соотношению. Интересно, что с течением времени распределение не меняется и привязано к настоящему моменту.

Полученный результат имеет определенное практическое значение при оценке изменения береговой линии, так как вполне вероятно, что с возрастом связаны процессы деградации мерзлоты в пределах циркообразной формы.

О НОВОМ ПОДХОДЕ К ОЦЕНКЕ И КАРТОГРАФИРОВАНИЮ ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ УРБАНИЗИРОВАННЫХ ТЕРРИТОРИЙ

П.А. Галкин¹, В.С. Хомич², И.А. Красовская³

¹Витебский государственный медицинский университет,
210009, Беларусь, г. Витебск, пр-т Фрунзе, 27
E-mail: galkin-pasha @yandex.by

²Институт природопользования НАН Беларуси, 220076, Беларусь, г. Минск,
ул. Ф. Скорины, 10
E-mail: valery_khomich@mail.ru

³Витебский государственный университет имени П.М. Машерова,
210038, Беларусь, г. Витебск, Московский пр-т, 33
E-mail: iakrasovskaya@yandex.ru

Городская среда, будучи адаптированной для жизни людей, неизбежно влечет за собой изменения в природной обстановке и окружающей среде, которые могут негативно сказаться на качестве жизни населения. Поэтому своевременное определение степени благоприятности измененной человеком среды, или ее геоэкологическая оценка, является крайне важной задачей. Эта оценка, включающая анализ качества компонентов среды и техногенных изменений, позволяет выявить и оценить остроту и масштабы *геоэкологических ситуаций – территориальных (пространственно-временных) сочетаний взаимосвязанных природных и социально-экономических условий и факторов, создающих на территории определенную геоэкологическую обстановку, характеризующуюся разной степенью благополучия для здоровья и жизнедеятельности человека* [6]. Исходя из этого, исследования в данной области должны быть ориентированы на оценку *геоэкологических условий города – совокупности характеристик и свойств природных компонентов городской среды, оказывающей влияние на здоровье человека, функционирование хозяйственных систем, состояние биоценозов и их устойчивость к техногенным воздействиям* [3].

Существует множество методик, часто использующих интегральную оценку, которая включает анализ текущего состояния и прогнозирование изменений, вызванных деятельностью человека. Однако создание точной модели, учитывающей все природные и техногенные взаимосвязи, крайне сложно из-за обилия показателей и неопределенности их связей. Для упрощения задачи переходят к геоэкологическим моделям, которые представляют собой упрощенный набор ключевых факторов, влияющих на среду. Геоэкологическое районирование помогает оценить общую картину этих воздействий. Несмотря на существующие методики районирования и карты, практическая реализация этих оценок сталкивается с проблемами. Распространенный информационный подход, сводящийся к набору карт, не позволяет полностью учесть авторские интерпретации и недостаточно количественно описывает факторы. Геоинформационные системы, несмотря на свои возможности, нуждаются в адаптации к специфическим геоэкологическим задачам [2].

Актуальность существующих проблем в области геоэкологии, обилие информации и высокий уровень развития современных геоинформационных систем (ГИС) требуют разработки единого методического подхода для формирования комплексной модели геоэкологического состояния территорий. Это также включает создание новых технологических инструментов, обеспечивающих автоматизированное построение моделей и компьютерный анализ факторов, входящих в них, с использованием алгоритмов многокритериального районирования [1, 2]. В связи с этим *целью* исследования стала разработка методики для создания карты геоэкологических условий урбанизированных территорий, которая бы основывалась на оценке геоэкологической ситуации в городе, комфортности среды проживания населения и геоэкологическом потенциале геосистем.

На основе применения геоэкологического подхода, рассматривающего город как природно-техническую систему (ПТС), в которой изучаются все ее структурные элементы и связи между ними, нами разработан алгоритм для оценки и картографирования геоэкологических условий урбанизированных территорий.

Этот алгоритм предусматривает выполнение трех блоков работ: 1) выделение операционных единиц анализа и создание критериев для оценки состояния ПТС на локальном уровне; 2) оценка техногенных воздействий и состояния природных компонентов городской среды с разработкой цифровых картографических моделей, отражающих природные и функциональные особенности городской среды, а также характер техногенных воздействий и состояние компонентов в рамках локальных ПТС города; 3) комплексная оценка геоэкологического состояния городской среды, включающая разработку картографических моделей, отражающих геоэкологическую обстановку в городе, комфортность среды проживания населения, геоэкологический потенциал территории и, как конечный результат исследования, карты геоэкологических условий.

Если для построения карт во втором блоке работ, как правило, используются сложившиеся неоднократно апробированные методики, то для создания геоэкологических картографических моделей нами предложен новый подход, базирующийся на геосистемном принципе, моделировании и количественных оценках.

Картографическая модель *геоэкологической обстановки* строится на основе сопоставления результатов базовых оценок состояния природных компонентов городской среды по каждой выделенной локальной ПТС с привлечением комплексного показателя геоэкологической ситуации: $P_{ГС} = 1/K_1 + 1/K_2 + 1/K_3 + 1/K_4 + 1/K_5 + 1/K_6 + 1/K_7$, где $P_{ГС}$ – комплексный показатель геоэкологической ситуации; K – численное значение критерия состояния одного из компонентов ПТС равное 1 – норма (Н), 2 – риск (Р), 3 – кризис (К), 4 – бедствие (Б). *Индексы*: 1 – уровень звука, 2 – тепловые аномалии; природных компонентов по показателям химического загрязнения: 3 – атмосферного воздуха, 4 – почвенного покрова, 5 – подземных вод, 6 – древесных насаждений; 7 – пораженность территории ЭГП. При этом нами принята следующая шкала оценки качественного состояния геоэкологической обстановки на территории города по значению комплексного показателя $P_{ГС}$: 5,51–7,00 – норма (Н), 3,80–5,50 – риск (Р), 2,31–3,79 – кризис (К), 1,75–2,30 – бедствие (Б).

Данный комплексный показатель представляет собой математическую модель, основанную на нечеткой логике. К созданию таких моделей прибегают тогда, когда математическое описание предмета исследования слишком сложное или неизвестно [1]. Качество выходных показателей этих моделей зависит лишь от эксперта, который создает модель. Легенда карты геоэкологической обстановки представляется в виде матрицы. Ее заполнение по всем локальным ПТС итоговыми оценками геоэкологической ситуации, позволяет установить определенные закономерности ее территориальной дифференциации.

Оценка геоэкологической обстановки урбанизированной территории актуализирует вопрос о *геоэкологической комфортности среды проживания населения – оптимальном состоянии окружающей его среды, обеспечивающем здоровье и работоспособность*. Использование категории нечеткости позволяет оценить качество среды проживания населения города. В качестве основного инструмента предлагается функция желательности Харрингтона-Менчера, адаптированная нами для работы с системой показателей, всесторонне описывающих геоэкологическую ситуацию. Эта функция позволяет моделировать поведение отдельных подсистем в рамках общей системы, а также учитывать взаимосвязи и их воздействие при оценке качества объекта. Основой для построения функции является преобразование натуральных значений частных параметров, имеющих различную физическую природу и размерность, в единую безразмерную шкалу желательности [1]. Итоговый комплексный показатель качества городской среды, рассчитанный на основе обобщенной функции желательности, определяется как среднее геометрическое частных показателей, отражающих состояние различных факторов, влияющих на качество городской среды, согласно формуле [5]:

$$K_{ПКС} = \sqrt[n]{\prod_{i=1}^n d_i},$$

где d_i ($i=1-7$) – частный показатель качества состояния компонента среды или фактора ПТС (их *индексы* см. в предыдущей формуле); n – число используемых показателей. Следует заметить, что для частных показателей вполне можно применить одну из категорий нечеткости – нечеткость непосредственных данных, когда любой из этих показателей будет равен $1/K_i$, где K – численное значение критерия состояния одного из компонентов ПТС.

Геоэкологические условия любой геосистемы зависят не только от изменений состояния и свойств ее компонентов, но и от устойчивости, которая в совокупности со степенью нарушенности

геосистемы позволяет оценить *геоэкологический потенциал урбанизированной территории, под которым нами понимается запас потенциальной устойчивости геосистемы в условиях конкретных техногенных нагрузок.*

Количественная оценка параметров устойчивости и степени измененности природной подсистемы ПТС города выполняется через *коэффициент состояния ПТС* ($K_{\text{ПТС}}$): $K_{\text{ПТС}} = U/H$, где U – потенциальная устойчивость природной подсистемы ПТС к техногенному воздействию; H – степень измененности данной подсистемы.

При $K_{\text{ПТС}} = 1$ природная подсистема ПТС города будет находиться в состоянии динамического равновесия, когда техногенная нагрузка на ее компоненты компенсируется естественной способностью к саморегуляции при условии отсутствия увеличения нагрузки. Дальнейшая разбивка природной подсистемы ПТС относительно описанной группы, производится с использованием *коэффициента геоэкологического потенциала* ($K_{\text{ГП}}$), *под которым понимается количественная характеристика резерва потенциальной устойчивости природной подсистемы ПТС в условиях существующих нагрузок* [4]. Он представляет собой разность коэффициентов состояния анализируемой природной подсистемы и подсистемы с $K_{\text{ПТС}} = 1$: $K_{\text{ГП}} = K_{\text{ПТС}} - 1$, где $K_{\text{ГП}}$ – коэффициент геоэкологического потенциала; $K_{\text{ПТС}}$ – коэффициент состояния природной подсистемы ПТС города. Такая операция позволяет провести группировку изучаемой подсистемы по признаку комплекса деструктивных процессов, протекающих в них, которые дают возможность определять геоэкологические ограничения в пределах природной подсистемы рассматриваемой ПТС: $-0,5 < K_{\text{ГП}} < 0$; $K_{\text{ГП}} = 0$; $0 < K_{\text{ГП}} \leq 1,0$. Отрицательные значения $K_{\text{ГП}}$ указывают на развитие деструктивных процессов в природной подсистеме ПТС города, способных привести к негативным изменениям ее компонентов, положительные – на отсутствие или слабые проявления деструктивных процессов, не нарушающих потенциал устойчивости природной подсистемы данной ПТС.

На заключительном этапе исследований путем совмещения картографических моделей, содержащих информацию о геоэкологической обстановке, комфортности среды и геоэкологическом потенциале территории города, проводятся оценка и картографирование его геоэкологических условий. В результате создается итоговая картографическая модель, отражающая степень благоприятности геоэкологических условий с выделением следующих их классов: *неблагоприятные, относительно неблагоприятные, относительно благоприятные, благоприятные и весьма благоприятные.*

В основу выделения этих уровней положено ранжирование состояний ПТС по репрезентативным показателям с обязательным использованием и взаимным учетом тематических, пространственных и динамических критериев их оценки, а также *геоэкологическими ограничениями, под которыми нами понимаются группы природно-техногенных факторов, выводящие ПТС из устойчивого (стабильного) состояния вследствие качественно-количественных изменений свойств их литогенной основы, геофизических параметров среды, химического состава депонирующих компонентов и т.д., т.е. являющиеся ограничениями для проживания населения и хозяйственного освоения урбанизированной территории.*

Геоэкологические ограничения в пределах локальных ПТС устанавливаются на основании анализа информации о природных условиях, характере техногенных воздействий и состоянии компонентов городской среды.

На базе предложенного методического подхода и алгоритма с использованием свободно распространяемого программного обеспечения QGIS 3.12 нами разработана компьютерная технология создания интегральной картографической модели геоэкологических условий территории г. Витебск, обеспечивающая визуализацию знаний о геоэкологической обстановке, включая пространственные данные о природных условиях, техногенных нагрузках и состоянии городской среды. Анализ созданной модели позволил установить, что в пределах Витебска более 60% его площади приходится на локальные ПТС с относительно благоприятными (25,7%), благоприятными (25,6) и весьма благоприятными (9,5%) геоэкологическими условиями; относительно неблагоприятные условия выявлены на 39,5% площади города.

Литература

1. Галкин П.А. Оценка и картографирование геоэкологических условий на территории крупного города (на примере Витебска) // Природопользование. 2023. № 1. С. 93–112.

2. Любимова А.В. Компьютерная технология комплексной оценки геоэкологического состояния территории // *Геоинформатика*. 2003. № 2. С. 44–47.
3. Парначев В.С. Краткий словарь геоэкологических терминов и понятий: учеб. пособие. Томск: Изд-во ФГУ «Томский ЦНТИ», 2006. 61 с.
4. Рубан Н.В. Принципы оценки экологического потенциала ландшафтов для целей геоэкологического районирования // *Известия УГГУ*. 2004. Вып. 19. С. 188–192.
5. Сокольская Е.В., Кочуров Б.И., Долгов Ю.А., Лобковский В.А. Многофакторная модель как основа для управления качеством окружающей среды урбанизированных территорий // *Теоретическая и прикладная экология*. 2018. № 2. С. 26–34.
6. Троценко М.А., Рябинина Н.О. Напряженные геоэкологические ситуации на территории Волгоградской области и критерии оценки степени их остроты // *Известия Самарского научного центра Российской академии наук*. 2014. Т. 16, № 1 (3). С. 677–682.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ АЛГОРИТМОВ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ ДЛЯ СТРАТИФИКАЦИИ ТЕХНОГЕННОГО ОСАДКА

Е.В. Дробинина, П.А. Белкин

Научно-исследовательская лаборатория инженерно-экологических исследований геологического факультета
ПГНИУ, 614068, г. Пермь, ул. Букирева, 15
E-mail: alenadrobina@yandex.ru

Введение

Накопление промышленных отходов всегда создает значительные экологические риски, основная сложность в оценке которых заключается в высокой пространственной неоднородности свойств отходов (состав, плотность), связанной с технологическими и природными факторами их накопления. Выбор правильной стратегии рекультивации требует достоверной оценки состояния техногенного объекта, причем ключевой практической задачей становится не только оценка техногенного объекта как целого, но и стратификация толщи отходов с выделением зон с различными свойствами и уровнями токсичности.

Использование современных вычислительных методов позволяет перейти от экспертной, преимущественно ручной стратификации техногенного осадка, к выделению слоёв в автоматизированном режиме на основе их химического состава. Цель данного исследования – разработка подхода к стратификации техногенного осадка на основе алгоритмов машинного обучения. Ожидаемые преимущества такого подхода – это повышение точности стратификации посредством учёта химического состава, выявление скрытых взаимосвязей в составе, а также значительное ускорение анализа толщи осадка.

Объект исследования

Объект исследования – заброшенный техногенный пруд, расположенный в промышленной зоне г. Березники (Пермский край, Россия), содержащий в себе осадок промышленных сточных вод мощностью до 5 м. Накопленный осадок характеризуется выраженной слоистостью и неоднородностью состава, что является следствием техногенных и природных изменений в процессе его накопления на протяжении всего периода существования объекта [3]. Для всех стратифицированных слоёв установлены общие черты: сильнощелочная среда ($\text{pH} > 10$) и экстремально высокое содержание хлоридов (до 230 г/кг в водной вытяжке).

Методика работы и первые результаты

В настоящее время стратификация осадочных толщ, преимущественно, опирается на традиционные методы: визуальное описание керна, данные геофизических исследований скважин (ГИС) и ручное выделение слоёв по ключевым свойствам пород. Использование цифровых методов способно значительно повысить качество стратификации и её скорость. Перспективным направлением является применение машинного обучения. Ярким примером служит работа специалистов МГТУ им. Н.Э. Баумана и АО «МОСТДОРГЕОТРЕСТ» [4]. Авторы предложили подход, при котором для стратификации дисперсных грунтов на инженерно-геологические элементы (ИГЭ) использовались алгоритмы кластеризации. Входными данными послужили ключевые физико-механические свойства, выявленные методом главных компонент (РСА), а также глубина отбора проб и коэффициент бокового давления по выборке из 90 образцов. Для последующей визуализации полученного инженерно-геологического разреза был применён метод индикаторного кригинга.

В настоящей работе представлен автоматизированный подход к разделению донного осадка на слои в зависимости от его химического состава. Исходными данными послужили результаты опре-

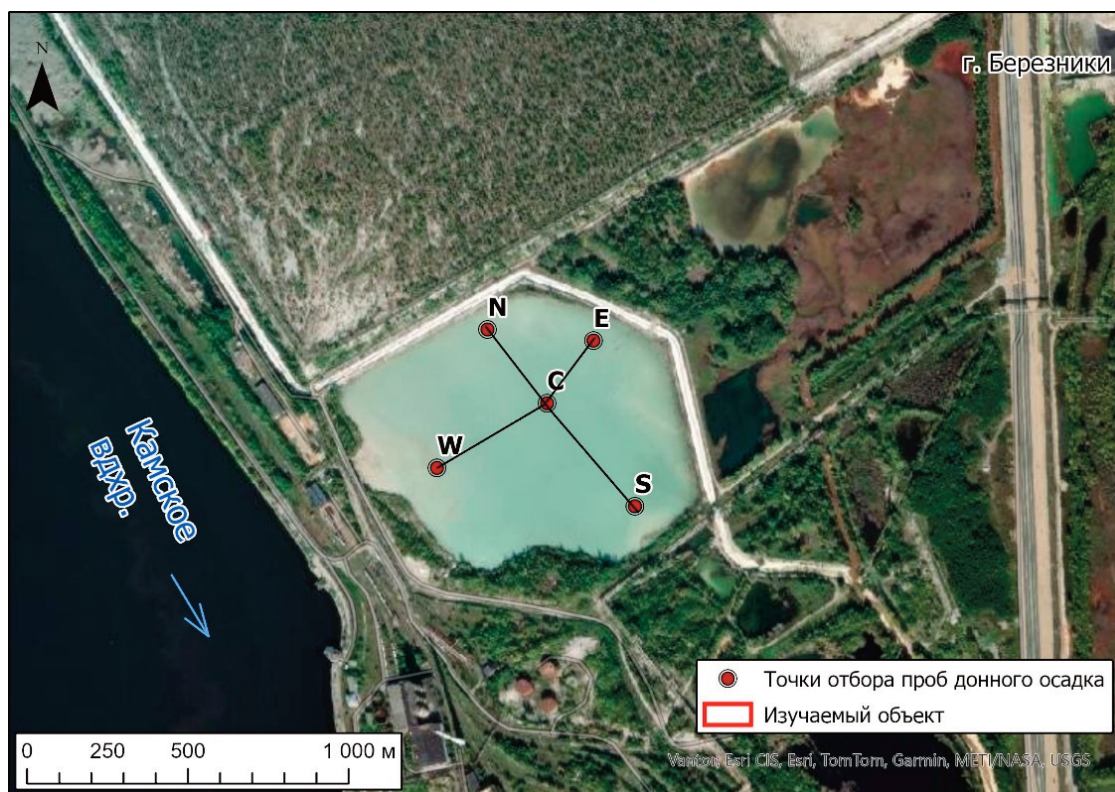


Рис 1. Карта фактического материала

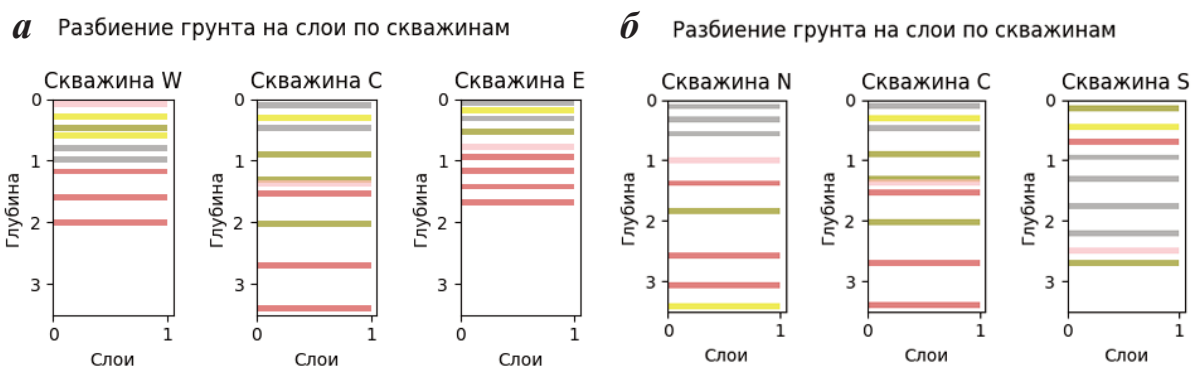


Рис. 2. Разбиение грунта на слои по скважинам: а) по линии W—C—E, б) по линии N—C—S

деления химического состава техногенного осадка методом рентгенофлуоресцентного анализа, приведенные в работе [3]. Этот перечень включает в себя определения основного оксидного состава твёрдой фазы осадка (CaO , Fe_2O_3 , SO_3 , MgO , SiO_2 , Na_2O , Al_2O_3 , K_2O , MnO , TiO_2 , P_2O_5), хлора (Cl) и потерь при прокаливании (ППП), также 24 микроэлементов (Sc, V, Cr, Co, Ni, Cu, Zn, Ga, As, Rb, Sr, Y, Zr, Nb, Sn, Sb, Cs, Ba, La, Ce, Pb, Th, U, Mo), представленных в табличном виде. Метод реализован на примере разрезов по линии точек отбора проб «N»—«C»—«S» и «W»—«C»—«E» (рис. 1).

Выделение слоёв (стратификация) в каждой скважине выполнено с использованием алгоритма кластеризации *k-means*. Оптимальное количество кластеров, соответствующее числу выделяемых слоёв, определено с помощью «метода локтя» и составило 5. Каждому из пяти выделенных слоёв присвоен уникальный цвет для визуализации (рис. 2).

Качество полученной кластеризации оценено с помощью коэффициента силуэта (Cluster Silhouette Index), значение которого составило 0,20-0,23 для заданного набора параметров. Данное значение указывает на удовлетворительное, но неидеальное разделение. Одним из способов повышения метрики качества является предварительная обработка данных, например, сокращение размерности признакового пространства с помощью метода главных компонент (PCA), что позволит снизить шум и мультиколлинеарность в исходных данных.

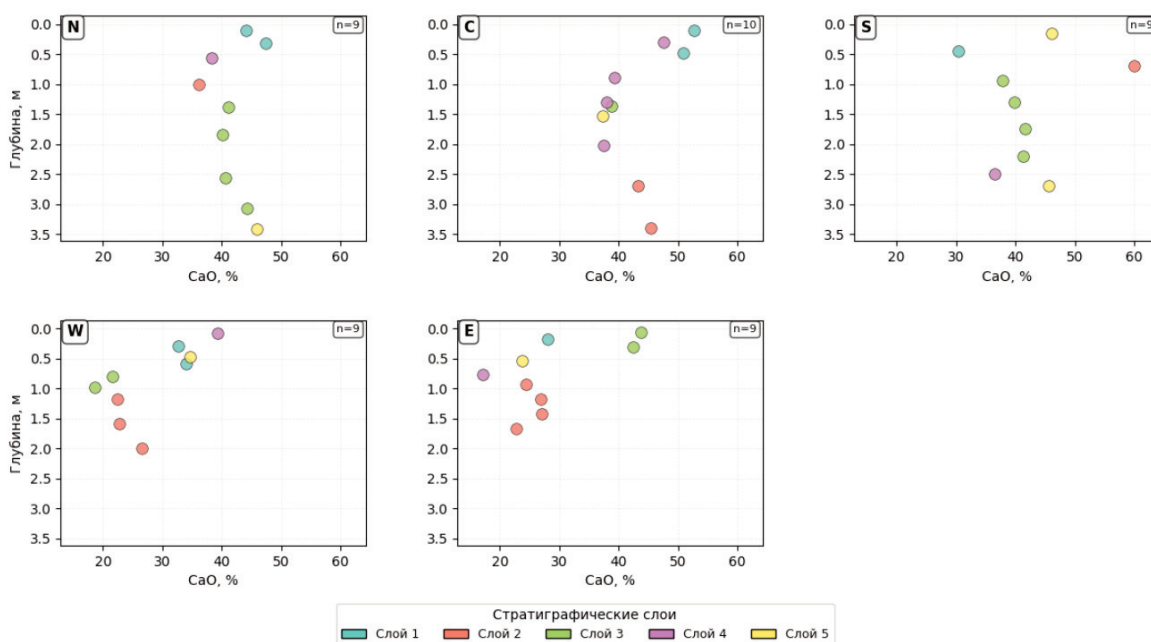


Рис. 3. Распределение содержания CaO, % в пределах выделенных слоёв осадка

Анализ распределения компонентов по выделенным слоям

Построение стратифицированной модели на основе кластеризации позволяет также проанализировать вертикальное распределение отдельных химических компонентов в разрезе. На рис. 3 в качестве примера представлено изменение содержания основного компонента осадков – оксида кальция (CaO, %) – по выделенным пяти слоям для каждой скважины. Визуализация, основанная на том же исходном наборе данных, что и кластеризация, может служить инструментом валидации автоматизированного разделения, демонстрируя его согласованность с изменением содержания ключевых химических компонентов в осадке. Распределение процентного содержания CaO по слоям демонстрирует закономерность, соответствующую установленной истории формирования осадка [2,3]: преимущественное накопление оксида кальция в последние этапы формирования осадка. Это подтверждает не только техническую корректность предлагаемого метода, но и его геохимическую интерпретируемость.

Далее авторами проведена визуализация результатов автоматизированной стратификации. На основе кластеризации показано положение выделенных слоёв в разрезе по линиям «N»-«C»-«S», и «W»-«C»-«E». Для выбора оптимального способа визуализации были применены и сравнены различные методы пространственной интерполяции (рис. 4):

- Nearest (ближайший сосед): категориальный метод, наиболее точно следующий результатам кластеризации в точках опробования.
- Linear (линейная): простая линейная интерполяция.
- Cubic (кубическая): сглаженная интерполяция, обеспечивающая наиболее визуально привлекательное представление разреза, наилучшим образом отражающее общую геохимическую картину.
- RBF Inverse (радиальные базисные функции, обратная): метод, основанный на радиальных функциях.

Всем построенным разрезам присуща некая общая характеристика: относительно однородная нижняя часть толщи и неоднородная («пёстрая») верхняя часть. Эта модель хорошо согласуется с частой сменой режимов осадконакопления в завершающий период эксплуатации пруда-отстойника [3].

Сопоставляя результаты визуализации (рис. 4) с результатами кластеризации по скважинам (рис. 2), можно сделать вывод о наличии обособленных участков в средней части разреза, которые, к тому же, характеризуется относительно повышенной степенью загрязнения тяжелыми металлами [1].

Обсуждение

Полученные результаты демонстрируют принципиальную применимость подхода на основе машинного обучения для стратификации техногенного осадка и визуализации расположения выде-

Сравнение методов интерполяции геологического разреза

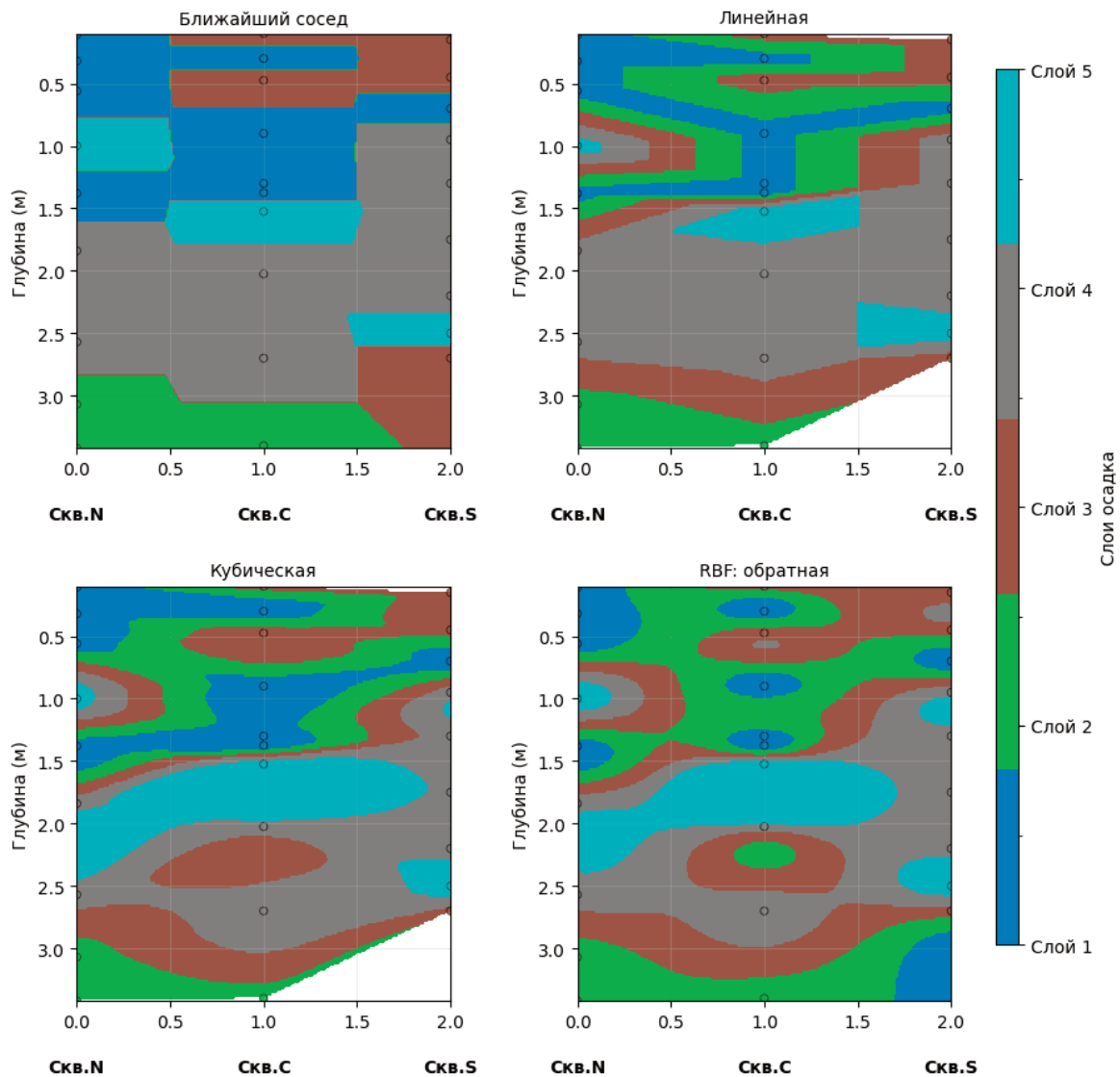


Рис. 4. Визуализация разреза по линии «N»–«C»–«S» различными методами интерполяции [1]

ленных слоёв. Однако для повышения точности и интерпретируемости модели требуется дальнейшее развитие методики. Ключевым направлением её доработки является переход от использования полного набора химических показателей к выделению ключевых параметров-маркеров, наиболее информативных для разделения слоёв и оценки экологического риска.

Выводы

Авторами предложен автоматизированный метод стратификации осадков на основе кластеризации *k-means* с использованием данных о химическом составе. Качество кластеризации, оценённое с помощью коэффициента силуэта, является удовлетворительным для исходного набора данных. Метод требует улучшения за счёт выбора ключевых химических компонентов.

Распределение одного из индикаторных элементов (например, CaO) по выделенным слоям коррелируется с историей развития техногенного объекта, что подтверждает не только техническую, но и геохимическую обоснованность разработанной модели.

Пространственная визуализация результатов с применением различных методов интерполяции выявила общую стратиграфическую модель: относительно однородную нижнюю часть и неоднородную верхнюю, что также хорошо увязывается с историей формирования изучаемого осадка.

Проведенное исследование позволило разработать и апробировать подход к оценке техногенных осадков, основанный на интеграции геохимических данных и алгоритмов машинного обучения. Предложенный подход демонстрирует значительный потенциал для цифровизации экологического мониторинга и перехода к экономически эффективной стратегии рекультивации объектов накопленного экологического вреда.

Исследование выполнено при поддержке гранта Российского научного фонда № 24-77-10062, <https://rscf.ru/project/24-77-10062/>.

Литература

1. Белкин П.А., Дробинина Е.В., Храмова С.И. Оценка загрязненности осадков в заброшенном шламохранилище и их стратификация с использованием алгоритмов машинного обучения // *Вестник Пермского университета. Геология*. 2025. Том 24(4). С.376-384. DOI:10.17072/psu.geol.24.4.376
2. Дробинина Е.В., Белкин П.А., Ваганов С.С., Перевошиков Р.Д. Особенности дистанционного изучения территорий длительного складирования промышленных отходов // *Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса*. 2025. Т. 22. № 4. С. 276-287. DOI: 10.21046/2070-7401-2025-22-4-276-287.
3. Belkin P., Blinov S., Drobinina E., Menshikova E., Vaganov S., Perevoshchikov R., Tomilina E. *Factors of Bottom Sediment Variability in an Abandoned Alkaline Waste Settling Pond: Mineralogical and Geochemical Evidence* // *Minerals*. 2025. No. 15. 662 p. DOI: 10.3390/min15060662
4. Tishin N., Proletarsky A., Ozmidov O. *Autoencoders and Multidimensional Clustering Algorithms in the Identification of Engineering-Geological Elements* // *2025 International Russian Smart Industry Conference (SmartIndustryCon), Sochi, Russian Federation*. 2025. P. 431–438, doi: 10.1109/SmartIndustryCon65166.2025.10986011

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ФРАКТАЛЬНОГО АНАЛИЗА ДЛЯ ВЕРИФИКАЦИИ СЕТОК РАЗЛОМОВ НА ШЕЛЬФЕ МОРЯ ЛАПТЕВЫХ

С.А. Ковачев¹, Н.В. Либина¹, С.Г. Миронюк², А.А. Крылов¹

¹Институт океанологии им. П.П. Ширшова, Москва, Нахимовский пр., 32
E-mail: kovachev@ocean.ru

²МГУ им. М.В. Ломоносова, Москва, Ленинские горы, 1
E-mail: mironyuksg@gmail.com

Для изучения разломных сетей в акваториях в настоящее время используют сложные и весьма затратные геолого-геофизические методы. В настоящее время в связи с развитием геоинформационные системы (ГИС) и повышением детальности цифровых моделей рельефа (ЦМР) дна начали использовать методы морфометрического анализа ЦМР и других геофизических полей [4,6,9,10,11,12,23]. Знание о положении разломов на дне акваторий кроме решения общенаучных задач имеет большое практическое значение особенно для районов Крайнего Севера в связи с интенсивным развитием Северного морского пути и освоения северных морских месторождений нефти и газа.

В морских условиях отсутствует возможность использовать линеаментный анализ по данным дистанционного зондирования земной коры. Поэтому перспективными можно считать применение методов моделирования на основе анализа цифровых моделей рельефа дна и геофизических полей. При этом могут применяться морфометрические методы для выделения килевых форм рельефа дна. Морфометрические методы расчета кривизны рельефа описаны в статьях [14,18].

В настоящей работе в качестве исходных данных использовался фрагмент ЦМР International Bathymetric Chart of the Arctic Ocean [22] для дна моря Лаптевых и прилегающей материковой зоны.

Для выделения разломов на ЦМР были применены методы геоморфометрического анализа рельефа: теневой анализ и выделение килевых форм с помощью расчета кривизны рельефа дна. Все расчеты и построения линий возможных разломов выполнялись при помощи программного комплекса Surfer Golden Software.

Теневой анализ морфологии дна [20] выполнялся визуальным путем по полутоновым изображениям (теневым картам) ЦМР с его условной подсветкой при разных азимутах виртуального источника света.

Сеть разломов (линеаментов), полученная этими методами с использованием ЦМР, показана на рисунке 1 а [11].

Поскольку разломам соответствуют границы изменения параметров геофизических полей, помимо ЦМР была использована модель аномального поля силы тяжести в редукции Буге. В качестве исходных данных выбрана глобальная модель WGM2012 [21], а вычисление значений плановой и профильной кривизны поля аномалий значений силы тяжести для выделения линейных структур выполнялось также в программе Surfer [11]. Сеть разломов, полученная по гравиметрическим данным, показана на рисунке 1 б.

Кроме того, была использована сводная схема активных разломов, составленная по данным из открытых источников, включая базу данных Геологического института РАН [1]. Были рассмотрены как собственно схемы активных разломов, так и сведения о признаках современной тектонической активности, прежде всего тектонические уступы и смещения в верхней части осадочного чехла [11]. Схема показана на рисунке 1 в.

В данной работе предлагается подход для оценки степени надежности выявления линеаментов с помощью определения фрактальных размерностей D линеаментных (разломных) сетей, полученных разными методами. Он основан на представлениях о том, что геологическая среда (земная кора) при своей сильной неоднородности обладает признаками иерархического самоподобия многочисленных атрибутов, в частности разломных сетей с характерными размерами от микротрещин до линеаментов планетарного масштаба [17]. Степень самоподобия при этом характеризуется параметром фрактальная размерность D , чем она больше, тем выше самоподобие линеаментной сети [2].

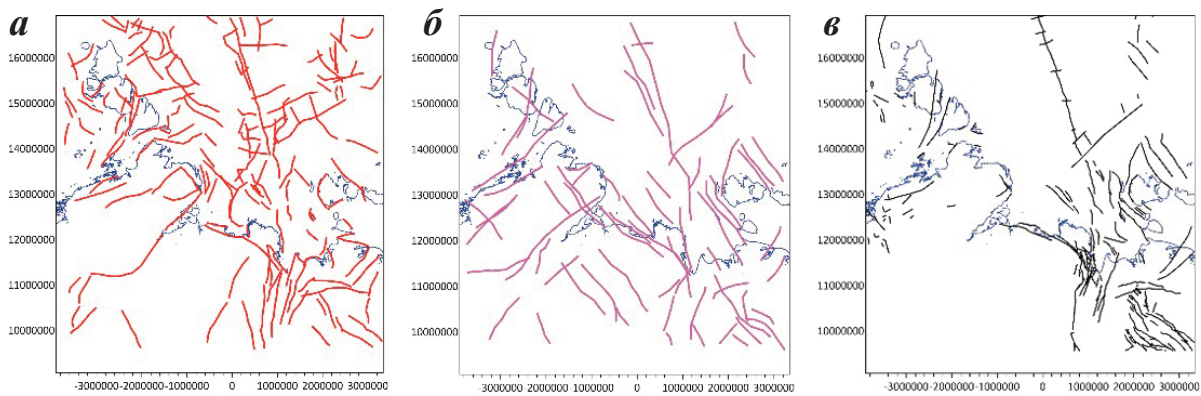


Рис. 1. Сети разломов, района моря Лаптевых, полученные разными методами: а – методом кривизны рельефа морского дна, б – методом кривизны гравитационного поля в редукции Буге, в – по литературным данным

Для вычисления D можно использовать клеточный метод согласно работам [13,16]. Линеаментную сетку покрывают ячейками со сторонами, равными r , с изменением их с каждой итерацией, а необходимое для этого количество ячеек N вычисляют для различных значений r . Тогда фрактальная размерность равна:

$$D = \lim_{r \rightarrow 0} \frac{\ln N}{\ln r}, \quad (1)$$

Точки, полученные на различных масштабах рассмотрения, ложатся на одну общую прямую, соответствующую однородному закону с показателем D . Это означает, что процесс разрушения геологической среды идет одинаковым образом и не зависит от размеров объекта. Фактически фрактальная размерность рассчитывалась с помощью программы FDEstimator фирмы VFL, размещенной в свободном доступе в интернете.

Расчеты показали, что максимальная фрактальная размерность соответствует линеаментной сетки, полученной методом кривизны рельефа $D=1,67$. Для гравиметрических данных $D=1,49$, а для сетки разломов, построенных по литературным данным, также $D=1,49$.

Таким образом, если опираться на принцип самоподобия разломов разного масштаба, то линеаментная сетка, полученная методом кривизны ЦМР, является наиболее достоверной, т.к. она имеет наибольшую фрактальную размерность в сравнении с конструкциями, полученными другими методами. Представляется интересным оценить фрактальные размерности для разных комбинаций разломных сеток (рис. 2. а-в).

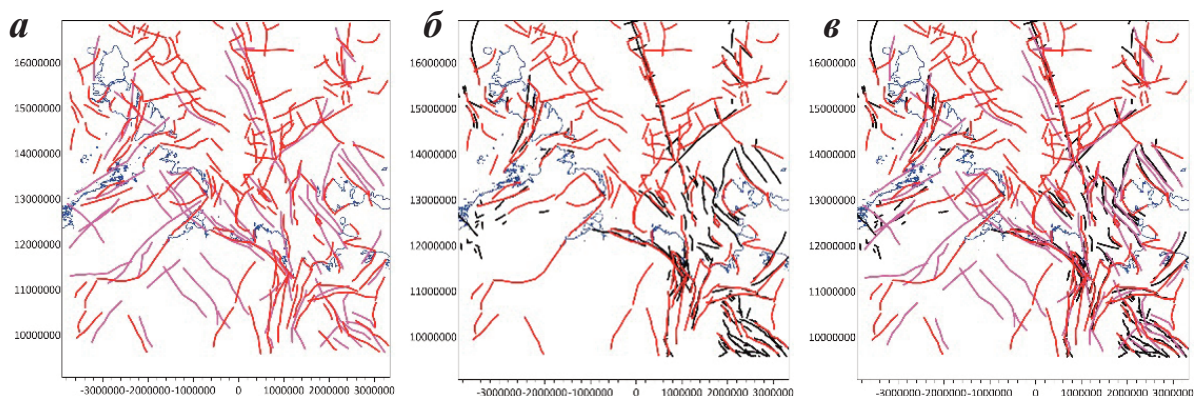


Рис. 2. Сети разломов, района моря Лаптевых, полученные комплексированием разных методов: а – метод кривизны рельефа морского дна и кривизны гравитационного поля в редукции Буге $D=1,74$, б – метод кривизны рельефа морского дна и по литературным данным $D=1,71$, в – метод кривизны рельефа морского дна, кривизны гравитационного поля в редукции Буге и литературных данных $D=1,76$

Из рис. 2а-в видно, что комбинирование линеаментных сеток увеличивает в разной степени фрактальную размерность. Сети разломов, полученные по гравиметрическим и литературным данным, имеют одинаковую фрактальную размерность $D=1,49$ (рис. 1 б, в), а их добавление к разломной

сети, полученной по кривизне рельефа (рис. 2 а, б), привносит разный вклад в общую фрактальную размерность, показывая разные значения величины $D=1,74$ и $D=1,71$ соответственно, что указывает на большую достоверность разломной сети полученной с помощью комбинирования батиметрических и гравиметрических данных.

Максимальная фрактальная размерность рассчитана для комбинации сеток, получена методами кривизны ЦМР, гравиметрических и литературных данных (рис. 2 в), составляет $D=1,76$. Видимо, эта разломная сеть максимально соответствует реальному пространственному распределению разломов исследуемого района, т.к. максимально соответствует принципу самоподобия, согласно работе [17].

Взаимосвязь сети разломов и приуроченного к ним поля эпицентров землетрясений позволяет провести сопоставление их фрактальных размерностей. Согласно исследованиям [19], для Байкальской рифтовой зоны наблюдается совпадение фрактальной размерности сети активных разломов и фрактальной размерности эпицентрального поля, причем в обоих случаях $D = 1,68$. Если не учитывать размер очага (магнитуду землетрясения), то совокупность очагов землетрясений имеет характер канторовых множеств. Т.е. пространственное распределение этих очагов фрактально и демонстрирует самоподобие в широком диапазоне масштабов. Характер расположения мелких землетрясений подобен расположению крупных землетрясений, и эта закономерность сохраняется при изменении масштаба. Для района моря Лаптевых и примыкающего к нему участка побережья континентальной Арктики (рис. 3 а) мы получили расчетное значение фрактальной размерности $D=1,76$ для очагов землетрясений, что совпадает с величиной фрактальной размерности, полученной для сетки разломов, выделенных методами кривизны ЦМР, гравиметрических и литературных данных.

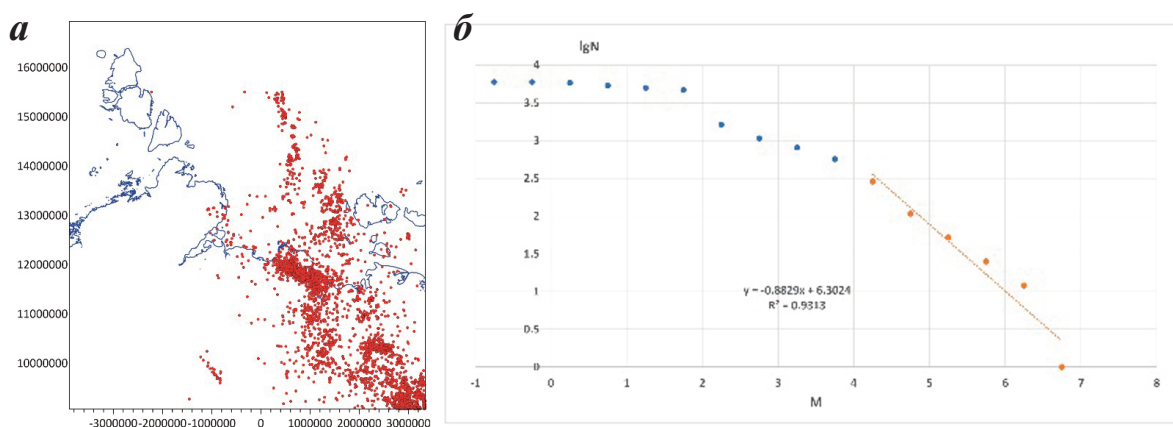


Рис. 3. а – эпицентры землетрясений района моря Лаптевых и примыкающей суши, согласно каталогу из работы [11], б – график повторяемости землетрясений по тем же данным

Самоподобие сейсмического режима во времени демонстрирует закон Гутенберга-Рихтера для распределения землетрясений во времени по магнитудам [3]:

$$\lg N = -bM + a, \quad (2)$$

где a и b – эмпирические константы, N – количество землетрясений за исследуемый период времени с магнитудой, превосходящей M , в исследуемом регионе. Согласно данным из [2] значение D должно быть близким к $2b$.

В работе [15] исследуется юго-западная часть моря Лаптевых и примыкающее к ней побережье. Здесь авторы выделяют две сейсмоактивные, области которые они называют «Буор-Хая» и «Оленек», для этих областей ими были построены графики повторяемости землетрясений, которые показали значения тангенса угла наклона графиков, равные $b = 0,79$ для Буор-Хая и $b = 0,81$ для области Оленек. Если удвоить эти значения, то они будут близки к фрактальной размерности $D=1,76$ для всего района моря ($2b = 1,58$ и $2b = 1,62$ соответственно). Разница в полученных значениях объясняется тем, что в работе [15] рассматривается только южная часть района моря Лаптевых.

Для построения графика повторяемости землетрясений всего района моря Лаптевых и примыкающего к нему Арктического побережья был использован сводный каталог землетрясений, представленный в статье [11]. Он был составлен в результате выполнения работ, описанных в [5, 6, 7, 8, 24, 25, 26]. Была

получена прямая, показанная на рисунке 3 б. Из рисунка 3 б видно, что магнитудный порог представительной регистрации землетрясений составляет 4,25 единицы магнитуды. Это означает, что без пропусков регистрируются все землетрясения района моря Лаптевых с магнитудой 4,25 и более. Землетрясения с меньшими магнитудами регистрировались в основном временными локальными сетями донных и наземных сейсмических станций поэтому они неrepresentative.

Прямая Гуттенберга-Рихтера строилась на основании данных о землетрясениях с магнитудами большими 4,25 (рис. 3 б). Тангенс угла наклона для этого графика составил $b = 0,88 \pm 0,12$, что полностью соответствует фрактальной размерности $D = 1,76$, вычисленной, как для сводной сетки разломов (рис. 2 в), так и для пространственного распределения эпицентров землетрясений моря Лаптевых (рис. 3а). Это является еще одним подтверждением достоверности полученной морфометрической методами сети разломов исследуемого района.

Работа выполнена по Государственному заданию № FMWE-2024-0018.

Литература

1. Бачманов Д.М., Кожурин А.И., Трифионов В.Г. База данных активных разломов Евразии // *Геодинамика и тектонофизика*. 2017. Т. 8. № 4. С. 711–736. doi:10.5800/GT-2017-8-4-0314.
2. Захаров В.С. Характеристики самоподобия сейсмичности и сетей активных разломов Евразии // *Электронное научное издание «ГЕОразрез»*. 2008, вып. №1-2008 (1).
3. Касахара К. *Механика землетрясений*. М.: Мир, 1985. 264 с.
4. Ковачев С.А., Либина Н.В. Оценки исходной сейсмичности для шельфовых сооружений на примере Печорского моря // *Океанология*. 2024. Т. 64. № 1. С. 165-175.
5. Крылов А.А., Либина Н.В., Ковачев С.А. Модель зон возникновения очагов землетрясений для Лаптевоморского региона // В книге: *Комплексные исследования Мирового океана. Материалы VIII Всероссийской научной конференции молодых ученых*. Владивосток, 2024. С. 407-408.
6. Крылов А.А., Лобковский Л.И., Рукавишников Д.Д., Баранов Б.В., Ковачев С.А., Дозорова К.А., Цуканов Н.В., Семилетов И.П. Новые данные о сейсмостектонике моря Лаптевых по наблюдениям донных сейсмостанций // *Доклады Российской академии наук. Науки о Земле*. 2022. Т. 507. № 1. С. 98-103. DOI: 10.31857/S2686739722601582.
7. Крылов А.А., Иващенко А.И., Ковачев С.А. и др. Сейсмостектоника и сейсмичность Лаптевоморского региона: состояние вопроса и первый опыт годичной постановки донных сейсмостанций на шельфе // *Вулканология и сейсмология*. 2020. № 6. С. 33–49.
8. Крылов А.А., Лобковский Л.И., Ковачев С.А. и др. Геодинамические режимы в Лаптевоморском регионе согласно новейшим сейсмологическим данным // *Доклады Российской академии наук. Науки о Земле*. 2023. Т. 513. № 2. С. 224–234. DOI: 10.31857/S2686739723601783.
9. Либина Н.В., Ковачев С.А. Методы выделения потенциально геоопасных районов на основе цифровой модели рельефа дна // В книге: *Новые идеи в науках о Земле. Материалы XVII Международной научно-практической конференции: тезисы докладов. В 9-ти томах*. Москва, 2025. С. 140-143.
10. Либина Н.В., Ковачев С.А., Крылов А.А. Выделение линеаментов по цифровой модели рельефа дна при оценке сейсмической опасности // В сборнике: *Геотектоника и геодинамика сейсмоактивных районов. Материалы II Всероссийской научной конференции, посвященной 300-летию РАН*. Москва, 2024. С. 235-239.
11. Либина Н.В., Крылов А.А., Рукавишников Д.Д., Ковачев С.А., Баранов Б.В. Выделение линеаментов в Лаптевоморском регионе геоморфометрическими методами: приложение к оценке сейсмической опасности // *Геоинформатика*. 2024а. № 4. С. 70-82.
12. Либина Н.В., Путанс В.А., Ковачев С.А. Один из методов выделения линеаментов по цифровой модели рельефа дна на примере Каспийского моря // В сборнике: *Современные методы и средства океанологических исследований (МСОИ-2025)*. Материалы конференции. Москва, 2025. С. 241-244.
13. Мандельброт Б. *Фрактальная геометрия природы*. Москва - Ижевск: Институт компьютерных исследований, 2002. 656 с.
14. Мальцев К.А., Мухарамова С.С. *Построение моделей пространственных переменных (с применением пакета Surfer)*. – Казанский университет. – Казань. – 2014. – 103 с.

15. Новиков М.А., Крылов А.А. Уточнение параметров сейсмического режима для района дельты р. Лены // *Российский сейсмологический журнал*. – 2025. – Т. 7, № 3. – С. 31–48. – DOI: <https://doi.org/10.35540/2686-7907.2025.3.03>. – EDN: TDNJGM
16. Федер Е. *Фракталы*. М: Мир, 1991. 260 с.
17. Садовский М.А., Писаренко В.Ф. *Сейсмический процесс в блоковой среде*. М.: Наука, 1991. 96 с.
18. Шарый П.А. Геоморфометрия в науках о земле и экологии, обзор методов и приложений // *Известия Самарского научного центра РАН*. 2006. № 8(2). С. 458-473.
19. Шерман С.И., Гладков А.С. Фракталы в исследовании деструктивных зон литосферы и сейсмичности // *Структурные парагенезы и их ансамбли*. Ред.: Гончаров М.А. и др., М.: ГЕОС, 1997. С.197-199.
20. Устинов С.А., Петров В.А. Использование детальных цифровых моделей рельефа для структурно-линеamentного анализа (на примере Уртуйского гранитного массива, ЮВ Забайкалье) // *Геоинформатика*. 2016. № 2. С. 52-60.
21. Bonvalot S., et al. *Global grids: World Gravity Map (WGM2012)*. 2012. Available at: <https://bgi.obs-mip.fr/grids-and-models-2/> (accessed 13.08.2024). DOI: 10.18168/bgi.23.
22. *International Bathymetric Chart of the Arctic Ocean (IBCAO)*. Available at: https://www.gebco.net/data_and_products/gridded_bathymetry_data/arctic_ocean.
23. Libina N.V., Putans V.A., Kovachev S.A., Krylov A.A., Mironyuk S.G., Tokarev M.Y. Identification of lineaments on the seabed based on a digital relief model using the example of the Caspian Sea // *Reliability: Theory & Applications*. 2025. RT&A, Special Issue № 4 (86), Part-1, Volume 20, December 2025.
24. Krylov A.A., Rukavishnikova D.D., Novikov M.A., Baranov B.V., Medvedev I.P., Kovachev S.A., Lobkovsky L.I., Semiletov I.P. The main geohazards in the Russian sector of the Arctic Ocean // *Journal of Marine Science and Engineering*. 2024. T. 12. № 12. С. 2209.
25. Kulikov M.E., Arkhipkin V.S., Medvedev I.P., Kovachev S.A., Krylov A.A. Numerical modeling of extreme sea levels on the Laptev Sea Coast // *Geosciences (Switzerland)*. 2024. T. 14. № 9. С. 245.
26. Krylov A.A., Novikov M.A., Kovachev S.A. et al. Features of seismological observations in the arctic seas // *Journal of Marine Science and Engineering*. 2023. T. 11. № 12. С. 2221.

ИЗМЕНЕНИЕ СПЕКТРАЛЬНЫХ СВОЙСТВ РАСТИТЕЛЬНОСТИ В ЗОНЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ ЖЕЛЕЗОРУДНОГО КАРЬЕРА

Н.В. Крутских

Карельский научный центр, г. Петрозаводск, Пушкинская, 11
E-mail: natkrut@gmail.com

Добыча полезных ископаемых, в том числе, открытая, неизменно приводит к нарушению режима подземных вод и образованию депрессионных воронок [3, 9]. В результате при водоотведении при открытой добыче происходит изменение влажности почв [1]. Это мало влияет на рост трав и кустарников, но оказывает существенное влияние на древесную растительность [9]. Особенно это актуально на начальных стадиях обезвоживания. Настоящее исследование направлено на оценку влияния добычи полезных ископаемых на окружающую среду через водный стресс растительности.

Использование данных дистанционного зондирования при геоэкологических исследованиях горнодобывающих районов достаточно распространено [15]. Изменения в растительном покрове надёжно фиксируются спектральными индексами, рассчитанными на основе данных мультиспектральной съемки, и их сочетанием [5]. Отмечено, что средние инфракрасные полосы (SWIR), по сравнению с другими, дают больше информации о структуре леса в хвойных и лиственных лесах [4]. Нормализованный индекс разности влажности (NDMI) чувствителен к изменениям содержания жидкой воды в растительном покрове и использует значения ближнего инфракрасного (NIR) и среднего инфракрасного (SWIR) каналов мультиспектральной съемки.

Район исследования расположен в северо-западной части Республики Карелия, Россия и включает Костомукшское железорудное месторождение. В работе рассматривается динамика влажности растительности на основе сопоставления NDMI, рассчитанных по космоснимкам Landsat за 1990 и 2019 гг. Отмечено, что NDMI растительности с 1990 по 2019 гг. показывает как положительную, так и отрицательную динамику содержания влаги в растительности, диапазон разницы индексов (dNDMI) варьируется от -0,66 до 1,01.

Комплексный анализ динамики NDMI в различных классах вегетационного покрытия совместно с геологическими, антропогенными, климатическими и топографическими факторами показал неравномерность его распределения. В качестве факторов рассмотрены высота, уклон, индекс топографического положения (TPI), глубина долин, расстояние до рек, геологическое строение, удаленность от карьеров, удаленности от дорог, удаленности от лесных вырубок.

Динамика NDMI по условным вегетационным классам земного покрытия (veg41, veg42, veg51), выделенных с помощью классификации космоснимков, значительно варьируется. На основе дешифрирования результатов автоматической классификации определено, что veg41 и veg42 это леса с преобладанием хвойных пород, veg51 – преобладание лиственной растительности (рис. 1). Тренды изменения NDMI для классов veg41 и veg42 наиболее похожи. Для большинства типичных хвойных пород характерна более высокая влажность, чем для лиственных [17], также они менее восприимчивы к колебаниям уровня воды. Водно-болотная растительность чувствительна к низкому уровню грунтовых вод [6, 9, 13]. Топографические факторы отражают естественное движение воды под действием силы тяжести [7, 8]. Отмечается преобладание отрицательного dNDMI на возвышенностях. Однако класс «veg51» характеризуется увеличением NDMI по всем формам рельефа. Увеличение уклона приводит к уменьшению dNDMI для всех классов растительности. Глубина долин играет важную роль в динамике NDMI, ее увеличение определяет увеличение NDMI. На более крутых склонах NDMI уменьшается. С удаленностью от каналов и озер незначительно возрастает негативное влияние на влажность растительности. Увеличение dNDMI вблизи дорог в большей степени связано с зарастанием растительностью вдоль дороги. Появление новых деревьев увеличивает густоту лесного покрова и, соответственно, увеличиваются значения NDMI.

Неравномерность изменения NDMI сильно зависит от строения верхнего слоя почвы, сложенного ледниковыми образованиями, которые характеризуются неоднородным литологическим и грану-

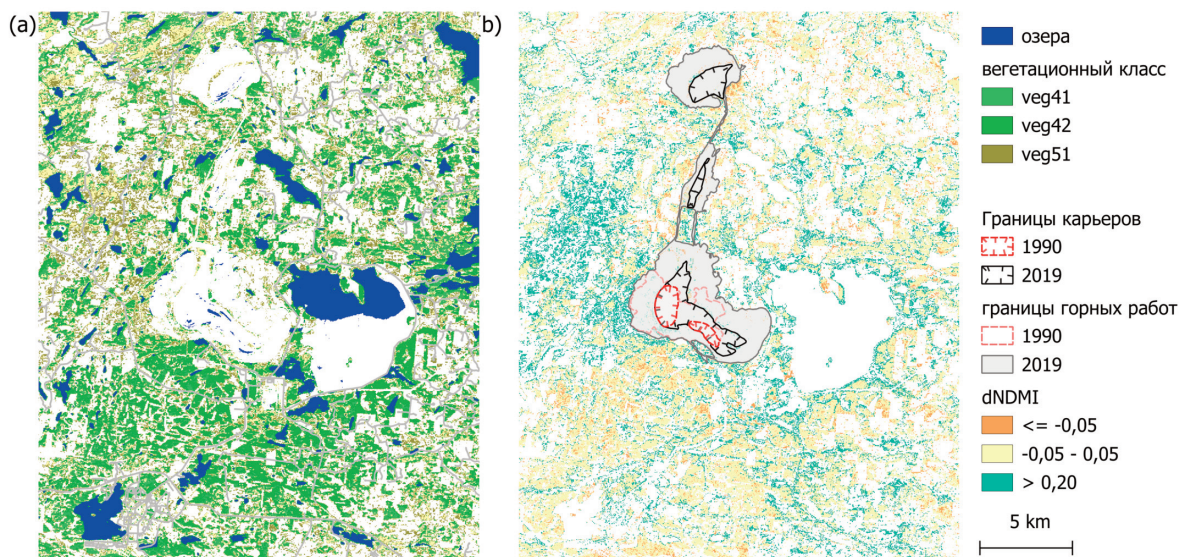


Рис. 1. Распределение вегетационных классов (а) и динамика NDMI с 1990 по 2019 (б)

лометрическим составом [14]. По докембрийским геологическим структурам значения dNDMI распределены равномерно.

Горнодобывающая деятельность оказывает воздействие на гидрогеологический режим подземных вод, что также изменяет свойства растительного покрова. В пределах территории Костомукшского горно-обогатительного узла определен единый гидравлически связанный трещинно-жильный водоносный горизонт. По состоянию на 1990 год расчетный радиус воронки депрессии составляет 4,5 км. Ввод в эксплуатацию в 2000-х карьеров на месторождениях Корпанга и Южная Корпанга увеличивают конус депрессии в северном направлении. Для анализа изменений NDMI использован индекс расстояния от карьера $K_{\text{dist}Q}$, показывающий как изменилось расстояние за исследуемый период. Значения $K_{\text{dist}Q}$ стремящиеся к 1 указывают на вовлечение территорий в зону воздействия за счет техногенного роста. Анализ выявил, что при $K_{\text{dist}Q} > 0,75$ знак dNDMI меняется с положительного на отрицательный. Величина $K_{\text{dist}Q}=0,75$ соответствует максимальному удалению от карьера 2019 г. не более 2200 м и соответствует приращению конуса депрессии с 1990 по 2019 год.

Близость карьера оказывает наибольшее влияние на класс veg51. Тогда как при других условиях этот класс, наоборот, характеризуется повышением NDMI (рис. 2). В пределах различных форм рельефа наблюдается общая закономерность для veg51. Класс veg51 представлен в основном лиственной растительностью на водно-болотных угодьях. Это согласуется с исследованиями, показывающими, что сокращение базового стока оказывает значительное влияние на деградацию водно-болотных угодий [11-12]. На территориях, где конус депрессии сформировался до 1990 г., не наблюдается явного снижения NDMI для всех классов растительности. Это определяется тем, что растительность испытывает водный стресс на начальном этапе водоотвода, а затем происходит адаптация к установившемуся водному режиму. Это согласуется с результатами других исследований [2, 6].

Чтобы оценить важность факторов, влияющих на высыхание или увлажнение растительности, создана модель на основе алгоритма машинного обучения рекурсивное исключение признаков (RFE). RFE показал, что включение в модель 13 признаков является наиболее оптимальным. Наиболее важным признаком является класс почвенно-растительного покрова. Важность переменной равна 77,3. Также существенно важными характеристиками являются глубина долины (56,0), расстояние до дорог (52,7), высота над уровнем моря (51,2), $K_{\text{dist}Q}$ (49,1). Далее ряд в порядке убывания важности выглядит так: расстояние до вырубке леса (46,6), расстояние до каналов (42,9), уклон (42,6), TPI (38,4), расстояние до озера (37,3), повторяемость ветров от карьера Южная Корпанга (34,3), повторяемость карьера Корпанга (34,1), повторяемость ветров от карьера Центральный (30,6) Геологическое строение дочетвертичных пород не включено в число важных факторов. Его учет снижает точность модели. Необходимо подчеркнуть, что коэффициент расстояния до карьера занимает значительное место в ряду важности. При использовании 13 признаков точность модели

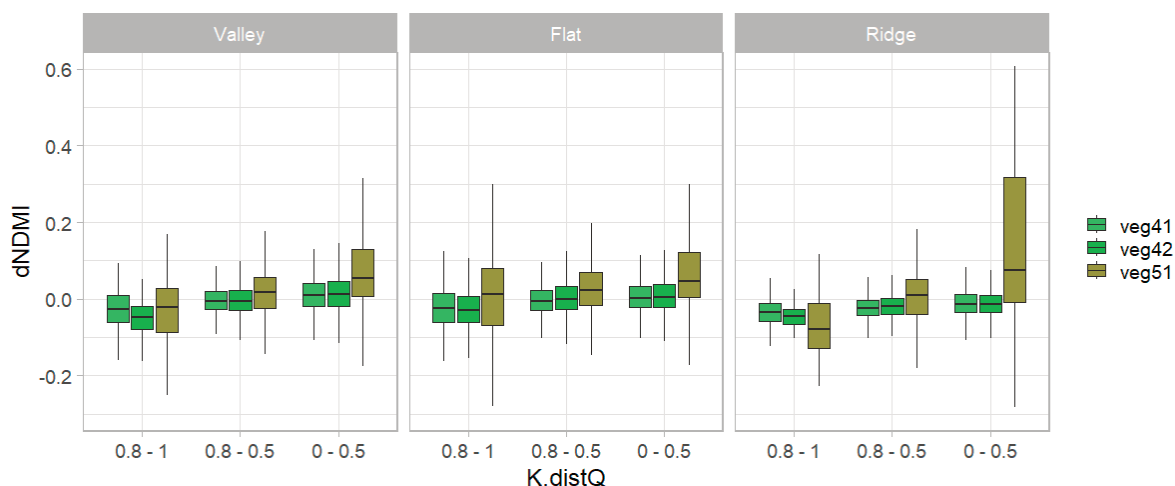


Рис. 2. Распределение dNDMI в зависимости от расстояния до карьера (K.distQ) и форм рельефа

по результатам 10-кратной перекрестной проверки составляет 0,74. Валидация с использованием тестового набора показала аналогичную производительность.

Результаты этого исследования могут использоваться в дальнейшем для разработки комплексного мониторинга влияния добычи полезных ископаемых на экологическую устойчивость территории. Сопоставление гидрогеологических расчетов и данных дистанционного зондирования позволяет использовать спектральные характеристики поверхности и их производные в качестве индикатора наблюдения за конусом депрессии при откачке подземных вод. Значимым моментом является возможность разделить процесс, снижения влажности за счет воздействия добычи от естественной динамики влажности.

Литература

1. Carabassa V., Ortiz O., Alcañiz J.M. RESTOQUARRY: Indicators for self-evaluation of ecological restoration in open-pit mines. *Ecological Indicators*. 2019. Vol. 102: pp. 437-445. <https://doi.org/10.1016/J.ECOLIND.2019.03.001>
2. Dąbrowska-Zielińska K., Misiura K., Malińska A., Gurdak R., Grzybowski P., Bartold M., Kluczek M. Spatiotemporal Estimation of Gross Primary Production for Terrestrial Wetlands Using Satellite and Field Data. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*. 2022. Vol. 27: 100786. <https://doi.org/10.1016/j.rsase.2022.100786>
3. Dong S., Feng H., Xia M. et al. Spatial-temporal evolutions of groundwater environment in prairie opencast coal mine area: a case study of Yimin Coal Mine, China. *Environmental Geochemistry and Health*. 2020. Vol. 42: pp. 3101-3118. <https://doi.org/10.1007/s10653-020-00544-z>
4. Horler D.N.H., Ahern F.J. Forestry information content of thematic mapper data. *International Journal of Remote Sensing*. 1986. Vol. 7, No. 3: pp. 405-428.
5. Kayet N., Pathak K., Chakrabarty A. et al. Assessment of foliar dust using Hyperion and Landsat satellite imagery for mine environmental monitoring in an open cast iron ore mining areas. *Journal of Cleaner Production*. 2019. Vol. 218: pp. 993-1006. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.01.305>
6. Lian H., Yi H., Yang Y., Wu B., Wang R. Impact of Coal Mining on the Moisture Movement in a Vadose Zone in Open-Pit Mine Areas. *Sustainability*. 2021. Vol. 13, No. 8: 4125. <https://doi.org/10.3390/su13084125>
7. Neff B.P., Rosenberry D.O., Leibowitz S.G., Mushet D.M., Golden H.E., Rains M.C., Brooks J.R., Lane C.R. A Hydrologic Landscapes Perspective on Groundwater Connectivity of Depressional Wetlands. *Water*. 2019. Vol. 12, No. 1: 50. <https://doi.org/10.3390/w12010050>
8. Ochtyra A. Forest Disturbances in Polish Tatra Mountains for 1985–2016 in Relation to Topography, Stand Features, and Protection Zone. *Forests*. 2020. Vol. 11, No. 5: 579. <https://doi.org/10.3390/f11050579>
9. Pepliński B., Czubak W. The Influence of Opencast Lignite Mining Dehydration on Plant Production—A Methodological Study. *Energies*. 2021. Vol. 14, No. 7: 1917. <https://doi.org/10.3390/EN14071917>

10. Rees W.G., Golubeva E.I., Tutubalina O.V. et al. Relation between leaf area index and NDVI for subarctic deciduous vegetation. *International Journal of Remote Sensing*. 2020. Vol. 41, No. 22: pp. 8573-8589. <https://doi.org/10.1080/01431161.2020.1782505>
11. Šimanauskienė R., Linkevičienė R., Bartold M., Dąbrowska-Zielińska K., Slavinskienė G., Veteikis D., Taminskas J. Peatland Degradation: The Relationship between Raised Bog Hydrology and Normalized Difference Vegetation Index. *Ecohydrology*. 2019. Vol. 12: e2159. <https://doi.org/10.1002/eco.2159>
12. Tianyu Z., Longcang S., Chengpeng L., Bo L. Attenuation of the contribution of groundwater to a wetland caused by groundwater overexploitation. *Aethorea*. 2023. <https://doi.org/10.22541/au.168020464.43869946/v1>
13. Zhou X., Yang W., Luo K., Tang X. Estimation of Aboveground Vegetation Water Storage in Natural Forests in Jiuzhaigou National Nature Reserve of China Using Machine Learning and the Combination of Landsat 8 and Sentinel-2 Data. *Forests*. 2022. Vol. 13, No. 4: 507. <https://doi.org/10.3390/f13040507>
14. Демидов И.Н., Шелехова Т.С. Диатомиты Карелии (особенности формирования, распространение, перспективы использования). Петрозаводск, Карельский научный центр РАН. 2006. 89 с.
15. Зеньков И.В. Дистанционное зондирование и горно-экологический мониторинг в открытых горных работах // ГИАБ. 2015. №S1-1.
16. Фадеичев А.Ф., Хохряков А.В., Гревцев Н.В., Цейтлин Е.М. Динамика негативного воздействия на окружающую среду на разных стадиях горного производства. *Известия высших учебных заведений. Горный журнал*. 2012. 1. С. 39-46.
17. Чубченко Н.В., Кочуров Б.И., Иванов А.И. Стационарные исследования динамики влажности и пигментов в хвое и листьях древесных растений национального парка «Угра» // Проблемы региональной экологии. 2025. №1.

ОПЫТ ОЦЕНКИ ПОСЛЕДСТВИЙ СЦЕНАРНЫХ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ С ПРИМЕНЕНИЕМ СИСТЕМЫ «ЭКСТРЕМУМ»

В.И. Ларионов¹, Н.И. Фролова², Н.С. Малаева³

¹Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Институт геоэкологии им. Е.М. Сергеева Российской академии наук,
Москва, 101000, Уланский переулок, дом 13, строение 2, а/я 145
E-mail: frolovanina7@gmail.com

²Московский государственный технический университет им. Баумана (МГТУ),
2-я Бауманская ул., 5, Москва, 105005, Россия

³Всероссийский научно-исследовательский институт по проблемам гражданской обороны и чрезвычайных
ситуаций МЧС России, г. Москва, Россия

Подход сценарных землетрясений основан на возникновении потенциального события определенной магнитуды, местоположения с учетом геометрии разлома-разрыва, которое приведет к определенному уровню сотрясений грунта, негативным социальным и экономическим последствиям. Сценарии обычно используются для лучшего планирования мероприятий по снижению сейсмического риска [16] и в случае оперативной оценки ущерба и потерь от только что произошедшего сильного события [15, 17]. В простейшей форме сценарий предоставляет собой инструмент для моделирования и визуализации потенциального воздействия определенных землетрясений на общество и критически важную инфраструктуру [13, 19], помогая лицам, принимающим решения, оценивать конкретные воздействия на основе принятых в настоящее время научных знаний в социальных, экономических, экологических науках, а также используемых на практике инженерных принципов и решений [18].

Результаты оценки последствий сценарных землетрясений позволяют тестировать стратегии реагирования, оказания помощи и восстановления, углубляя понимание об уязвимости населения сейсмоопасных районов, которая часто становится очевидной только во время катастрофических событий.

В 1999 году в связи со среднесрочным прогнозом сильного землетрясения на Камчатке [8, 14] впервые в РФ были выполнены оценки последствий сценарных событий для наиболее опасных зон ВОЗ [5] (рис.1, табл.1). При расчете последствий сценарных землетрясений для населения г. Петропавловска-Камчатского с помощью системы «Экстремум» информация об элементах местности представлялась картографическими данными на территорию города.

В качестве исходных данных для оценки уязвимости элементов риска использовались:

- цифровая модель местности (кварталы с однотипной застройкой, отдельные здания и сооружения);
- шкала сейсмической интенсивности MMSK-86 [6];
- информация, полученная на основе данных паспортизации существующей застройки города (около 5 500 домов), классифицированные по типам зданий шкалы MMSK-86;
- параметры законов разрушения для различных типов зданий; параметры законов поражения людей;
- распределение населения в пределах города в различное время суток.

Анализ результатов расчетов последствий от шести сценарных землетрясений в зонах FZ9, FZ8, AVS, AVG, PET, VUL (табл. 1) показал, что расчетная интенсивность сотрясений для геометрического центра г. Петропавловска-Камчатского изменяется от $I_{расч}=8$ до $I_{расч}=9$ баллов. Для отдельных кварталов застройки города $I_{расч}$ определялась с учетом карты сейсмического микрорайонирования территории города. Наибольший ущерб застройке города (рис. 2 а) может быть причинен во время события в зоне коровых землетрясений PET, с этой же зоной связаны максимальные социальные потери. Повторяемости событий в этой зоне $T=3\ 000-30\ 000$ лет, индивидуальный сейсмический риск для населения города в случае события в зоне PET варьирует в диапазоне $1,0 \cdot 10^{-5} < R_{s1} < 8,0 \cdot 10^{-5}$ 1/год. В субдукционной зоне AVS риск для населения города значительно выше $30,0 \cdot 10^{-5} < R_{s1} < 300,0 \cdot 10^{-5}$ 1/год и в среднем составляет $1,65 \cdot 10^{-3}$ 1/год, хотя возможные степени повреждения застройке не пре-

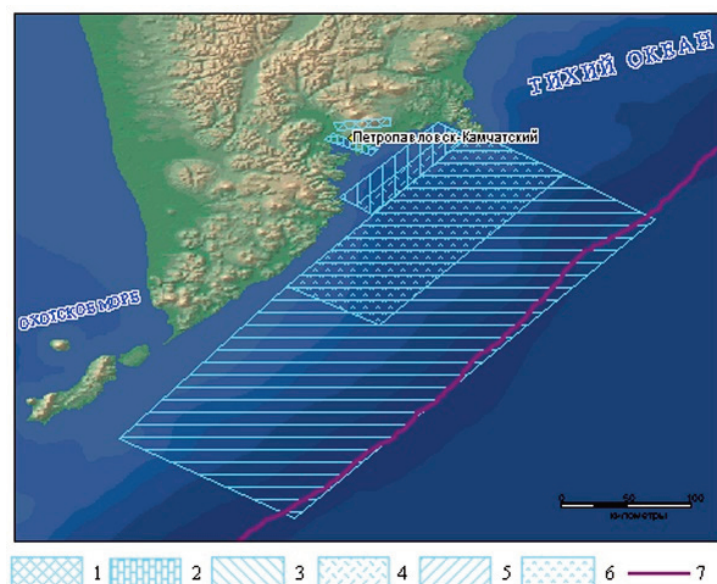


Рис. 1. Карта расположения очагов сценарных землетрясений: 1 – VUL; 2 – PET; 3 – AVG; 4 – AVS; 5 – FZ9; 6 – FZ8; 7 – ось Тихоокеанского глубоководного желоба

Характеристики зон ВОЗ на рис. 1 по [5]				Таблица 1
Индексы зон	Магнитуда $M_W - M_{LH}$ повторяемость	Зона ВОЗ	Глубина сейсмоактивного слоя, км	
FZ9	9,0 – 8,5, 100-500	тихоокеанская фокальная зона (субдукционные землетрясения)	0-50	
FZ8	8,4 – 8,25 50-500		0-50	
AVS	7,8 – 7,9 30-100		0-50	
AVG	7,8 – 7,9 300 -3 000		60-150	
PET	6,8 – 7,0 3000–30000	прибрежная зона коровых землетрясений (землетрясение тектонического происхождения)	0-30	
VUL	6,8 – 7,0 2 000 –20 000	прибрежная зона коровых землетрясений (землетрясение вулканического происхождения)	0-30	

вышают $d=3$ (рис. 2 б). С учетом этого факта, сделаны выводы о целесообразности составления и реализации планов и мероприятий по смягчению последствий возможных землетрясений в соответствии с полученными расчетными оценками социальных потерь. При перспективном планировании рекомендовано учитывать возможные максимальные потери населения: безвозвратные – 15 000 чел.; санитарные – 33 000 чел. В первую очередь, рекомендовано выполнять мероприятия, ориентированные на возможные потери: безвозвратные – 2 600 чел.; санитарные – 8 000 чел.

В последующие годы система «Экстремум» применялась для оценки последствий сценарных событий в сейсмоопасных районах Байкальской рифтовой зоны [10] и на Северном Кавказе [9, 11, 12].

В качестве исходных данных о параметрах возможных наиболее опасных для жителей города Ангарска сценарных событий использовались результаты исследований по среднесрочному прогнозу землетрясений [2, 3]. Расчеты последствий сценарных событий с магнитудами $M=7,1$ и $M=7,8$, отнесенных к Еловскому сегменту Главного Саянского разлома, были выполнены с использованием актуализированной застройки города Ангарска для разных региональных законов затухания сейсмической интенсивности и функций уязвимости застройки.

Для более редкого с вероятностью $P=0,003$, но сильного события с $M=7,8$ в Еловском сегменте ГСР получены более неблагоприятные оценки возможных степеней в среднем по городу (рис. 3). Меняется в сторону ухудшения и оценка степеней повреждения отдельных типов зданий, особенно при исполь-

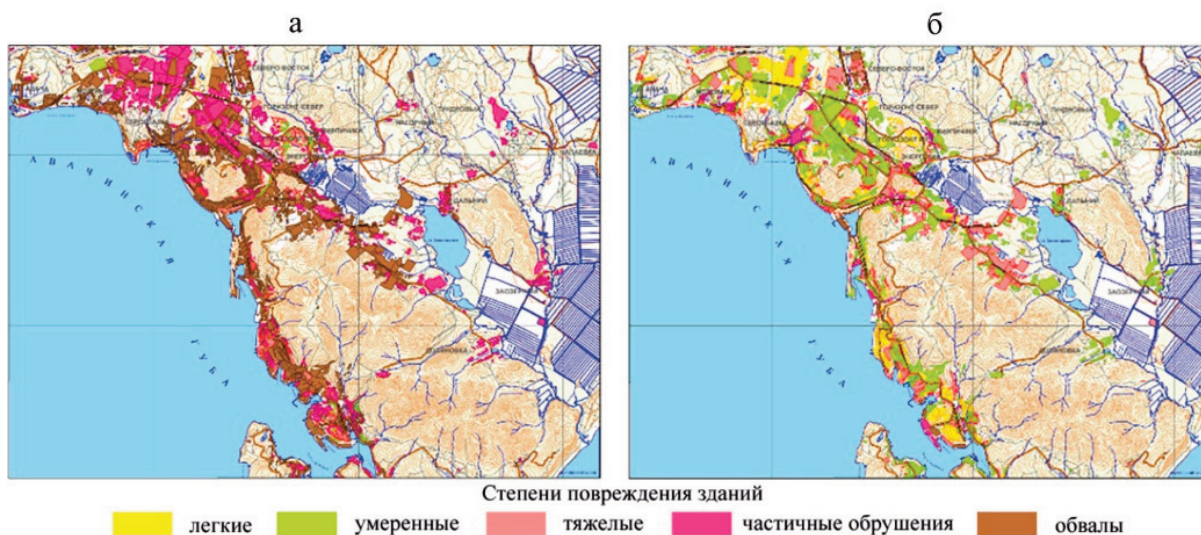


Рис. 2. Распределение степеней повреждений зданий по кварталам г. Петропавловска-Камчатского: а) от сценарного землетрясения в зоне РЕТ; б) от сценарного землетрясения в зоне AVS

зовании экспоненциального закона затухания интенсивности и обобщенного закона разрушения. При таком сценарии степени повреждения зданий типа А и Б могут достигать значений $d=4$ и $d=5$.

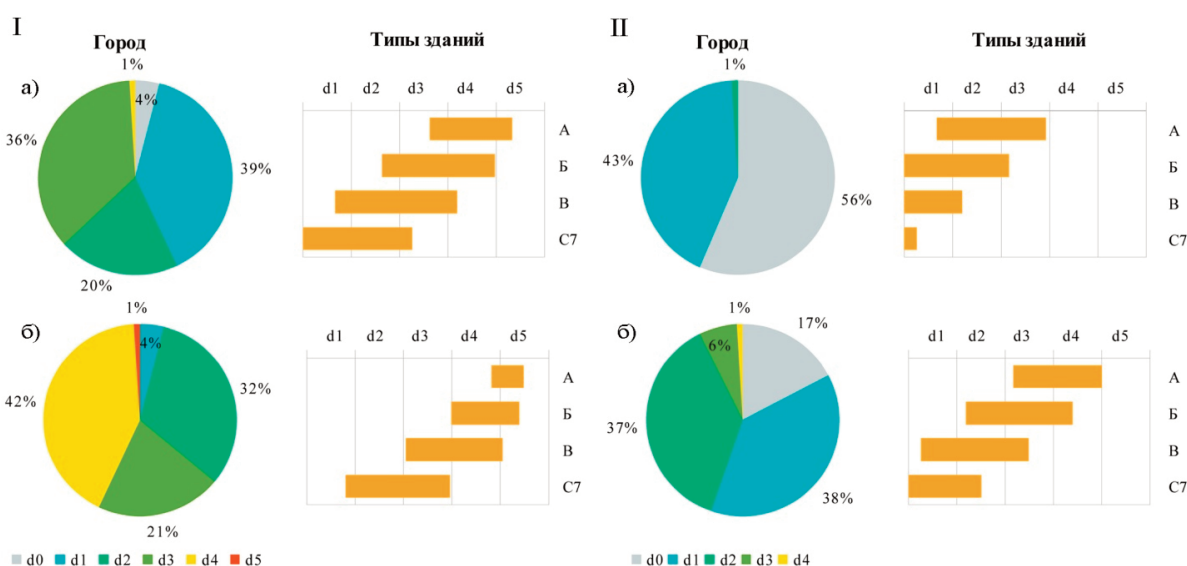


Рис. 3. Распределение степеней повреждений типовой застройки города Ангарска для сценарного землетрясения с $M=7,8$: I – обобщенный закон разрушения зданий; II – региональный закон разрушения зданий; а) уравнение макросейсмического поля Н.В. Шебалина; б) экспоненциальный закон затухания интенсивности для Байкальской зоны

Для районов с преобладающей застройкой одно- и двухэтажными зданиями типа А и В, таких микрорайонов, как Старобайкальск (рис. 4), ситуация с ущербом от сценарного землетрясения с $M=7,8$ в Еловском сегменте ГСР может быть намного серьезнее. Согласно результатам расчетов только 5% общей площади застройки квартала останется неповрежденной, почти 60% общей площади застройки может получить степени повреждений от $d=2$ до $d=4$, а 8% жилищного фонда может быть полностью разрушено $d=5$.

Полученные оценки последствий сценарных событий с $M=7,1$ могут быть использованы региональным подразделением МЧС РФ для подготовки краткосрочного плана реагирования на случай относительно слабого события с высокой вероятностью. Оценки для редкого события с $M=7,8$ могут использоваться МЧС для подготовки долгосрочного плана реагирования и проведения превентивных мероприятий.

Анализ поведения зданий разного типа в г. Ангарске в случае сценарных событий с $M=7,1$ и $M=7,8$ позволяет обосновать решения директивными органами города о сносе или реконструкции

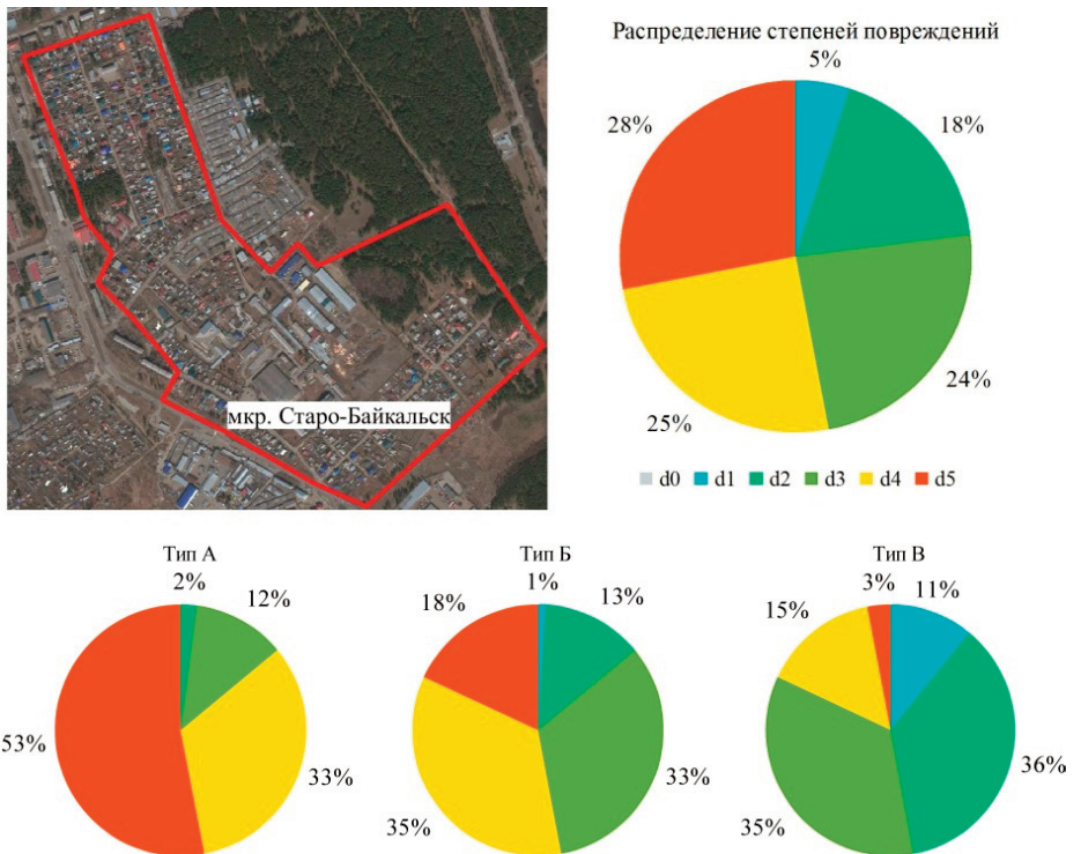


Рис. 4. Распределение степеней повреждений для квартала «мкр. Старобайкальск»: $M=7,8$, экспоненциальный закон затухания, обобщенный закон разрушения

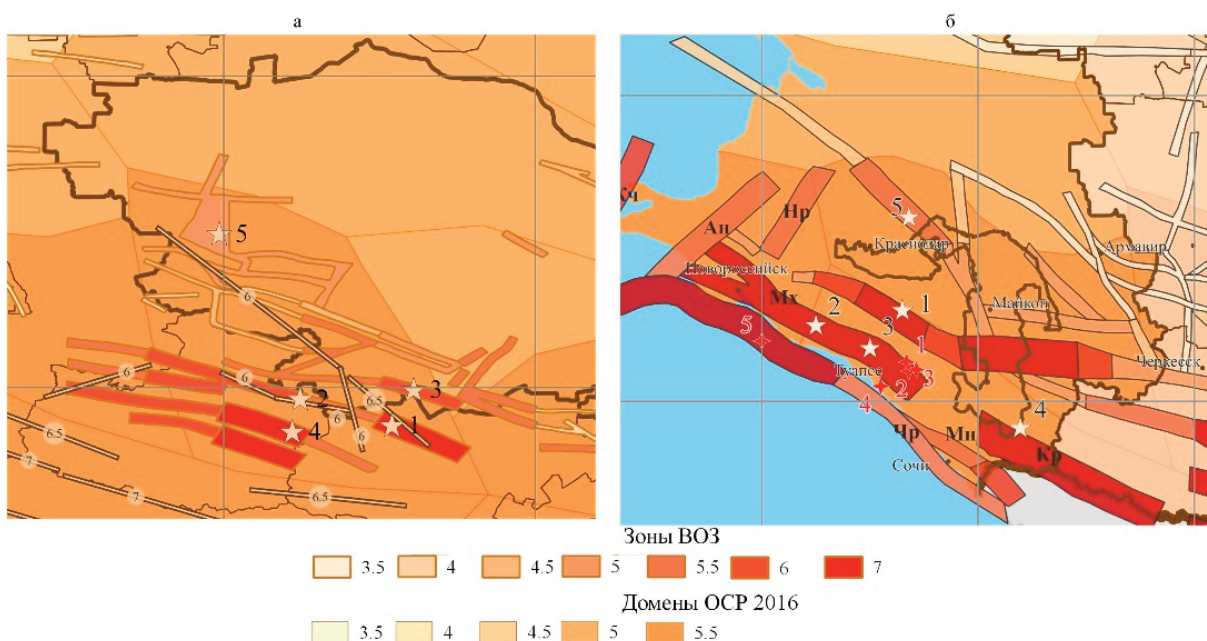


Рис. 5. Карта зон ВОЗ и домены, построенных для ОСР-2016: а) фрагмент Ставропольского края, б) фрагмент Краснодарского края. Значки и цифры – сценарные события

зданий расположенных в кварталах с высокими показателями сейсмического риска с учетом инструментального обследования надежности конструкций зданий.

Для Ставропольского и Краснодарского краев при выборе параметров сценарных событий использовались карты зон ВОЗ, домены карт ОСР-2016 и исторические события (рис. 5).

Для этой территории были получены оценки, как для наиболее опасных зон с $M_{max}=6-7$, так и для зон с умеренной опасностью ($M_{max}=5-5,5$), при этом на их территории расположены столицы соответствующих регионов, являющихся важными культурными и промышленными центрами. В качестве коэффициентов уравнения Шебалина использовались значения, полученные авторами совместно с ФИЦ ЕГС РАН на основе обработки большого массива макросейсмических данных. [9, 11, 12]

В случае реализации сценарных событий с $M_{max}=6-7$ на территории Ставропольского края застройка в 5-15% населенных пунктах может получить тяжелые повреждения ($d=3$) и частичные обрушения ($d=4$). Для Краснодарского края эти значения варьируют от 13% до 20%. Для застройки в населенных пунктах Краснодарского края также возможно появление $d=5$. Такие повреждения вплоть до полного обрушения ($d=5$) могут получить здания типа А. В городах близких к эпицентрам сценарных событий (Пятигорск, Эссентуки, Усть-Лабинск, Туапсе) доля таких зданий может составлять от 20% до 60%.

В крупнейших городах территории Краснодаре и Ставрополе застройка в основном получит легкие и умеренные повреждения, однако незначительная доля зданий (порядка 5%, в основном, типа А) может получить тяжелые повреждения ($d=3$).

Полученные результаты моделирования последствий сценарных событий являются методической основой для разработки аналогичных сценариев для других сейсмоопасных урбанизированных территорий РФ.

Для повышения надежности результатов моделирования потерь с применением системы «Экстремум» необходимо дальнейшее сотрудничество с ФИЦ ЕГС РАН по калибровке моделей макросейсмического поля для учета региональных особенностей затухания сейсмической интенсивности.

Внедрение результатов исследований по оценке последствий сценарных землетрясений в практику планирования превентивных мероприятий по уменьшения возможных потерь от сильных и ощутимых событий, освоения территорий, градостроительства, проектирования обеспечит снижение потерь населения и возможного ущерба при сейсмических воздействиях.

Литература

1. Левина Е.А. Оперативная оценка распределения степени сейсмической опасности средствами ГИС / Геоинформатика. – 2016. – № 1. – С. 3-8.
2. Пономарёва Е.И., Ружич В.В., Левина Е.А. Оперативный среднесрочный прогноз землетрясений в Прибайкалье и его возможности // Известия Иркутского государственного университета. Серия «Науки о Земле». – 2014. – Т. 8. – С. 67-79.
3. Ружич В.В. Сейсмотектоническая деструкция в земной коре Байкальской рифтовой зоны. - Новосибирск: Изд-во СО РАН. – 1997. - 144 С.
4. Ружич В.В., Левина Е.А., Пономарева Е.А. О возможности и результатах среднесрочного прогноза опасных землетрясений в Прибайкалье и его роли в снижении сейсмического риска // Материалы IV Всероссийского симпозиума с участием иностранных ученых, посвященного 90-летию со дня рождения акад. Н.А. Логачева / под ред. С.В. Рассказова, С.П. Приминной, Иркутск: ИЗК СО РАН. –2019. – С. 167-169.
5. Соболев Г.А., Аптикаев Ф.Ф., Шумилина Л.С., Гусев А.А. Сценарии сейсмических событий, разрушительных для урбанизированной территории вокруг Авачинской бухты. М. – Петропавловск-Камчатский: ОИФЗ РАН. – 1999. – 57С.
6. Шебалин Н.В., Еришов И.А., Шестоперов Г.С., и др. Улучшенный вариант шкалы сейсмической интенсивности (MMSK-86) на базе шкал MSK-64 и MСССС-73 (заключительный отчет). М.: МСССС, ИФЗ. – 1986. – 61 С.
7. Шебалин Н.В. Опорные землетрясения и уравнения макросейсмического поля // Новый Каталог сильных землетрясений на территории СССР (с древнейших времен до 1975 г.). М.: Наука. – 1977. – С. 20–30.
8. Федотов С.А., Чернышева Г.В., Шумилина Л.С. Сейсмичность Камчатки и Командорских островов // Вулканология и сейсмология. – 1987. – № 6. – С.29-60.
9. Фролова Н. И., Габсатарова И.П., Лутиков А.И. и др. Оценка сейсмического риска на территории Ставропольского края // Геофизические процессы и биосфера. – 2022. – Т. 21, № 3. – С. 111-136. – DOI 10.21455/GPB2022.3-9. – EDN ZJGGUH.

10. Фролова Н.И., Малаева Н.С., Ружич В.В., и др. Оценка социальных и экономических показателей сейсмического риска на примере г. Ангарск // *Геофизические процессы и биосфера*. – 2022. – Т. 21, № 2. – С. 86-113. – DOI 10.21455/GPB2022.2-5. – EDN GMSGFT.
11. Фролова Н.И., Габсатарова И.П., Ларионов В.И. и др. / Возможные последствия сценарных землетрясений в Кавминводской зоне// *Геоэкология. Инженерная геология, гидрогеология, геоэкология*. – 2023. – № 4. – С. 3-17. – DOI 10.31857/S0869780923040033. – EDN WXXBWW.
12. Фролова Н.И., Габсатарова И.П., Суцев С.П., Малаева Н.С. Оценка последствий сценарных землетрясений на территории Краснодарского края // *Вопросы инженерной сейсмологии*. – 2025. – Т. 52, № 4. – С. 5–34. <https://doi.org/10.21455/VIS2025.4-1>
13. Bordonì P, Gori S, Akinci A et al A site-specific earthquake ground response analysis using a fault-based approach and nonlinear modeling: the Case Pente site (Sulmona, Italy) // *Eng Geol*. – 2023. – 314:106970. <https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2022.106970>
14. Fedotov S.A., Chernysheva G.V., Shumilina L.S. Seismicity of Kamchatka and Commander islands based on detailed observations during 1962-1990.// *J.of Earthquake Prediction Research*. – 1993. – № 1, V.2. – p.49-69.
15. Frolova, N.I., Larionov, V.I., Bonnin, J., Sushchev, S.P., Ugarov A.N. and Kozlov M.A. Loss caused by earthquakes: Rapid estimates // *Nat. Hazards*. – 2017. – V.88. – P. 63–80. doi 10.1007/s11069-016-2653-x.
16. *Guidelines for developing an earthquake scenario*. Earthquake Engineering Research Institute Oakland, California. – 2006.
17. Stallone A., Selva J., Cordrie L., Faenza L., Michelini A., Lauciani V. ProbShakemap v.1.0: a Python toolbox propagating source uncertainty to ground motion prediction for urgent computing application submitted to *Computer and Geosciences*. – 2024. DOI:10.22541/essoar.171291898.85029834/v1
18. Visini F., M. M. C. Carafa, A. Valentini, D. Di Naccio, V. Kastelic, C. Doglioni, Scenario-based seismic hazard for horizontal and vertical ground motions in central Italy. *Rendiconti Lincei // Scienze Fisiche e Naturali*. – 2024. – 35:563–582 <https://doi.org/10.1007/s12210-024-01256-7>
19. Zuccolo E, Vaccari F, Peresan A, Panza GF Neo-deterministic and probabilistic seismic hazard assessments: a comparison over the Italian territory // *Pure Appl Geophys*. – 2011.– 168:69–83. <https://doi.org/10.1007/s00024-010-0151-8>

СНИЖЕНИЕ СЕЙСМИЧЕСКИХ РИСКОВ В УРБАНИЗИРОВАННОЙ СРЕДЕ: МОДЕЛЬ МЕЖДУНАРОДНОГО СОТРУДНИЧЕСТВА ТУРКМЕНИСТАНА И ПРООН

Н.Г. Мавлянова

Институт Геоэкологии им. Е. М. Сергеева РАН, г. Москва, 100100, Уланский пер.13, с.2
E-mail: georisk2015@mail.ru

Проблема обеспечения сейсмической безопасности остаётся одним из ключевых вызовов для устойчивого развития государств, располагающихся в сейсмически активных регионах. В современных концепциях управления рисками природных бедствий наблюдается смещение акцента от реактивных мер по ликвидации последствий к проактивным стратегиям, включающим комплексное прогнозирование, своевременное предупреждение и системное снижение уязвимости как объектов инфраструктуры, так и населения.

В мировой практике результативным подходом к решению подобных задач является налаживание стратегического сотрудничества с международными организациями, обладающими накопленным опытом, специализированными знаниями и необходимыми ресурсами. Республика Туркменистан, значительная часть территории которой расположена в зоне высокой сейсмической активности, в полной мере осознает эти угрозы. Историческая память о катастрофическом Ашхабадском землетрясении 1948 г. ($M=7,3$), ставшей трагедией для туркменского народа, обуславливает особую актуальность вопросов сейсmobезопасности на государственном уровне.

Правительство Туркменистана и Программа развития Организации Объединенных Наций (ПРООН) заключили соглашение о стратегическом партнерстве, направленном на расширение возможностей страны в сфере управления рисками, связанными со стихийными бедствиями [9]. Совместный проект Правительства Туркменистана и ПРООН «Укрепление национального потенциала Туркменистана по оценке сейсмических рисков, предупреждению и реагированию на потенциальные землетрясения», осуществляемый в период с 2018 г., стал важным этапом в данном направлении.

Основной задачей проекта являлась разработка и внедрение, в сотрудничестве с Институтом Сейсмологии и Физики Атмосферы Академии наук Туркменистана (ИСИФА), стратегии прогнозирования и оценки рисков землетрясений, а также оказание поддержки правительству страны в формировании потенциала для оперативного реагирования на чрезвычайные ситуации. Первоначальная стадия проекта реализована на территории центрального района г. Ашхабада с перспективой применения успешных методик и подходов в рамках аналогичных мероприятий на территории других населенных пунктов страны. Проект ориентирован на системное урегулирование проблемы посредством реализации трех ключевых компонентов: 1) модернизация технического оснащения и проведение оценки рисков; 2) усиление институционального и кадрового потенциала; 3) совершенствование нормативно-правовой базы.

Территория Туркменистана - одна из высокосейсмичных областей Альпийско-Гималайского сейсмического пояса. Площадь страны составляет 491200 км², население – 7057841 человек [4]. Сейсмичность территории Туркменистана тесно взаимосвязана с процессами, протекающими в областях стыка Иранской и Туранской плит и являющимися прямым результатом их взаимодействия. Это подтверждается сведениями о разрушительных землетрясениях, происходивших в регионе (рис. 1) как в исторический (08.07.1895 г. $M=8,2$, 01.05.1929 г. $M=7,2$), так и в современный период (06.10.1948 и 06.12.2000 г. с $M=7,3$) [1].

Все население страны проживает на сейсмически активной территории с возможным проявлением землетрясения с интенсивностью более 6 баллов (по шкале MSK-64). Диаграмма (рис. 2) отражает распределение населения по территориям с землетрясениями различной ожидаемой интенсивности. Из них 25,5% проживает в зоне с возможной интенсивностью сейсмического воздействия 9 баллов. В этой зоне расположены столица Туркменистана – г. Ашхабад и центр велаята страны г. Балканабат, а также ряд крупных городов – Туркменбаши, Хазар. В зоне проявления 8-балльных землетрясений проживает 42,5% населения [6].

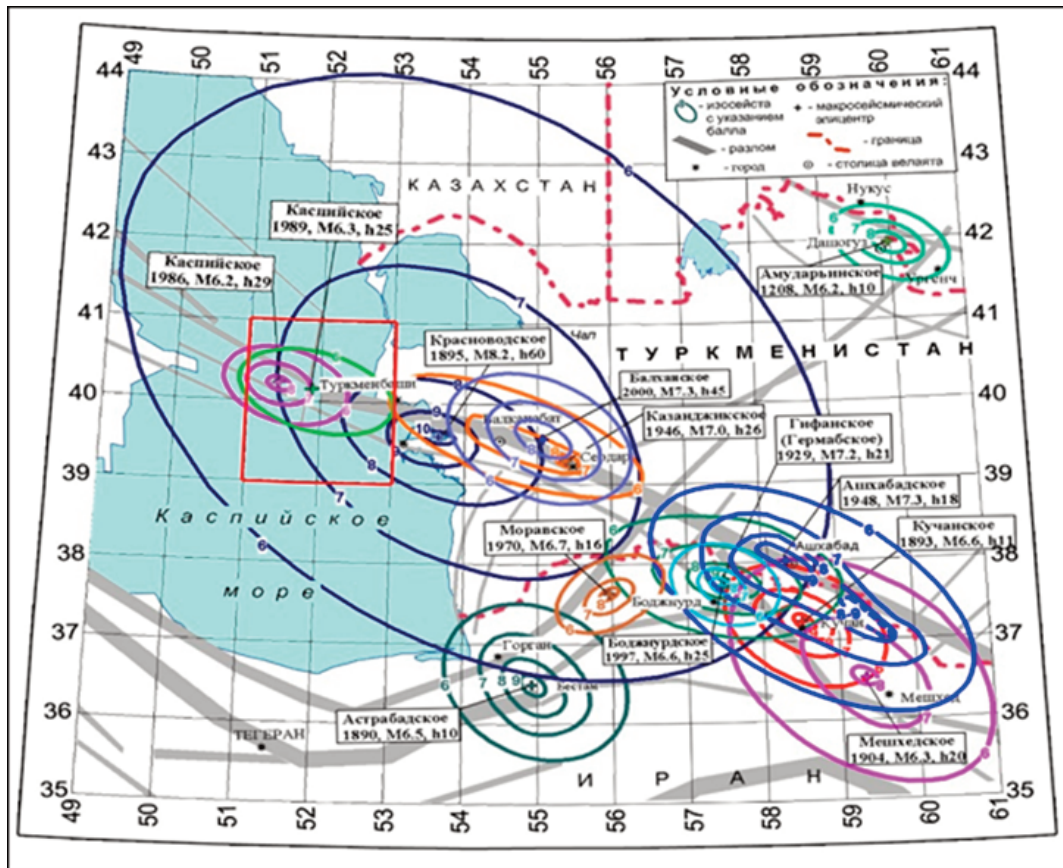


Рис. 1. Карта изосейст сильнейших землетрясений Западного и Центрального Туркменистана и сопредельных государств (автор – С.С. Абасеев) [1]

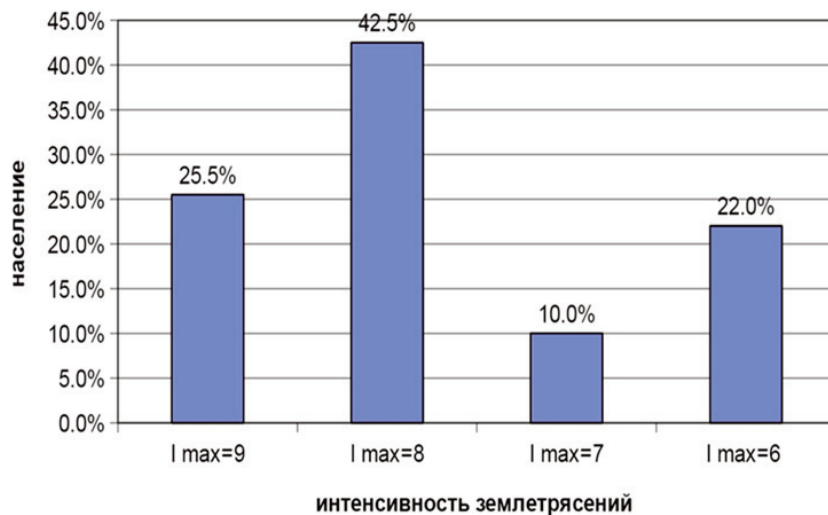


Рис. 2. Диаграмма распределения населения Туркменистана по сейсмическим зонам различной интенсивности (согласно карте плотности населения и Национальной карте общего сейсмического районирования) [6]

Обеспечение безопасности населения является приоритетной задачей правительства страны. Постановлением Президента Туркменистана в 2008 г. учреждена Государственная комиссия Туркменистана по чрезвычайным ситуациям (ГКЧС), как орган предупреждения и ликвидации стихийных бедствий. Председателем Государственной комиссии является Президент Туркменистана, в состав комиссии входят министры, ответственные за возможную ликвидацию аварийных ситуаций, представители научно-исследовательских организаций, занимающихся исследованием природных и техногенных ката-

строф, и организаций, организующих транспортные работы в аварийной ситуации. При возникновении аварийной ситуации Государственная комиссия Туркменистана по ЧС работает в тесном сотрудничестве с Главным управлением по ЧС и гражданской обороне Министерства обороны Туркменистана.

В Туркменистане принят ряд законов в области защиты населения и территорий от ЧС и успешно реализуется Государственная Программа «Снижение сейсмического риска в сейсмоопасных зонах Туркменистана» на 2019-2030 гг. (МАКСАТНАМА №1061 от 23.01.2019г). Постановлением Президента Туркменистана №245 от 09.09.2022 г. утверждены Государственная программа комплексного развития сейсмологической науки в Туркменистане на 2022-2028 гг. и План мероприятий по ее реализации.

В настоящее время Национальная карта сейсмического районирования территории Туркменистана (НКСРТ-2017) является нормативной. Данная карта лежит в основе планирования перспективного освоения территорий страны [2]. В приложениях к карте приводятся дополнительные сведения, необходимые для проектировщиков при расчетах элементов строительных конструкций и всего сооружения в целом. Карта разработана благодаря модернизации инструментальной базы сейсмологической службы ИСиФА, что позволило значительно расширить объем собираемых сейсмологических данных и повысить эффективность работы сети мониторинга. Для оценки интенсивности землетрясений используется 12-балльная шкала MSK-64. На карте выделены зоны интенсивности проявления землетрясений на поверхности с шагом в 1 балл: I=9; 8; 7; 6. Приведены оценки средней повторяемости сотрясений с интенсивностью 6, 7, 8 и 9 баллов в виде индексов, обозначающих категории повторяемости: 2 – один раз за 1000 лет и 3 – за 10 000 лет [2]. В рамках Государственной программы комплексного развития сейсмологической науки в Туркменистане разработана Шкала сейсмической интенсивности Туркменистана (ШСИТ-2024) [5].

Система сейсмических наблюдений в Туркменистане представляет собой сеть из 23 стационарных сейсмических станций и 20 комплектов аппаратуры сильных движений грунта. Наиболее густая сеть наблюдений сформирована в Ашхабадском сейсмоактивном районе: 9 стационарных станций, 4 из которых расположены в горной местности, остальные в предгорьях Копетдага. На западе Туркменистана работает 8 стационарных сейсмических станций. На сейсмостанции в г. Кызыл-Арват установлены новые приборы, работающие в ждущем режиме. На юго-востоке страны расположены 3 стационарные сейсмические станции. На территории Лебапского велаята работает 4 стационарные сейсмические станции. Одна сейсмостанция находится в 240 км севернее г. Ашхабада – в Центральных Каракумах (поселок Кукуртли) [6].

Существующая застройка городов и населенных пунктов Туркменистана представлена разнообразными типами зданий, в том числе характеризующимися различным уровнем сейсмической уязвимости [7]. В современной редакции национальных строительных норм (СНТ 2.01.08-2020 «Строительство в сейсмических районах») приведена подробная классификация конструктивных типов зданий в Туркменистане. Эта классификация содержит 9 типов зданий и основывается, в первую очередь, на материале несущих конструкций зданий и их конструктивной схеме [8]. Таким образом, в общей сложности, учитывая 9 основных конструктивных типов зданий и все дополнительные подтипы, можно констатировать, что в терминах сейсмической уязвимости данная классификация охватывает 22 типа. В дополнение к классификации типов по конструктивному решению в Приложении 5 СНТ 2.01.08-2020 содержатся оценки повреждаемости для всех перечисленных типов и подтипов зданий.

С 2019 г. по настоящее время сотрудниками НИИ Сейсмостойкого строительства Министерства Строительства и архитектуры Туркменистана осуществляется паспортизация всех существующих зданий и сооружений территории страны. Эта работа выполняется в рамках Государственной Программы «Снижение сейсмического риска в сейсмоопасных зонах Туркменистана» на 2019-2030 гг. (п.14 - МАКСАТНАМА №1061 от 23.01.2019 г). В рамках Международного проекта с сентября 2019 г. по октябрь 2021 г. сотрудниками Главного государственного проектного объединения (ГГПО) «Туркмендовлеттаслама» МСиАТ была проведена паспортизация центральной (пилотной) части г. Ашхабада. В рамках проекта составлена карта сейсмического риска пилотной части г. Ашхабада [8].

Концепция совместного проекта Правительства Туркменистана и ПРООН неразрывно связана с Государственными программами социально-экономического развития Туркменистана, включая Программу Президента Туркменистана по социально-экономическому развитию страны на 2022–2028 годы, в которых высокий уровень сейсмической опасности учитывается как ключевой фактор устойчивого развития. Основные результаты, полученные в ходе реализации проекта, кратко изложены по этапам в таблице 1.

Таблица 1

Результаты совместного проекта Правительства Туркменистана и ПРООН «Укрепление национального потенциала Туркменистана по оценке сейсмических рисков, предупреждению и реагированию на потенциальные землетрясения»

Этапы/ годы	Полученные результаты
2018-2019	<ul style="list-style-type: none"> - собраны геологические, геофизические, гидрогеологические и сейсмологические данные по пилотной (центральной части) города Ашхабада; - проведены вводные семинары и тренинги по ГИС и по снижению сейсмического риска для сотрудников различных учреждений в Туркменистане; - утвержден единый технический паспорт здания; - начата паспортизация зданий и сооружений г. Ашхабада.
2020	<ul style="list-style-type: none"> - продолжается паспортизация зданий и сооружений, расположенных в пилотной части г. Ашхабада (центр города) - определены эффективные методы количественной оценки сейсмического риска; - разработана топографическая и геодезическая основа для г. Ашхабада; - определен список необходимого оборудования (комплекты сейсмометрической аппаратуры) для ИСиФА.
2021	<ul style="list-style-type: none"> - закуплено необходимое программное обеспечение и научно-техническое оборудование для института сейсмологии и физики атмосферы АНТ (комплекты сейсмометрической аппаратуры); - определена сейсмическая уязвимость основных типов зданий в г. Ашхабаде (9 типов); - разработана форма нового паспорта для осуществления паспортизации зданий и сооружений; - картированы активные зоны тектонических разломов и начато сейсмическое микрорайонирование территории г. Ашхабада; - инициировано создание ГИС для анализа сейсмической опасности и рисков.
2022	<ul style="list-style-type: none"> - проведены инженерно-геологические и геофизические изыскания и сейсмическое микрорайонирование г. Ашхабада (составлена карта СМР Ашхабада); - проведена вероятностная оценка сейсмической опасности города Ашхабада (на основе разработанных сценарных землетрясений) [8]; - усовершенствовано создание ГИС для анализа и оценки сейсмических рисков.
2023	<ul style="list-style-type: none"> - завершена паспортизация зданий и сооружений г. Ашхабада и подготовлен итоговый отчет по результатам проведенных работ; - проведены тренинги и семинары для сотрудников института сейсмологии и физики атмосферы АНТ и НИИСС МСиАТ и других государственных предприятий, посвященные вопросам снижения сейсмического риска.
2024	<ul style="list-style-type: none"> - проведена количественная оценка сейсмического риска (составлена карта сейсмического риска пилотного участка территории г. Ашхабада); - созданы первые в стране в ИСиФА АНТ цифровые ГИС-платформы [7] ASTERHAZ (для оценки опасностей) и ASTERRISK (для оценки рисков); - проведено детальное картирование сейсмической опасности и картирование активных разломов, а также сейсмомикрорайонирование территории г. Ашхабада; - ИСиФА передано современное научное оборудование и программное обеспечение для мониторинга сейсмических событий в реальном времени; - специализированное обучение прошли более 100 национальных специалистов, проведено более 10 тренингов; - разработаны учебные материалы: учебное пособие «Сейсмический риск» [8] и трехязычный терминологический словарь [3]; - подготовлены: «Руководство по готовности к землетрясениям для ключевых министерств» [6] и «Руководство по осуществлению деятельности в направлении снижения сейсмической уязвимости и риска на основе фактической сейсмостойкости зданий и сооружений»; - в ИСиФА создан централизованный центр обработки сейсмических данных в реальном времени; - разработан проект нового закона «Сейсмическая безопасность территории Туркменистана» для укрепления законодательной базы страны; - разработана Шкала сейсмической интенсивности Туркменистана (ШСИТ-2024) [5].

Совместный проект Правительства Туркменистана и ПРООН «Укрепление национального потенциала Туркменистана по оценке сейсмических рисков, предупреждению и реагированию на потенциальные землетрясения», продемонстрировал комплексные результаты, охватывающие все существенные элементы уменьшения опасности бедствий. В сфере анализа рисков, в Туркменистане впервые были спроектированы и введены в эксплуатацию геоинформационные системы ASTERHAZ и ASTERRISK, разработаны карты сейсмического микрорайонирования для территории г. Ашхабада,

проведена экспертная оценка уязвимости застройки и инфраструктуры, выполнена оценка сейсмического риска. Созданы методические указания по обеспечению готовности к землетрясениям для ключевых министерств и ведомств. В области нормативного регулирования разработан проект Закона «О сейсмической безопасности», что создает прочный фундамент для укрепления национального законодательства в сфере уменьшения рисков бедствий. Существенное внимание уделялось наращиванию потенциала: Институт сейсмологии и физики атмосферы Академии наук Туркменистана оснащен современным научным оборудованием и программным обеспечением, более ста национальных специалистов прошли специализированное обучение, разработаны уникальные учебные материалы, включая трехязычный терминологический словарь и учебное пособие по оценке сейсмического риска. Полученные результаты могут быть использованы в других странах Центральной Азии, для которых характерны схожие геологические условия и проблемы в области управления рисками.

Литература

1. Абасеев С.С. и др. Национальная карта сейсмического районирования территории Туркменистана (НКСРТ-2016), масштаб 1:1 000 000. - Отчет о НИР. ИСиФА АНТ. – Ашхабад. - 2016. 103 с.
2. Абасеев С.С. Национальная карта общего сейсмического районирования Туркменистана. Материалы Международной научной конференции «Наука, техника и инновационные технологии в эпоху могущества и счастья». Изд-во Ылым. Ашхабад - 2017. 1 том. С.194-196.
3. Бегенджов Г. Англо-русско-туркменский словарь терминов по геологии, геофизики и сейсмологии. Изд-во «Ылым». Ашхабад. – 2024. с. 220.
4. Государственный комитет Туркменистана по статистике (ТуркменСтат) <https://www.stat.gov.tm> (дата обращения 02.11.2025 г.)
5. Изюмов С.Ф., Агаева Л.А. Разработка Шкалы сейсмической интенсивности Туркменистана. Отчет о НИР. Фонды НИИСС МСиАТ. Ашхабад. 2024. 85с.
6. Мавлянова Н.Г., Агаева Л.А. Отчет по техническому заданию «Руководство по обеспечению готовности к сильным землетрясениям, реагированию при чрезвычайных ситуациях, ликвидации последствий и восстановлению инфраструктуры после стихийного бедствия на территории Туркменистана», Фонды ИСиФА АНТ. Ашхабад. - 2024. -82 с.
7. Тягунов С.А. Отчет по техническому заданию: «Определение сейсмической уязвимости для каждой из репрезентативных категорий зданий г. Ашхабада», Фонды ИСиФА АНТ. - Берлин-Ашхабад, 2021. - 76 с.
8. Тягунов С.А. Сейсмический риск. Учебное пособие. Изд-во «Ылым». Ашхабад - 2024. - 311с.
9. Project UNDP «Strengthening National Capacity for Seismic Risk Assessment, Prevention and Response to Potential Earthquakes» <https://www.undp.org/turkmenistan/projects/strengthening-national-capacity-seismic-risk-assessment-prevention-and-response-potential-earthquakes> (последнее обращение 20.11.2025)

ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ ПОДХОД ДЛЯ ОЦЕНКИ ВЛИЯНИЯ УГЛЕВОДОРОДНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПЕСЧАНЫХ ГРУНТОВ НА ИХ ДЕФОРМИРОВАНИЕ ПРИ МНОГОКРАТНО ПОВТОРНЫХ НАГРУЗКАХ

В.В. Матвеев, В.А. Королев

МГУ имени М.В. Ломоносова, 119234, Российская Федерация, г. Москва, ГСП-1, Ленинские Горы, геологический факультет, кафедра инженерной и экологической геологии
E-mail: vladimir@matveev.email

Введение

Грунты могут подвергаться попеременному уплотнению и разуплотнению вследствие циклических нагрузок, возникающих как в природе, так и при ведении хозяйственной деятельности [5]. Подобные нагрузки могут быть как природного характера, так и техногенного. Примером сооружений, вызывающих циклические нагрузки, могут служить нефтехранилища (амплитуды напряжений до 130–290 кПа в зависимости от плотности продукта, частота более 3,2 мГц для циклически нагружаемых резервуаров и менее 3,2 мГц для статически нагружаемых резервуаров) [6, 18, 20], при этом для таких сооружений до половины аварий происходит по причине недопустимо больших и неравномерных осадок грунтового основания [4]. Аварии на резервуарах могут приводить к утечкам нефтепродуктов, а как следствие - к серьезным экологическим последствиям [1, 8, 10, 14].

Загрязнитель рассматривается как вещественно-энергетический компонент, попадающий в среду техногенным путем и оказывающий вредное токсическое действие на биоту [13]. С эколого-геологической точки зрения опасность углеводородного загрязнения дисперсных, в том числе песчаных, грунтов состоит в нарушении динамического равновесия в сложившихся эколого-геологических комплексах, при этом из дисперсных грунтов наибольшему загрязнению подвергаются именно песчаные грунты [7].

Исследование физико-механических процессов в песчаных грунтах, загрязнённых нефтепродуктами, сопряжено с методическими сложностями, обусловленными вариативностью химического состава нефтепродуктов, температурной зависимостью вязкости нефтепродуктов, а также влиянием минерального состава песка на интенсивность физико-химического взаимодействия между нефтепродуктами и твёрдой фазой грунта [9, 17]. Согласно данным В.А. Королёва, нефть способна проникать сквозь плёнки связанной воды и адсорбироваться на поверхности минеральных частиц. Это взаимодействие приводит к формированию гидрофобных оболочек вокруг частиц грунта и их последующему агрегированию, что подтверждается микроскопическими исследованиями [9, 11].

Большое количество работ посвящено изучению как влияния нефтепродуктов на физико-механические свойства песков [3, 9], так и закономерностям циклического уплотнения-разуплотнения грунтов [2, 15, 16, 19, 21, 22]. Однако, исследований деформируемости песков, загрязнённых нефтепродуктами и подвергающихся циклическому уплотнению-разуплотнению, почти не проводилось [16]. Поэтому целью настоящего исследования являлось выявление особенностей и закономерностей механического поведения песчаных грунтов, загрязнённых углеводородами, при их компрессии-декомпрессии в режиме гармонического нагружения на основе термодинамики, позволяющей установить энергетические закономерности этого процесса [12].

Характеристика исследуемых грунтов

Объектом экспериментальных исследований являлись модельные песчаные грунты. Исходным материалом служил песок аллювиального генезиса. Минеральный состав песчаных фракций преимущественно кварцевый, частицы имеют среднюю степень окатанности. Модельные образцы изготовлены путем смешивания в определенных пропорциях фракций с размером частиц от 0,01 мм до 5 мм, распределение размера частиц задавалось как усеченное логнормальное (Таблица). Образцы формировались непосредственно в одометре с заданным коэффициентом пористости, соот-

ветствующем степени плотности I_D равной 90% (коэффициент пористости 0,57 д. е.), как в воздушно-сухом состоянии, так и в насыщенном флюидом до влажности свободного стекания под действием силы тяжести. В качестве флюида использовалась дистиллированная вода (влажность образца в этом случае составляла 19,8%) и смесь легких углеводородов (n -алканов с числом атомов от C_8 до C_{15} , изопарафинов, нафтенов и циклических углеводородов), плотность смеси 0,790 г/см³ при температуре 21,6 °С.

Заданные параметры и показатели модельных грунтов		<i>Таблица</i>
Заданные параметры и показатели		Модельный грунт
Гранулометрический состав, %	> 2 мм	—
	1–2 мм	0,1
	0,5–1 мм	15,7
	0,25–0,5 мм	68,3
	0,1–0,25 мм	15,9
	< 0,1 мм	—
Коэффициент неоднородности C_u	1,7	
Степень плотности I_D	0,90	
Коэффициент пористости e , д. е.	0,57	
Разновидность грунта по ГОСТ 25100-2020	песок ср. круп. одн.	

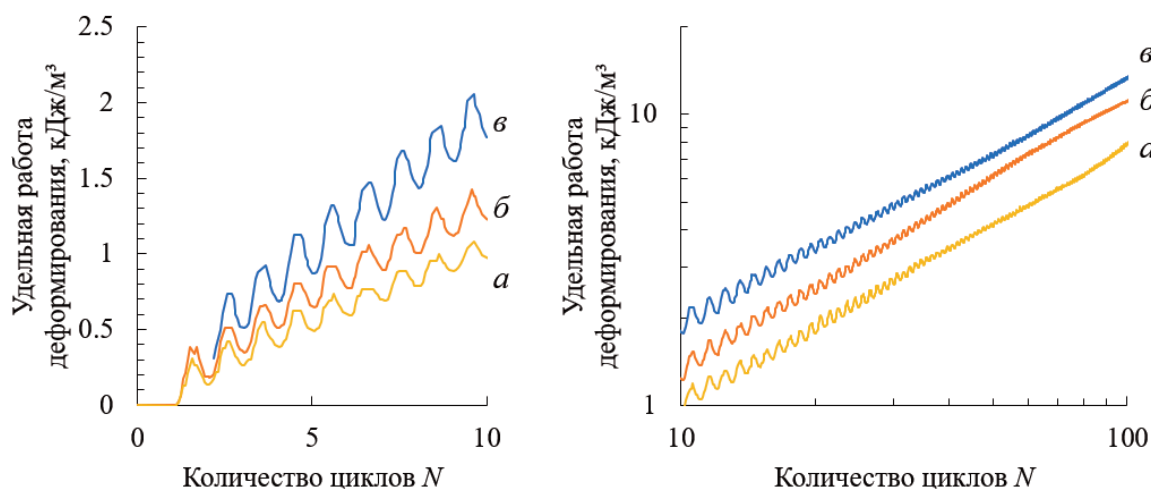


Рис. 1. Зависимость удельной работы деформирования от количества циклов нагружения для испытанных модельных песков: в воздушно-сухом состоянии (а), при насыщении углеводородами (б) и водой (в)

Методика исследований

Изучение деформационных свойств образцов песчаных грунтов проводилось в ходе циклических компрессионных испытаний в режиме гармонического нагружения с амплитудой вертикальных напряжений 200 кПа, частотой 0,015 Гц, напряжением предконсолидации 225 кПа и консолидации 25 кПа. Для данного исследования нами была собрана специальная установка на базе модулей производства ООО «НПП ГеоТек» (Пенза) и разработан управляющий алгоритм в среде ПО «Geotek Studio». Установка состоит из нагрузочной рамы с шаговыми двигателями, датчиками силы и деформаций, одометра диаметром 71,4 мм и высотой 20 мм.

Обработка результатов испытаний проводилась путем оценки величины работы деформации (A), определяемой как $\int \sigma d\epsilon$, и комплементарной работы (A^*) определяемой как $\int \epsilon d\sigma$, где σ – вертикальное

напряжение, ε – относительная деформация, для описания механического поведения грунтов, что весьма удобно, поскольку величина работы уплотнения позволяет одним интегральным значением этого параметра охарактеризовать деформируемость при любом количестве циклов.

Результаты

Пески в воздушно-сухом состоянии, при насыщении водой и углеводородами характеризовались суммарной работой деформирования за 100 циклов: 8,1, 11,2 и 13,6 кДж/м³ соответственно (рис. 1) и комплементарной работой за 100 циклов –6,4, –9,5 и –10,8 кДж/м³, соответственно. При этом чем ниже суммарная работа деформирования, тем ниже амплитуда колебаний удельной работы в цикле. Зависимость суммарной работы деформирования от количества циклов в интервале с десятого по сотый цикл аппроксимируется степенной функцией с коэффициентом детерминации более 0,99, что может быть использовано для экстраполяции зависимости в целях прогноза осадок.

Заключение

Таким образом, анализ полученных экспериментальных данных позволяет выявлять закономерности уплотнения-разуплотнения в песчаных грунтах, загрязненных углеводородами, а также давать количественную сравнительную характеристику деформационных свойств исследуемых грунтов с использованием интегральных параметров, отражающих весь нелинейный процесс деформирования во всем интервале действующих напряжений. Впервые установлено, что наличие углеводородного загрязнения существенно влияет на деформационное поведение песка, загрязненного углеводородами при циклическом уплотнении-разуплотнении, увеличивая суммарную удельную работу деформирования грунта. Практическое значение результатов данных исследований заключается в возможности на их основе планировать деформационное поведение песков, загрязненных углеводородами, при циклических механических воздействиях уплотнения-разуплотнения.

Литература

1. Абелев М.Ю. Особенности строительства сооружений на насыщенных нефтепродуктами мелкозернистых песках / М. Ю. Абелев, Б.К. Абильдин, Д.Ю. Чунюк // *Промышленное и гражданское строительство*. – 2022. – № 8. – С. 41-47. – DOI 10.33622/0869-7019.2022.08.41-47. – EDN DXFRTE.
2. Акбулякова Е.Н., Казаринова К.А., Телепова Е.Д. Анализ влияния циклического нагружения на осадку глинистого основания резервуара // *Вестник МГСУ*. 2025. Т. 20. Вып. 8. С. 1211–1220.
3. Аль-Адили А., Йали К., Шакир А. Исследование влияния загрязнения нефтью песчаного и гипсосодержащего грунтов на прочность // *Основания, фундаменты и механика грунтов*. 2017. № 4. С. 30–35.
4. Васильев Г.Г. Анализ причин аварий вертикальных стальных резервуаров / Г. Г. Васильев, А. П. Сальников // *Нефтяное хозяйство*. – 2015. – № 2. – С. 106-108. – EDN TJFVMX.
5. Вознесенский Е.А. Поведение грунтов при динамических нагрузках Учеб. пособие для студентов геол. спец. вузов / Е.А. Вознесенский. — М.: Изд-во МГУ, 1997. — 287 с. ил.; 22.
6. ГОСТ 31385-2016 Резервуары вертикальные цилиндрические стальные для нефти и нефтепродуктов. Общие технические условия.
7. Григорьева И.Ю. Эколого-геологические аспекты влияния углеводородного загрязнения на свойства песчаных грунтов / И.Ю. Григорьева // *Инженерно-геологическое и эколого-геологическое изучение песков и песчаных массивов: Труды Международной научной конференции, Москва, 27–28 сентября 2018 года / Под редакцией В.Т. Трофимова, В.А.Королева*. – Москва: ООО «СамПринт», 2018. – С. 218-222. – EDN XWDHZZ.
8. Иванов Ю.К., Коновалов П.А., Мангушев Р.А., Сотников С.Н. *Основания и фундаменты резервуаров*, 1989. 226 с.
9. Кващук А.В. Влияние загрязнения песчаных грунтов нефтепродуктами на состояние оснований и сооружений. Диссертация. Санкт-Петербург, 2025

10. Коновалов П.А., Мангушев Р.А., Сотников С.Н., Землянский А.А., Тарасенко А.А. *Фундаменты стальных резервуаров и деформации их оснований* / Научное издание: — М.: Издательство Ассоциации строительных вузов, 2009.
11. Королев В.А. *Очистка грунтов от загрязнений*. М.: Наука/Интерпериодика, 2001. 364 с.
12. Королёв В.А. *Термодинамика грунтов* / Учебник. — М.: ООО Сам полиграфист, 2016. — 258 с.
13. Королев В.А. *Очистка и восстановление геологической среды* / Учебное пособие для вузов - М.: ООО Сампринт, 2019 — 430 с., ил., таб. ISBN 978-5-00077-828-9
14. Макулов, Р.Р. Обзор факторов аварийной деструкции РВС / Р. Р. Макулов, Е. А. Гостенова // *Аллея науки*. — 2021. — Т. 1, № 10(61). — С. 761-766. — EDN APEBRG.
15. Орлов Е.А., Мирный А.Ю. Влияние минерального состава на деформирование монофракционных песчаных грунтов в условиях невозможности бокового расширения // *Грунтоведение*. — 2025. — № 1(24). — С. 27-34. — DOI 10.53278/2306-9139-2025-1-24-27-35. — EDN KCQMJP.
16. *Песчаные грунты России: в 2-х томах. Том 1* / Под ред. В.Т. Трофимова / В.Т. Трофимов, В.А. Королёв, С.Д. Балыкова и др. — М.: Изд. Моск. ун-та, 2021. — 394 с.
17. Саркисов Г.А. *Оценка влияния углеводородного загрязнения на термодинамическое состояние воды в дисперсных грунтах в связи с вопросами фиторемедиации* — Автореф. дисс... канд. г.-м.н. МГУ, 2019.-22 с.
18. СП 108.13330.2012 *Предприятия, здания и сооружения по хранению и переработке зерна*.
19. Butterfield, Roy. (2011). *An Improved Model of Soil Response to Load, Unload and Re-Load Cycles in an Oedometer*. *Soils and Foundations Tokyo*. 51. 253-263.
20. Dogaru, P. & Ciortan, R. (2024). *Port silo foundations on piles under vertical cyclic stresses*.
21. Khoshghalb A., Li J., Shahbodagh B., *One-dimensional cyclic loading tests on saturated and unsaturated sand-clay mixtures*. *E3S Web of Conf*. 382 03008 (2023)
22. Suddeepong A., Chai J., Shen S., Carter J. *Deformation behaviour of clay under repeated one-dimensional unloading–reloading*. (2015) *Canadian Geotechnical Journal*. 52(8): 1035–1044.

МЕТОДИКА ВЫЯВЛЕНИЯ ТЕПЛОВЫХ АНОМАЛИЙ ПО ДАННЫМ LANDSAT В ГОРНОПРОМЫШЛЕННЫХ РАЙОНАХ (НА ПРИМЕРЕ МЕСТОРОЖДЕНИЯ АЛМАЗОВ ИМ. ГРИБА)

Е.В. Полякова^{1,2}, А.Л. Минеев¹, Ю.Г. Кутинов¹, З.Б. Чистова¹

¹ФГБУН Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики им. академика Н.П. Лаверова
УрО РАН, 163020, г. Архангельск, пр. Никольский, 20
E-mail: lenpo26@yandex.ru

²Институт космических исследований РАН, 117997, г. Москва, ул. Профсоюзная, 84/32

Методологическая основа исследования базируется на современных возможностях дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ). Использование данных спутниковой съемки Landsat для оценки температурных аномалий доказало свою эффективность в многочисленных исследованиях. Как показано в работе [7], данные о температуре земной поверхности (Land Surface Temperature, LST) позволяют надежно выявлять тепловые аномалии техногенного происхождения.

На 5-10% территории Европейского Севера отмечается аномально высокий конвективный тепловой поток (КТП), достигающий десятков Вт/м² [3]. Величина КТП зависит от строения земной коры – мощности осадочного чехла, наличия разломов, где проявляется неоднородность многих геофизических параметров [4]. Месторождение им. Гриба находится на периферии Зимнебережного узла, где отмечается зона повышенных значений КТП.

Выбор данных спутниковой съемки Landsat обусловлен следующими преимуществами:

- Оптимальное пространственное разрешение (30 метров для мультиспектральных и 100 метров для тепловых каналов, с пересчетом на 30 метров), которое является достаточным для детектирования точечных промышленных объектов и анализа прилегающих территорий.

- Доступность длительных временных серий, что критически важно для многолетнего мониторинга и выявления устойчивых трендов.

- Наличие стандартизированных продуктов высокого уровня обработки, таких как данные поверхностной температуры (LST) и отражательной способности, что обеспечивает сопоставимость результатов. Как подчеркивается в работе [5], значения LST, восстановленные по данным Landsat с помощью различных алгоритмов, могут существенно отличаться друг от друга. Поэтому в данном исследовании было решено использовать готовые продукты LST для воспроизводимости анализа.

Тепловые аномалии лучше детектируются на фоне низких фоновых температур. В условиях Архангельской области наиболее репрезентативные данные за холодный период были получены в

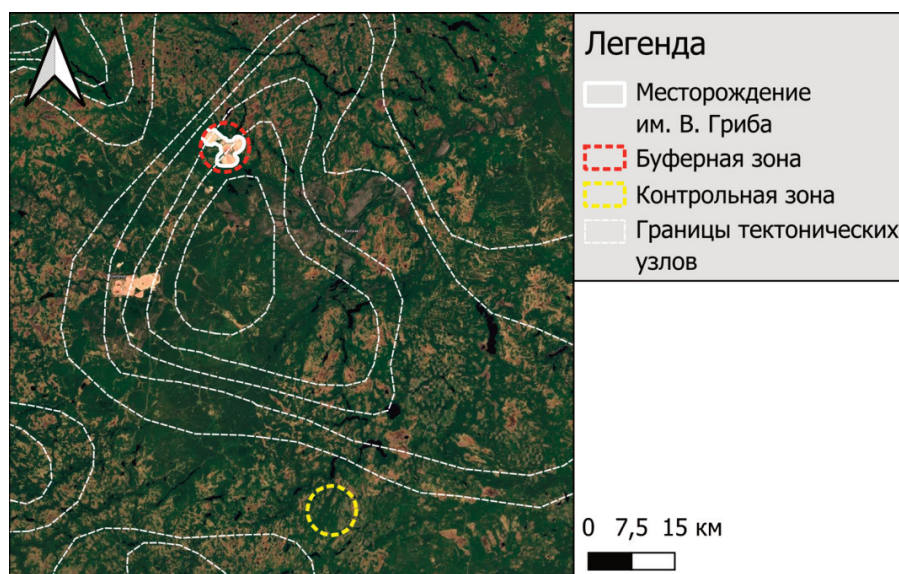


Рис. 1. Месторасположение зон интересов

марте, который характеризуется устойчивыми отрицательными температурами и наличием снежного покрова.

Для выявления статистически значимых тепловых аномалий, связанных с горнодобывающей деятельностью, был применен метод Z-Score (метод стандартной оценки). Данный метод, успешно апробированный в работах Горного В.И. с соавторами [1-2] для мониторинга промышленных объектов, позволяет количественно оценить отклонение температуры в каждом пикселе от фонового значения.

Процедура расчета включала:

1) Определение зон интереса. Вокруг территории месторождения была создана круговая буферная зона диаметром 10 км. Данный диаметр был выбран эмпирически, чтобы охватить потенциальную зону непосредственного теплового влияния, превышающую территорию самого месторождения, но при этом оставаться в пределах разумного расстояния для точечного источника (карьера). Контрольная (фоновая) зона такого же диаметра была расположена за пределами тектонического узла, что отобразено на рисунке 1.

2) Расчет Z-Score. Для каждого зимнего снимка (март) рассчитывался Z-Score для каждого пикселя в буферной зоне по формуле:

$$Z = T_p - \frac{\mu_c}{\sigma_c},$$

где T_p – температура в конкретном пикселе буферной зоны; μ_c – средняя температура в контрольной зоне; σ_c – стандартное отклонение температуры в контрольной зоне, характеризующее естественную пространственную вариабельность фоновой температуры.

Суть метода Z-Score заключается в том, что он показывает, на сколько стандартных отклонений температура в данном пикселе отклоняется от среднего фонового значения. Это позволяет перевести абсолютные значения температуры в универсальную шкалу статистической значимости. Данная процедура выполнялась средствами ГИС-пакета SAGA GIS.



Рис. 2. Динамика максимальной интенсивности тепловых аномалий

3) Интерпретация результатов. Пиксели со значением $Z > 2$ классифицировались как статистически значимые положительные тепловые аномалии. Порог $Z > 2$ был выбран в соответствии с общепринятыми статистическими критериями. В нормальном распределении данных значение Z-Score, превышающее 2, соответствует области, где находится примерно 5% наиболее маловероятных значений. Таким образом, принятие данного порога означает, что с уверенностью 95% можно утверждать, что температура в пикселях со значениями $Z > 2$ не является частью фонового распределения и представляет собой аномалию. Уровень значимости в 5% ($p < 0,05$) является стандартным для большинства научных и прикладных исследований в области экологии [6].

Статистический анализ с применением метода Z-Score был проведен для количественной оценки значимости выявленных аномалий. Количественная оценка интенсивности аномалий была проведена по максимальному значению Z-Score, зафиксированному на территории месторождения в каждый год наблюдений (с 2014 по 2023 гг., за исключением 2016 и 2019 годов, отсутствующих по технической причине). Полученные данные, приведенные на рисунке 2, демонстрируют значительную межгодовую изменчивость интенсивности теплового воздействия. Особого внимания заслуживают экстремально высокие значения в 2018 году, которые могут быть связаны с метеорологическими условиями, способствовавшими максимальному контрасту между месторождением и фоновой территорией.

Таким образом, анализ данных о температуре земной поверхности подтвердил наличие устойчивых тепловых аномалий, связанных с горнодобывающей деятельностью.

Исследование проведено в ходе выполнения государственного задания ФГБУН ФИЦКИА УрО РАН № гос. регистрации № 125022502869-4.

Литература

1. Горный В.И., Киселев А.В., Крицук С.Г., Латыпов И.Ш., Тронин А.А. Спутниковое картирование тепловой реакции подстилающей поверхности Северной Евразии на изменение климата // *Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса*, 2021. Т. 18. №. 6. С. 155-64. DOI: 10.21046/2070-7401-2021-18-6-155-164
2. Горный В.И., Крицук С.Г., Латыпов И.Ш., Тронин А.А. Оценка теплотерьер атомных электростанций по материалам тепловой космической съемки // *Теплоэффективные технологии. Информ. бюл.*, 1998. №. 1-2. С. 47–55.
3. Горный В.И., Теплякова Т.Е. О влиянии эндогенного тепла земли на формирование в бореальной зоне локальных ареалов неморальной растительности // *Доклады АН*, 2001. Т. 378. № 5. С. 679-680
4. Горный В.И., Шилин Б.В., Ясински Г.И. *Тепловая аэрокосмическая съемка*. М.: Изд-во «Недра», 1993. 220 с.
5. Мамаш Е.А., Пестунов И.А., Кудряшова С.Я., Чумбаев А.С. Валидация значений температуры земной поверхности, вычисляемых по данным радиометра TIRS/Landsat-8, и их использование для анализа температурного режима орошаемых и посторошаемых почв Чуйской межгорной котловины (Республика Алтай) // *Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса*, 2025. Т. 22. №. 1. С. 9-25. DOI: 10.21046/2070-7401-2025-22-1-9-25
6. Kato S., Yamaguchi Y. Analysis of urban heat-island effect using ASTER and ETM+ Data: Separation of anthropogenic heat discharge and natural heat radiation from sensible heat flux // *Remote Sensing of Environment*, 2005. V. 99. No. 1-2. P. 44-54. DOI: 10.1016/J.RSE.2005.04.026
7. Weng Q., Lu D., Schubring J. Estimation of land surface temperature-vegetation abundance relationship for urban heat island studies // *Remote sensing of Environment*, 2004. V. 89. No. 4. P. 467-483. DOI: 10.1016/J.RSE.2003.11.005

РАЗРАБОТКА ПРОГНОЗНОЙ ЧАСТИ ИНЖЕНЕРНО-ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИОННОЙ МОДЕЛИ МЕСТНОСТИ

В.В. Рукавицын

Российский Государственный Геологоразведочный Университет им. С.Орджоникидзе,
117997 Москва ул. Миклухо-Маклая д. 23
E-mail: rukavitsynvv@mgru.ru

В соответствии с СП 47.13330.2016 инженерная цифровая модель местности – это форма представления инженерно-топографического плана в цифровом векторно-топологическом виде для обработки (моделирования) на ЭВМ и автоматизированного решения инженерных задач; а информационная модель объекта капитального строительства – это совокупность взаимосвязанных сведений, документов и материалов об объекте в электронном виде. Такие сведения формируются на этапах инженерных изысканий, проектирования, строительства, реконструкции, капремонта, эксплуатации и сноса объекта.

Ранее их создание не являлось обязательной процедурой проектирования. Однако, в соответствии с Постановлением Правительства от 5 марта 2021 года № 331 с января 2022 года при заключении договора о подготовке проектной документации для строительства, реконструкции, капитального ремонта объекта, финансируемого с привлечением бюджетных средств, формирование и ведение информационной модели объекта становится обязательным для заказчика, застройщика, технического заказчика и эксплуатирующей организации. Исключение составляют только объекты, которые создаются в интересах обороны и безопасности государства.

Создание цифровой модели местности пока не является обязательным, но в скором времени при наметившемся тренда оно также должно стать необходимым. Также и в целом при развитии информационного моделирования строительстве в ближайшем будущем скорость проектирования и создания рабочей документации, а также их точность и гибкость, могут возрасти настолько, что хранение информации инженерных изысканий в традиционных вариантах просто не будут соответствовать современным требованиям.

Создание информационной модели местности необходимо ещё и для того, чтобы достоверно расположить объект капитального строительства, созданный в цифровой среде.

В последнее время создание информационных моделей объектов строительства становится не просто актуальной, а приобретает формат насущной необходимости. Так в соответствии с Постановлением Правительства от 5 марта 2021 года № 331 с января 2022 года при заключении договора о подготовке проектной документации для строительства, реконструкции, капитального ремонта объекта, финансируемого с привлечением бюджетных средств, формирование и ведение информационной модели объекта становится обязательным для заказчика, застройщика, технического заказчика и эксплуатирующей организации. Исключение составляют только объекты, которые создаются в интересах обороны и безопасности государства [2].

Пока речь идет только о самих объектах капитального строительства, но инженерные изыскания также должны создаваться в виде информационной модели для адекватного воссоздания самих объектов. При развитии информационного моделирования только в строительстве в ближайшем будущем скорость проектирования и создания рабочей документации, а также их точность и гибкость могут возрасти настолько, что хранение информации инженерных изысканий в текущих вариантах просто не будут соответствовать современным требованиям.

На текущий момент наиболее полный список требований к информационной модели инженерных изысканий представлен в СП 333.1325800.2020 [5]. В нем довольно детально проработана схема внесения и хранения основной информации о проекте, включающие договор на инженерные изыскания, техническое задание, программу изысканий и т.д., а также данные инженерно-геологических, инженерно-геодезических и инженерно-гидрометеорологических изысканий. Однако, что касается инженерно-экологических изысканий, то проработка методики создания такой информационной модели практически отсутствует. Согласно СП 333.1325800.2020 в модели должна содержаться информация,

отражающая: оценку состояния компонентов природной среды до начала строительства объекта; фоновые характеристики загрязнения; оценку состояния экосистем; оценка устойчивости экосистем к воздействиям и способности к восстановлению; границы зоны воздействия по основным компонентам природных условий, чувствительным к предполагаемым воздействиям (в мм); прогноз возможных изменений природной среды в зоне влияния сооружения при его строительстве и эксплуатации; рекомендации по организации природоохранных мероприятий, а также по восстановлению и оздоровлению природной среды; предложения к программе локального экологического мониторинга.

В рамках информационной модели инженерно-экологических изысканий представление этих данных было бы наиболее целесообразно в виде карт. Так можно было бы наглядно сопоставить данные модели инженерно-экологических изысканий с данными других видов изысканий, а также с цифровой моделью здания. Также это было бы удобно и с точки зрения того, что инженерно-экологические изыскания сами по себе предполагают создание ряда карт.

В частности, в СП 502.1325800.2021 [6] регламентируется разработка обзорной карты, карты фактического материала, почвенной карты, карты растительного покрова, карты местообитаний животных, ландшафтной карты, карты экологических ограничений природопользования, карты современного экологического состояния, карты прогнозируемого экологического состояния, карта предварительного расположения пунктов экологического мониторинга, карта границ зон воздействия опасных природных и природно-антропогенных процессов на экологическое состояние окружающей среды, карта защищенности грантовых вод, карта гидробиологических показателей состояния экосистем. Единообразных методик составления этих карт на текущий момент не разработано, но имеются общие пояснения, касающиеся их содержания.

При сопоставлении двух перечней требований СП 502.1325800.2021 и СП 333.1325800.2020 выявляется полное отсутствие однозначного понимания создания информационной инженерно-экологической модели.

Автором был составлен ряд цифровых моделей местности на основе на баз инженерно-экологических изысканий и наибольший интерес вызвала оценка прогнозного экологического состояния объекта. В связи с этим в работе представлены практические подходы к разработки прогнозной части инженерно-экологической информационной модели местности, которая могут быть использованы для различных объектов.

Начнем с того, что в отличии от стандартного отчета по инженерно-экологическим изысканиями, экологическая цифровая модель местности, в связи с вышесказанным, а также в соответствии с ранее опубликованными работами [3, 4], должна представлять собой набор карт, в то время как в отчете прогноз может быть сделан в виде текста без привязки к местности в качественных характеристиках. Возникает вопрос, как объединить эти подходы с минимальными издержками.

Экологическое прогнозирование может быть разделено на 3 блока: социально-экономический, в котором осуществляется прогноз антропогенных воздействий и нагрузок; геосистемный, в котором прогнозируется изменение природной среды; экологических проблем, в котором прогнозируются влияния изменений на здоровье людей, флору и фауну [1].

Такой подход к делению позволяет отталкиваться от этапа взаимодействия техногенного объекта и экосистемы.

- В качестве первого этапа можно выделить сам факт воздействия.
- В качестве второго этапа выделяется измерение в геосферах земли в результате этого воздействия.
- В качестве третьего этапа выделяются последствия для экосистемы.

В идеальном случае прогнозная карта должна строиться на основе комплексного показателя, основанного на сочетании всех трех блоков, оценивающего совокупно уязвимость территории к опасным воздействиям, виды этих воздействий и наличие объектов, потенциально подверженных этим воздействиям. Однако в реальности в случае инженерных изысканий имеют место быть ограничения по срокам реализации проекта, ограниченность в исходных данных, дефицит кадров и нехватка финансовых ресурсов на расчет таких показателей. В связи с этим в качестве прогнозных моделей может быть создана карта только по одному из блоков. При этом ретроспективных данных на этапе инженерных изысканий для проектирования объекта обычно нет, поэтому прогноз необходимо строить по другим принципам.

Обычно оценить последствия для экосистемы и человека от воздействия проектируемого объекта крайне сложно, поэтому остается создавать карты воздействия или карты последствий.

Цифровая модель местности создаётся поэтапно с планомерной детализацией (уровнем проработки). Поэтому по мере появления новых данных при последующих изысканиях в модель добавляются данные как о самих воздействиях, так и об изменениях среды, а также о возможных последствиях для экосистемы и человека.

Уровнем проработки элементов модели следует задавать минимально необходимый объем геометрических, пространственных, количественных, а также любых атрибутивных данных, необходимых для решения задач применения информационного моделирования на конкретном этапе жизненного цикла объекта строительства.

Каждый элемент экологической цифровой модели местности на разных уровнях проработки включает в себя три аспекта: уровень проработки геометрических данных, графическое отображение и уровень проработки атрибутивных данных.

Уровень проработки геометрических данных – это описание геометрических параметров элемента цифровой модели (форма, пространственное расположение, габариты, длина, ширина, высота, толщина, диаметр, площадь, объем, площадь сечения, уклон, уровень и пр.).

Графическое отображение представляет собой отображение основополагающих геометрических параметров элемента модели (внешний образ/вид, цвет и пр.).

Уровень проработки атрибутивных данных – это описание атрибутов элемента цифровой модели (маркировка, код по классификатору организации, материалы, масса, технические и технологические параметры, производитель, наименование по каталогу, артикул по каталогу и др.).

Прогнозные карты воздействий могут представлять собой инвентаризационные или инвентаризационно-оценочные карты, на основе расчетной информации или экспертных оценок. Метод экспертных оценок не формализован, но может применяться в крайнем случае (рис. 1).

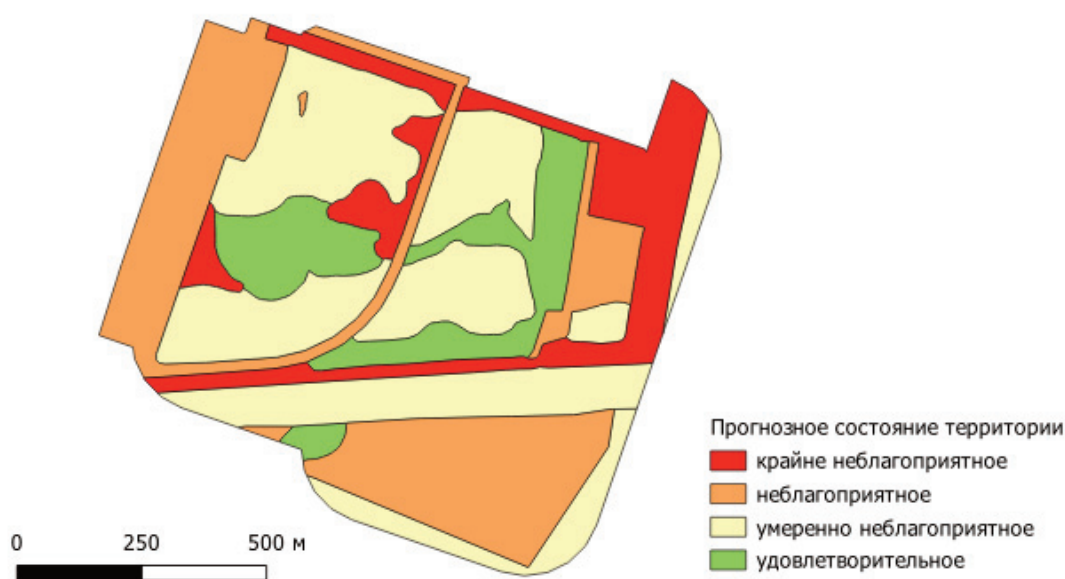


Рис. 1. Карта прогнозного состояния территории на основе метода экспертных оценок

В случае применения экспертных оценок применяется качественное моделирование, основанное на сочетании типа ландшафта по степени его уязвимости и местоположении проектируемых объектов, оказывающих на него негативные воздействия. При качественном описании прогнозных воздействий, которые часто встречаются в отчетах по инженерно-экологическим изысканиям, такой подход имеет место быть, однако не предпочтителен для создания информационной модели.

Более правильным для создания прогнозной экологической карты в информационной модели было бы использование количественных прогнозов, уточняемых и дополняемых на разных этапах жизни здания.

Прогнозная модель в таком случае делается на 4 этапа: Строительство; Эксплуатация; Проектная авария; Запроектная авария (рис. 2).

Прогнозная модель создается на основе расчетов с учетом расположения источников воздействия и расчетных контрольных точек, для которых оценивается степень изменения в геосферах.

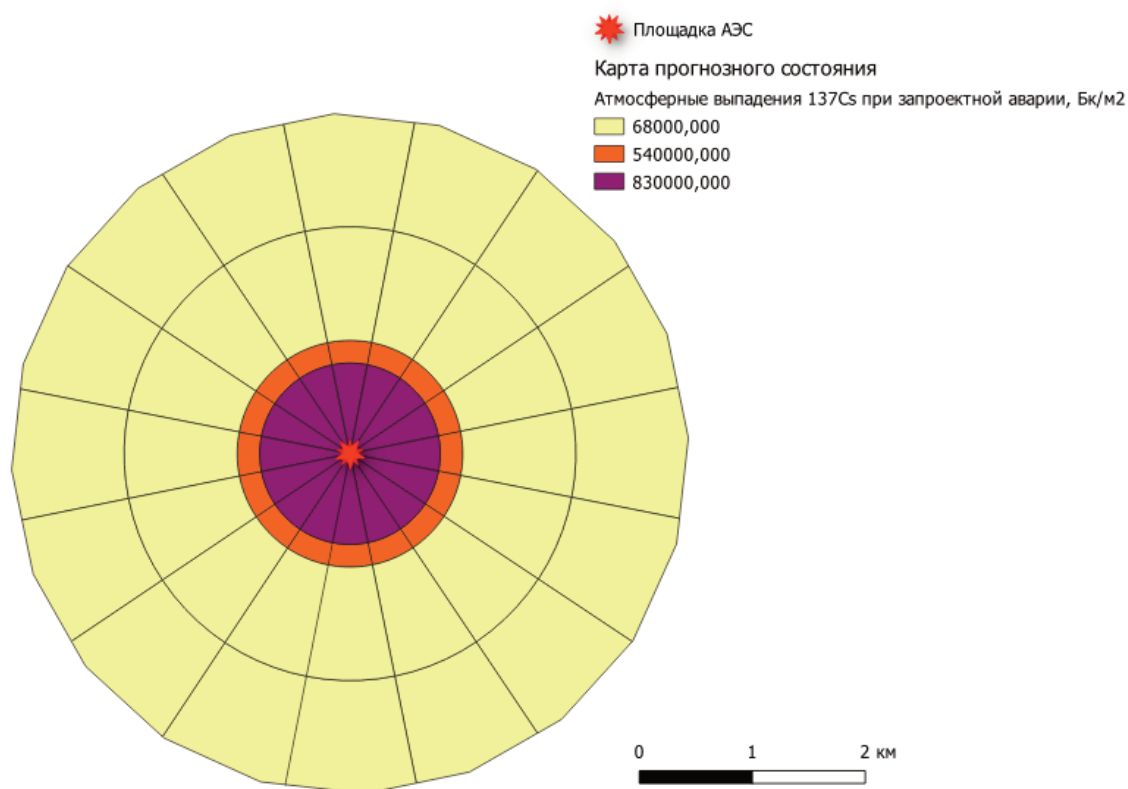


Рис. 2. Карта прогнозного состояния территории на основе расчетов атмосферных выпадений при запроектной аварии

В отличие от отчета по инженерно-экологическим изысканиям, информационная модель содержит много информации в одном сегменте карты и может менять визуализации для изучения ситуации с разных сторон. Так, при разбиении территории на сегменты (рис. 2) можно привязать оценить отдельные виды воздействий или изменений среды в каждом из них и менять визуализации в зависимости от области интересов.

Минимально возможная прогнозная экологическая модель при недостатке информации будет представлять собой инвентаризационную карту с указанием проектируемых источников различных воздействий и типов ландшафтов, отсортированных по степени деградации на момент проведения изысканий. Это будет выполнять условия нормативных документов и позволит при этом заложить базу для будущего уточнения информационной модели.

В дальнейшем необходимо развивать универсальные методологии создания прогнозной части информационно-экологической модели местности, позволяющей интегрировать разнообразные данные о состоянии природных компонентов и потенциальных рисках, возникающих при строительстве и эксплуатации объектов. Предлагаемые подходы могут быть внедрены в разрабатываемые цифровые инженерно-экологические модели местности, повысив их универсальности и применимость. Помимо этого, описанные подходы соответствуют новым законодательным требованиям, что повышает перспективность их использования.

Литература

1. Кочуров Б.И. *Геоэкология: экодиагностика и эколого-хозяйственный баланс территории* / Б.И. Кочурова. - М.: Институт географии РАН, 1999. - 86 с. 79
2. *Постановление Правительства Российской Федерации от 5 марта 2021 года N 331, «Об установлении случая, при котором застройщиком, техническим заказчиком, лицом, обеспечивающим или осуществляющим подготовку обоснования»*
3. Рукавицын В.В., Экзарьян В.Н. *Использование картографирования для создания цифровой модели инженерно-экологических изысканий* / Сергеевские чтения. *Фундаментальные и прикладные вопросы инженерной геодинамики* : Материалы годичной сессии Научного совета РАН по

проблемам геоэкологии, инженерной геологии и гидрогеологии, Москва, 30–31 марта 2023 года. Том Выпуск 24. – Москва: ГеоИнфо, 2023. – С. 315-319

4. *Рукавицын В.В., Экзарьян В.Н. Экоподоснова урбанизированных территорий как необходимый элемент территориального планирования городов / Известия высших учебных заведений. Геология и разведка. – 2024. – Т. 66, № 4. – С. 55-65.*
5. *СП 333.1325800.2020 «Информационное моделирование в строительстве. Правила формирования информационной модели объектов на различных стадиях жизненного цикла»*
6. *СП 502.1325800.2021 «Инженерно-экологические изыскания для строительства. Общие правила производства работ»*

СЕЙСМОГЕОДИНАМИКА И ГЕОТЕРМИЯ КАВКАЗСКО-АНАТОЛИЙСКОГО РЕГИОНА И ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЕ В МРАМОРНОМ МОРЕ (ТУРЦИЯ) 23 АПРЕЛЯ 2025 ГОДА

В.Б. Свалова

ИГЭ РАН, Москва 101000 Уланский пер., 13, с. 2
Геофизический институт Владикавказского научного центра РАН, г. Владикавказ
E-mail: v-svalova@mail.ru

23 апреля 2025 года в Мраморном море произошло землетрясение магнитудой $M 6,2$. Каждое новое сильное землетрясение дает дополнительную информацию о сейсмичности в регионе и позволяет уточнить прогноз и предупреждение последующих возможных разрушительных событий. Распространение сильных землетрясений вдоль Северо-Анатолийского разлома с востока на запад, имеющее определенную закономерность, делает землетрясение в Мраморном море важным звеном в этой цепочке и дает новый материал для анализа сейсмичности в окрестностях Стамбула.

Турция расположена в сейсмоопасной зоне, ее территорию пересекает активная Северо-Анатолийская зона разломов (САЗР), которая разделяет Евразийскую и Анатолийскую тектонические плиты, скользящие относительно друг друга со скоростью 2 см в год. Вдоль нее постоянно происходят землетрясения, и активность постепенно смещается все дальше на запад, в Мраморное море, в сторону Стамбула. Сегмент этой зоны, примыкающий к городу, не активизировался 250 лет.

Между 1939 и 1999 годами серия разрушительных сдвиговых землетрясений магнитудой $M7+$ распространилась на запад вдоль зоны Северо-Анатолийского разлома, начиная с землетрясения $M 7,8$ в Эрзинджане в 1939 году на восточном конце разлома и до землетрясения $M 7,4-7,6$ в Измите в 1999 году у границ Мраморного моря. [3, 6, 12, 14].

Северо-Анатолийский разлом вызвал 11 крупных землетрясений в 20 веке. Вдоль разлома сильные землетрясения происходят каждые 1-10 лет (1939, 1942, 1943, 1944, 1953, 1957, 1966, 1967, 1971, 1992, 1999) с расстоянием между гипоцентрами около 100 км в направлении с востока на запад (рис. 1, 2).

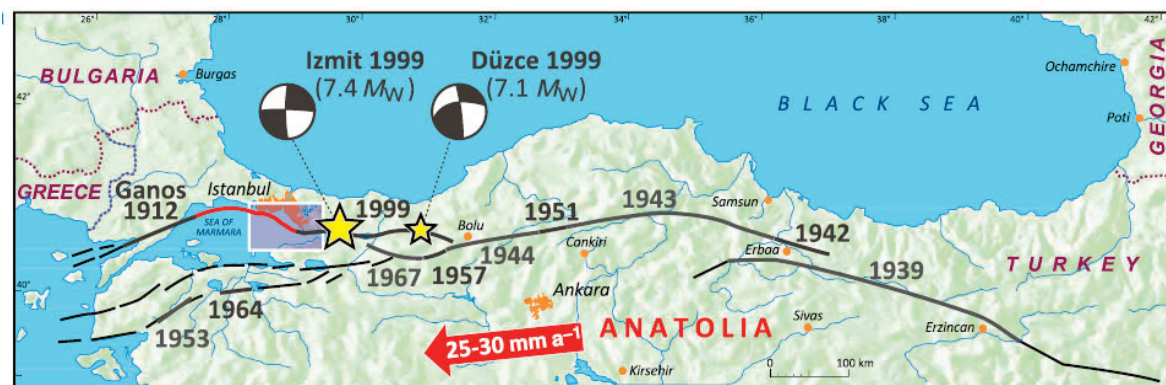


Рис. 1. Северо-Анатолийский разлом и землетрясения 1939-1999 годов [6]

Важно исследовать, как землетрясение 2025 года в Мраморном море соотносится с сильными землетрясениями вдоль Северо-Анатолийского разлома 1939-1999 годов, а также с более ранними историческими землетрясениями, которые нанесли сильные разрушения Стамбулу и вызвали большие человеческие жертвы.

Для этого необходимо детально проанализировать сейсмичность Мраморного моря, а также глубинную геодинамику и геотермию всего Анатолийско-Кавказского и окружающих регионов. Основные землетрясения в регионе Мраморного моря представлены в Таблице 1 [3] и на рисунке 3 а, б.

На восточной части Северо-Анатолийского разлома до Измита зона разлома представляет собой четко определенную морфологическую структуру, которая повторяет границу Анатолийской и Евразийской плит. Зона достаточно узкая, локализованная и фактически разделяет относительно жесткие регионы Черного моря и Центральной Анатолии.

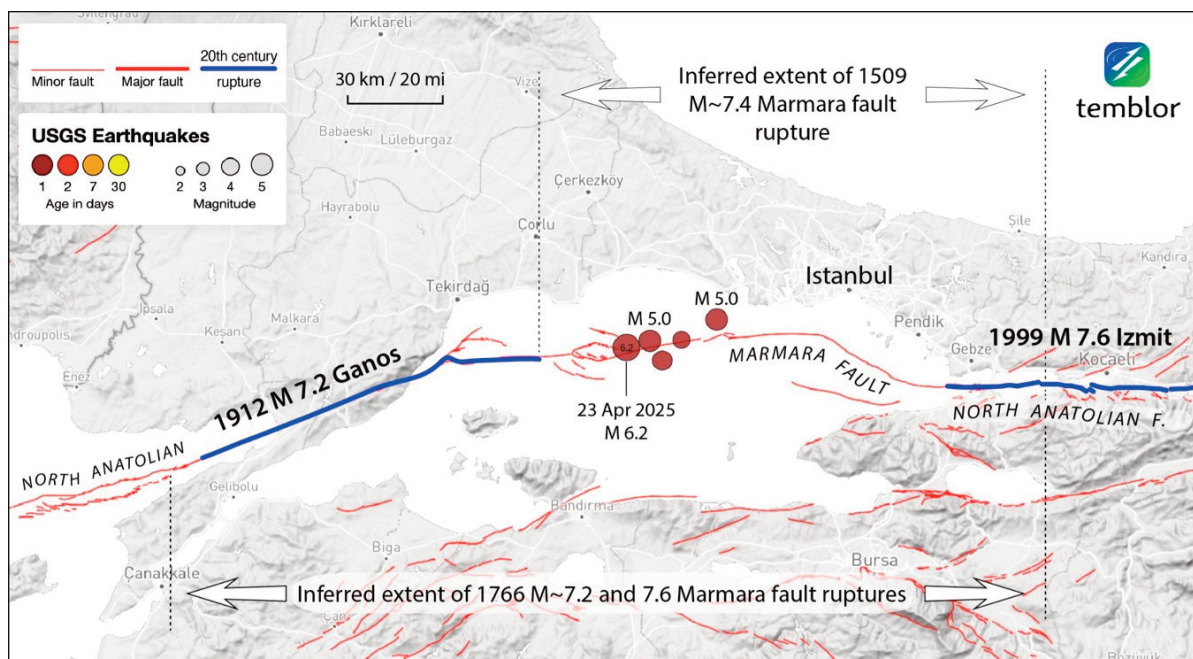


Рис. 2. Землетрясение в Мраморном море 23-4-2025 [12]

Таблица 1

Землетрясения в регионе Мраморного моря за период 1500–1999 гг. с магнитудой $M \geq 6,0$. Список является полным для землетрясений с $M \geq 6,8$, но не для более слабых событий

год	дата	время	широта	долгота	M
1509	9-10	2200	40.9	28.7	7.2
1556	5-10	2400	40.3	27.8	7.2
1719	5-25	1200	40.7	29.8	7.4
1737	3-6	0730	40.1	27.3	7.0
1754	9-2	0330	40.8	29.2	6.8
1766	5-22	0500	40.8	29.0	7.1
1766	8-5	0530	40.5	26.6	7.4
1809	2-7	0000	40.0	27.0	6.1
1826	2-8	2030	39.8	26.4	6.2
1841	10-6	0230	40.85	29.05	6.1
1850	4-19	2330	40.1	28.3	6.1
1855	2-28	0230	40.1	28.6	7.1
1855	4-11	1940	40.2	28.9	6.3
1859	8-21	1130	40.3	26.1	6.8
1860	8-22	1009	40.5	26.0	6.1
1893	2-9	1716	40.5	26.2	6.9
1894	7-10	1224	40.7	29.6	7.3
1912	8-9	0128	40.7	27.2	7.3
1912	8-10	0923	40.8	27.5	6.2
1912	9-13	2331	40.7	27.0	6.8
1935	1-4	1441	40.50	27.60	6.4
1935	1-4	1620	40.55	27.75	6.3
1943	6-20	1532	40.68	30.48	6.4
1944	10-6	0234	39.7	26.5	6.8
1953	3-18	1906	40.0	27.4	7.1
1956	2-20	2031	39.84	30.41	6.2
1957	5-26	0633	40.6	31.0	7.2
1963	9-18	1658	40.70	28.95	6.4
1964	10-6	1431	40.1	28.2	6.8
1967	7-22	1657	40.7	30.7	7.2
1975	3-27	0515	40.45	26.12	6.5
1983	7-5	1201	40.28	27.76	6.1
1999	8-17	0001	40.7	30.0	7.4

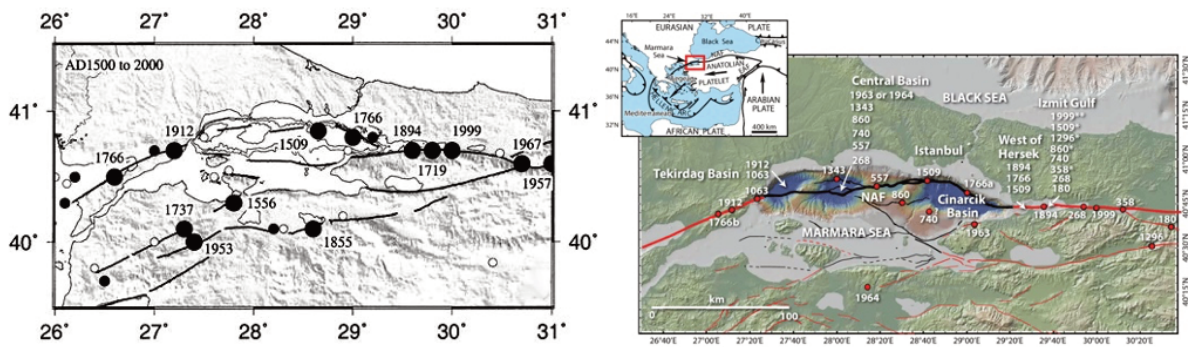


Рис. 3. (а) – землетрясения в регионе Мраморного моря за период 1500–1999 гг. с магнитудой $M \geq 6,0$. Большие черные круги – события с $M \geq 7,0$, маленькие черные круги – с $7,0 > M \geq 6,6$, а белые круги – с $6,6 > M \geq 6,0$. Только те, у которых $M \geq 7,0$, помечены датами [3]; (б) – исторические землетрясения и бассейны Мраморного моря [9]

Правосторонний сдвиг со смещением продолжается к западу от Измита, но становится распроданным по нескольким субпараллельным полосам в Мраморном море, северо-западной Турции и северной части Эгейского моря [5, 15]. Сейсмические исследования в Мраморном море выявляют множество разломов с большими нормальными компонентами [11], а землетрясения с механизмами нормальных сбросов наблюдаются вокруг его границ. Мраморное море предположительно было образовано растяжением земной коры по механизму пул-апарт (pull-apart). Исследования GPS показывают, что сдвиг с востока на запад по всей области моря составляет около 23 ± 3 мм в год [13].

Причиной продвижения землетрясений вдоль Восточно-Анатолийского разлома может служить глубинный мантийный поток, поднимающийся от границ ядра под Большой Африканский рифт (рис. 4).

Глубинные мантийные потоки распространяются на север к Кавказскому региону, где разделяются на три ветви – на запад к Анатолийской плите, на восток к Аравийской плите и на север к Евразийской плите и структуре Кавказа (рис. 5).

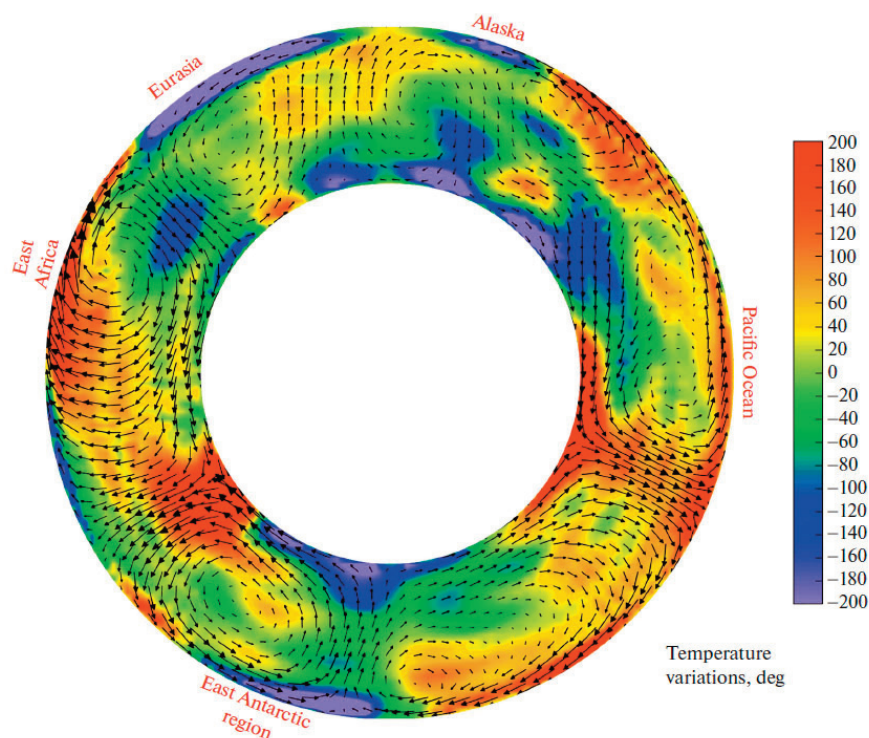


Рис. 4. Распределение аномалий температуры и скорости в мантии Земли в поперечном сечении по 40° и 220° в.д. [4]

Важным моментом является переход событий в регион Мраморного моря, что меняет геологическую обстановку вследствие уменьшения толщины коры и динамики формирования и эволюции осадочного бассейна. Замеченные особенности сейсмичности в Мраморном море способствуют решению некоторых задач прогноза и предупреждения землетрясений. Так, было за-

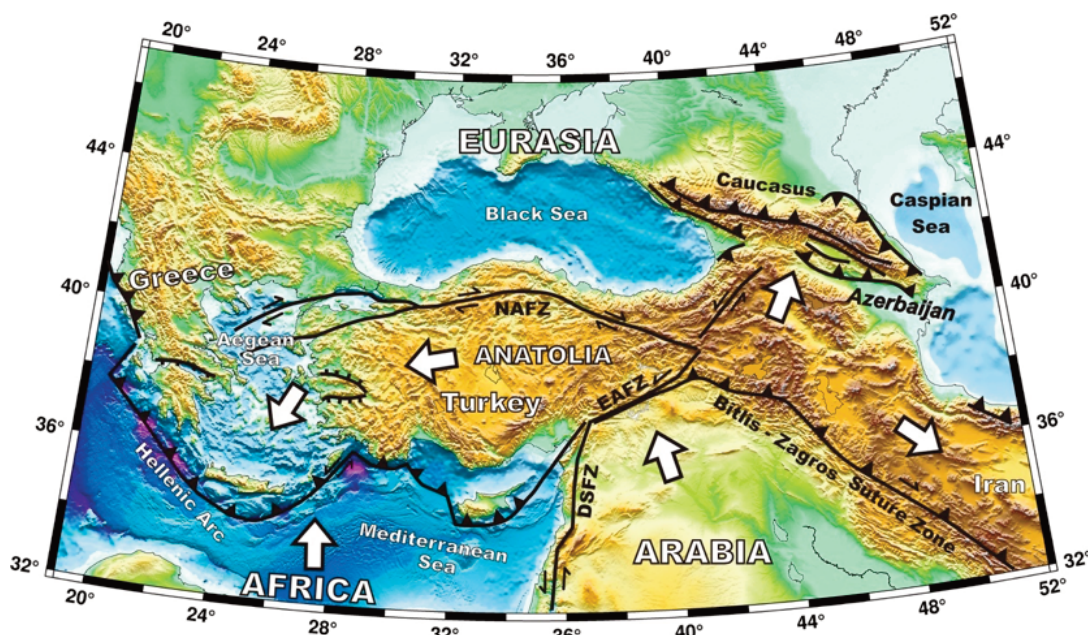


Рис. 5. Геодинамика Кавказско-Анатолийско-Аравийского региона (USGS)

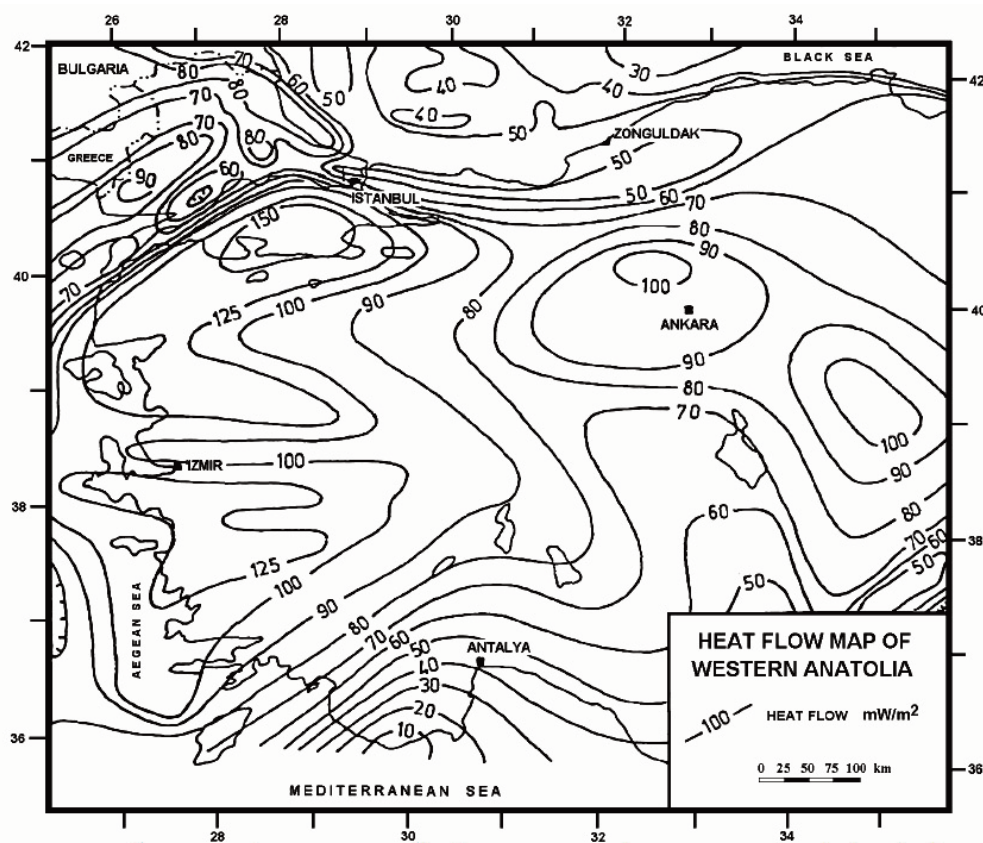


Рис. 6. Карта теплового потока западной Анатолии [8]

мечено, что длина активных элементов Северо-Анатолийского разлома в море короче, чем на суше в восточной части разлома. Землетрясения в море слабее, чем на континенте. А также существуют сейсмические окна (бреши), где землетрясения не происходят много лет. Так, часть Северо-Анатолийского разлома, примыкающая к Стамбулу, не активизировалась с 1766 года. Важным моментом анализа является то, что цепочка землетрясений вдоль Северо-Анатолийского разлома, продвигаясь на запад, перескочила город Стамбул, что хорошо укладывается в концепцию продвижения, когда предыдущим сильным землетрясением было землетрясение 1999 года

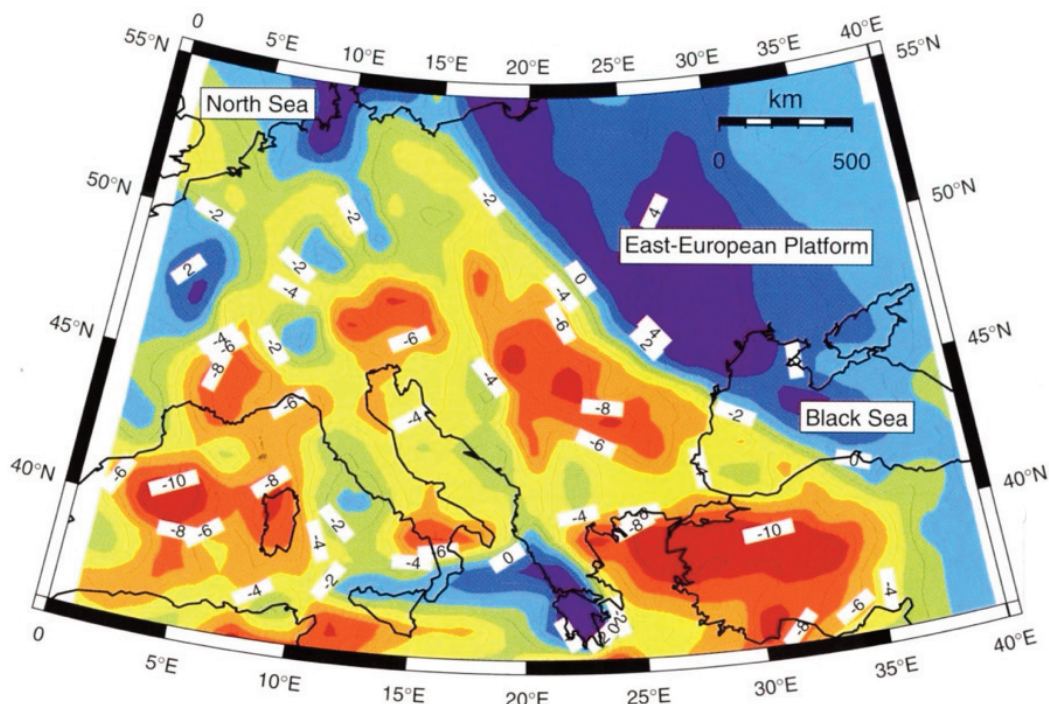


Рис. 7. Вариации скоростей сдвиговых волн (в %) под Европой на глубине 80 км. Пониженные скорости характеризуют молодую фанерозойскую Западную Европу. Высокие скорости соответствуют древней Восточно-Европейской платформе [7]

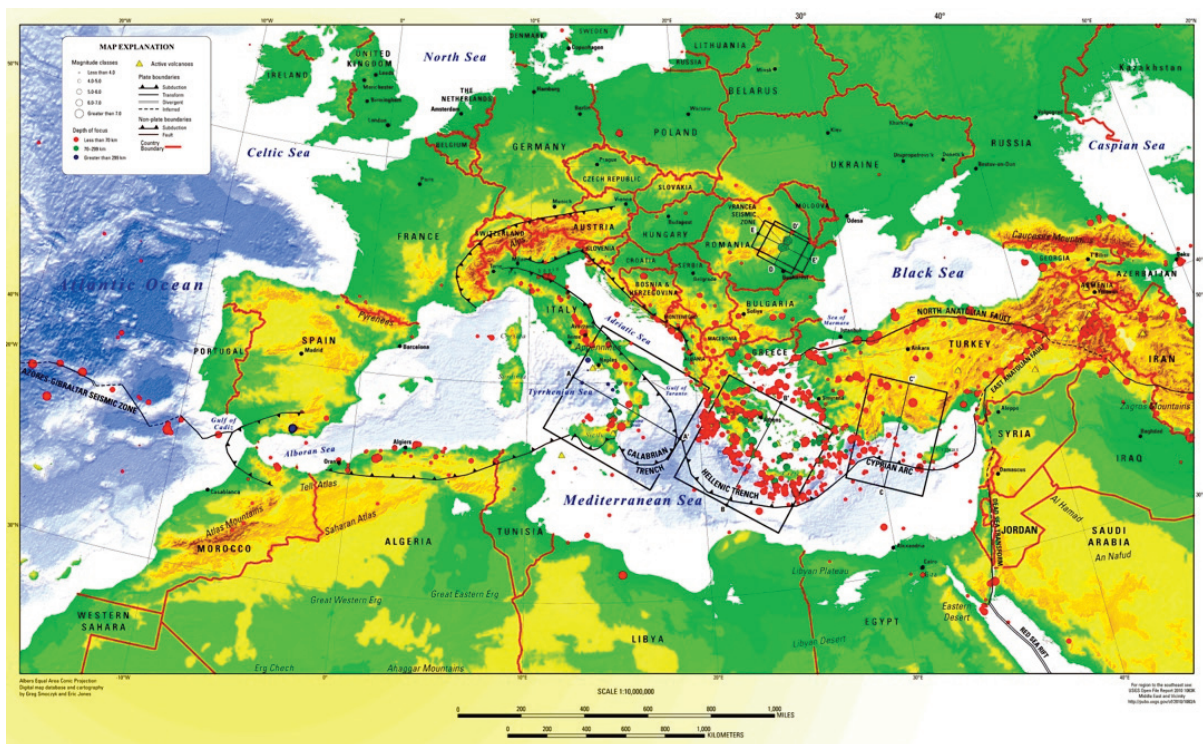


Рис. 8. Сейсмичность Средиземного моря и окружающих территорий. (USGS)

на востоке Мраморного моря. Землетрясение 2025 года имеет более низкую магнитуду 6,2 по сравнению с магнитудой 7,4-7,6 в 1999 году, что отражает переход на более тонкую кору моря с другой реологией.

Если считать, что сильные землетрясения, распространяющиеся вдоль Северо-Анатолийского разлома с востока на запад, преодолели окрестности Стамбула и продвигаются дальше на запад к Эгейскому морю, свидетелем чего может служить землетрясение 2025 года западнее Стамбула, то

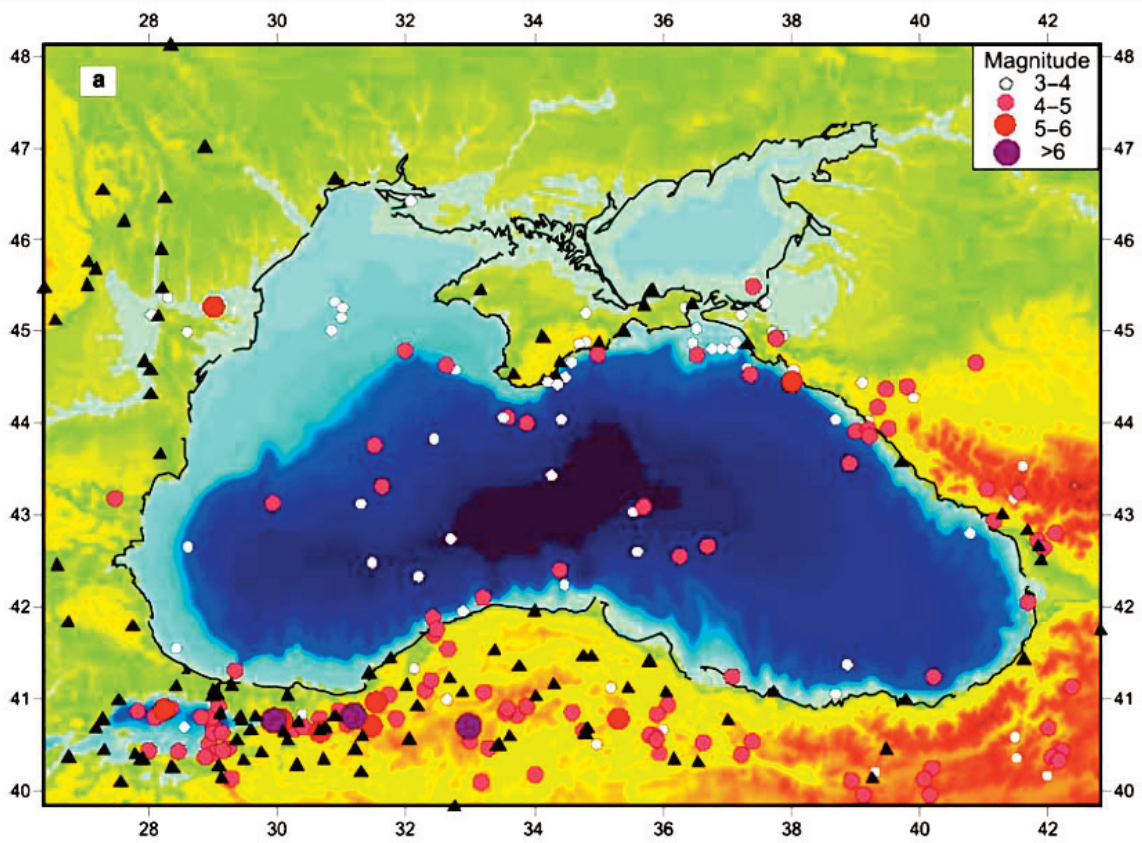


Рис. 9. Сейсмичность Черного моря (USGS)

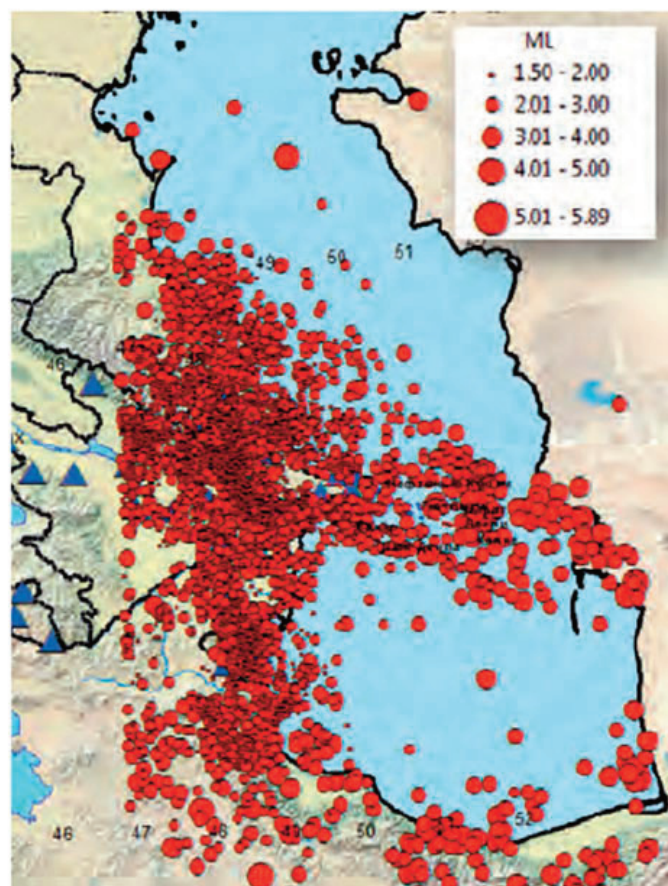


Рис. 10. Сейсмичность Каспийского моря (USGS)

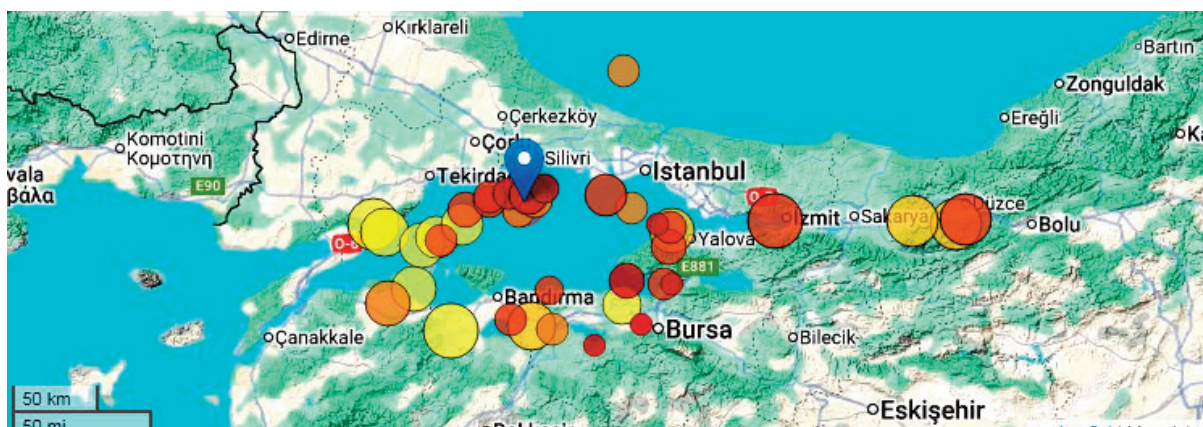


Рис. 11. Карта предшествующих землетрясений в окрестности землетрясения в Мраморном море М 6.2, 23-4-2025. Желтым отмечены более старые землетрясения, красным – более поздние

это может говорить о снижении сейсмического риска для Стамбула в ближайшее время в плане горизонтальных движений по разлому.

Исторические землетрясения 1509 и 1766 годов в окрестности Стамбула не связаны с последовательным движением землетрясений по разлому на запад, но отражают другие закономерности. Так, следует обратить внимание на то, что сейсмичность во многих осадочных бассейнах Альпийско-Гималайского и Тихоокеанского поясов концентрируется на периферии бассейнов, а наиболее глубоководная часть депрессий характеризуется пониженной сейсмичностью, а также повышенным тепловым потоком [1, 2, 10]. Эти закономерности хорошо объясняются подъемом мантийных диапиров при формировании осадочных бассейнов.

Тепловой поток в центре впадин является повышенным, а границы впадин находятся в более хрупком состоянии, подверженном землетрясениям. Более горячая среда в центре депрессий способствует снижению вязкости и меньше способствует накоплению энергии упругого напряжения для последующего землетрясения, когда достигается предел прочности пород и происходит разрядка напряжений (рис. 6-11).

Таким образом, возможны два механизма достижения предела прочности пород на глубине для формирования очага землетрясения. Это активизация сейсмогенерирующих разломов вследствие горизонтального движения литосферных плит и вертикальный подъем вещества в виде мантийных диапиров вследствие гравитационной неустойчивости. Это механизмы сочетания плит-тектоники и плюм-тектоники. Оба эти механизма реализуются в Мраморном море в окрестности Стамбула в виде активизации Северо-Анатолийского разлома при продвижении очагов землетрясений с востока на запад и в виде геотермической контрастности в литосфере на границе поднимающегося мантийного диапира у морского побережья в районе Босфора.

Причиной продвижения землетрясений вдоль Северо-Анатолийского разлома может служить глубинный мантийный поток, поднимающийся от границ ядра под Большой Африканский рифт, известный на земной поверхности как Афарский плюм.

Можно считать, что сильные землетрясения, распространяющиеся вдоль Северо-Анатолийского разлома с востока на запад, преодолели окрестности Стамбула и продвигаются дальше на запад к Эгейскому морю, свидетельством чего служит землетрясение 2025 года западнее Стамбула, что говорит о снижении сейсмического риска для Стамбула в ближайшее время в плане горизонтальных движений по разлому.

Опасность сильного землетрясения по типу продвижения вдоль Северо-Анатолийского разлома для Стамбула снижается вследствие землетрясения в Мраморном море 2025 года. В то же время опасность от возможного землетрясения по типу исторических землетрясений геотермического механизма вследствие гравитационной неустойчивости и формирования очага землетрясения у границ депрессии остается высокой. Такое землетрясение с периодом 250 лет (1509 г., 1766 г.) в окрестности Стамбула может произойти в течение ближайших нескольких лет.

Финансирование: Работа выполнена в рамках госзадания № 122022400105- 9 по теме «Прогноз, моделирование и мониторинг эндогенных и экзогенных геологических процессов для снижения уровня их негативных последствий».

Литература

1. В.Б. Свалова, В.Б. Заалишвили. Глубинная геодинамика и сейсмичность Кавказско-Анатолийского региона. *Геология и геофизика Юга России*, 14(2), 2024. С. 77-89.
2. DOI: 10.46698/VNC.2024.97.46.006
3. В.Б. Свалова, В.Б. Заалишвили. Геодинамика и геоэкология. Москва – Владикавказ: ГФИ ВНИЦ РАН, 2024. – 346 с. – ISBN 978-5-904868-29-1
4. N. N. Ambraseys , J. A. Jackson. *Seismicity of the Sea of Marmara (Turkey) since 1500*.
5. *Geophysical Journal International*, Volume 141, Issue 3, June 2000, Pages F1–F6,
6. <https://doi.org/10.1046/j.1365-246x.2000.00137.x>
7. A.A. Baranov, L.I. Lobkovskii, A.M. Bobrov. *Global Geodynamic Model of the Modern Earth and Its Application to the Antarctic Region*. // *Doklady RAS Earth Sciences*, 2023, Vol. 512, Part 1, pp. 854–858. DOI: 10.1134/S1028334X23601086
8. Barka A. & Kadinsky-Cade, K., 1988, *Strike-slip fault geometry in Turkey and its influence on earthquake activity*, *Tectonics*, 7, 663-684.
9. Marco Bohnhoff, Fatih Bulut, Georg Dresen, Peter E. Malin, Tuna Eken & Mustafa Aktar
10. *An earthquake gap south of Istanbul*. *NATURE COMMUNICATIONS* | 4:1999 | DOI: 10.1038/ncomms2999 | www.nature.com/naturecommunications 1& 2013 Macmillan Publishers
11. Gee D.G. and Zeyen H.J. (editors). *EUROPROBE 1996 - Lithosphere Dynamics: Origin and Evolution of Continents*. Uppsala University. 1996. 138 pp.
12. G. Göktürkler, M. Salk, C. Sari. *Numerical modeling of the conductive heat transfer in western Anatolia*. *Journal of the Balkan geophysical society*, Vol. 6, No. 1, 2003, p. 1 – 15.
13. Cecilia M. G. Mchugh, Leonardo Seeber, Marie-Helene Cormier, Matthew Hornbach
14. *Submarine Paleoseismology Along Populated Transform Boundaries: The Enriquillo-Plantain-Garden Fault, Canal du Sud, Haiti, and the North Anatolian Fault, Marmara Sea, Turkey*. 2014, *Oceanography*, 27(2):118-131. DOI:10.5670/oceanog.2014.47
15. McKenzie D., 1978. *Active tectonics of the Alpine-Himalayan belt: the Aegean Sea and surrounding regions*, *Geophys. J. R. astr. Soc.*, 55, 217-254.
16. Okay A.I., Demirbag E., Kurt H., Okay N. & Kuscu, I., 1999. *An active, deep marine strike-slip basin along the North Anatolian Fault, Turkey*, *Tectonics*, 18, 129-147.
17. Stein, R.S. and Sevilgen, V., 2025, *A magnitude 6.2 quake strikes the Marmara Fault at site of large historic earthquakes near Istanbul*, *Temblor*; <http://doi.org/10.32858/temblor.361>
18. Straub C., Kahle H.-G. & Schindler C., 1997. *GPS and geologic estimates of the tectonic activity in the Marmara Sea region, NW Anatolia* *J. geophys. Res.*, 102, 27 587-27 601.
19. Svalova V. *Geodynamics of the Caucasus – Anatolian-Arabian region and Turkey-Syria Earthquakes 2023*. // *Journal of Basic & Applied Sciences*, 2023, 19, 40-59.
20. Taymaz T., Jackson J. & McKenzie D., 1991. *Active tectonics of the north and central Aegean Sea*, *Geophys. J. Int.*, 106, 433-490.

ПОСТРОЕНИЕ 3D-МОДЕЛИ РЕЛЬЕФА НА ОСНОВЕ ГИС-ТЕХНОЛОГИЙ

Г.Ю. Шамсудинов, М.Б. Шмырева

ФГБОУ ВО «Сибирская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России», 662972, г. Железногорск, ул. Северная 1
E-mail: gleb.shamsudinov@mail.ru

Современный этап развития геоинформатики характеризуется переходом от статичного двумерного картографирования к динамичному трёхмерному моделированию и пространственному анализу [3]. Создание физических 3D-моделей рельефа на основе цифровых данных представляет собой актуальное направление на стыке картографии и инновационных технологий. Такие модели являются незаменимым инструментом для решения прикладных задач в области территориального планирования, мониторинга природных процессов, геоэкологического образования и визуализации сложных пространственных данных для широкого круга специалистов. Особую значимость этот подход приобретает при работе с уникальными и труднодоступными геоморфологическими объектами, к которым относится Чарская котловина.

Несмотря на широкое распространение ГИС-технологий и наличие программных решений для трёхмерной визуализации (ArcGIS Scene, QGIS 3D, специализированные плагины), в научной литературе недостаточно освещён сквозной технологический процесс – от этапа подготовки и верификации исходных растровых данных цифровой модели рельефа (далее – ЦМР) до получения оптимизированной для аддитивного производства геометрической модели. Большинство публикаций фокусируются либо на методах анализа ЦМР, либо на возможностях 3D-визуализации на экране, оставляя за рамками исследования важные этапы обработки сетки, обеспечения её пригодности для 3D-печати и адаптации под конкретные технические требования оборудования.

В данной работе на конкретном примере Чарской котловины последовательно рассматривается весь технологический процесс. Внимание уделяется не только классическим этапам ГИС-обработки, таким как оценка пригодности открытых данных ЦМР для конкретной территории и их предварительная обработка, но и ключевым, но часто опускаемым в литературе, операциям. Речь идёт о трансформации двумерного растра в трёхмерную полигональную сетку (3D-меш) с использованием специализированного плагина (в данном случае DEMto3D для QGIS), где критически важными являются выбор параметров вертикального преувеличения и уровня детализации, напрямую влияющих на читаемость модели и объём итоговых данных.

Первым этапом работы являлся подбор и подготовка исходных пространственных данных. В качестве основы для построения цифровой модели рельефа (ЦМР) были использованы общедоступные глобальные данные проекта FABDEM, агрегированные и предоставленные Бристольским университетом (University of Bristol). Доступ к архиву данных осуществляется через репозиторий по адресу: <https://data.bris.ac.uk/data/dataset/s5hqmjcdj8yo2ibzi9b4ew3sn>.

Данный набор данных был выбран в силу его ключевых характеристик, отвечающих требованиям исследования [1]:

1. Высокое разрешение: Исходные растры имеют пространственное разрешение 30 метров, что обеспечивает достаточную детализацию для отображения основных морфометрических особенностей такого крупного объекта, как Чарская котловина.

2. Глобальный охват и структурированность: Данные покрывают всю поверхность Земли и систематизированы в виде регулярной сетки тайлов, привязанной к географическим координатам (широте и долготе). Такая организация существенно упрощает процедуру поиска и загрузки фрагментов, необходимых для моделирования конкретного региона.

После получения и первичной подготовки растровых данных следующим этапом методики являлась их загрузка в программную среду для комплексной геоинформационной обработки. В рамках данного исследования использовалась открытая ГИС QGIS (версия 3.40.4), выбранная в силу своей функциональной полноты, поддержки широкого спектра форматов и отсутствия лицензионных ограничений.

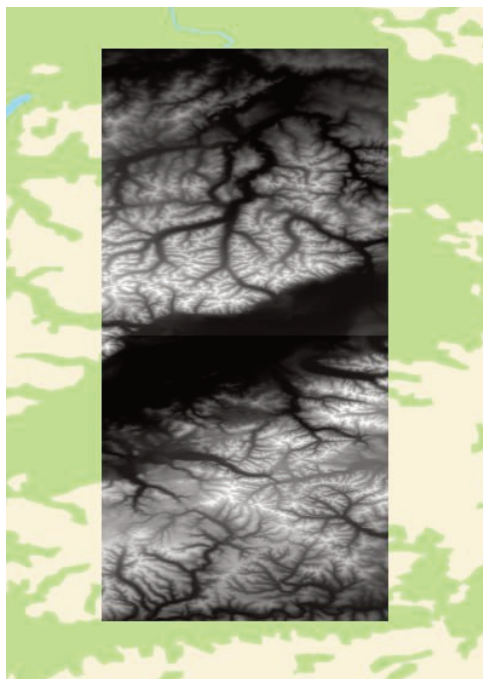


Рис. 1. ЦМР, расположенная на картографической подложке QGIS

После импорта и верификации положения растра ЦМР в проекте, для эффективной интерпретации рельефа и его последующей трёхмерной визуализации требуется преобразовать исходные данные высот в оптимизированное графическое представление. Непосредственное отображение матрицы абсолютных высот (значений пикселей) в виде градиентной шкалы часто не позволяет в полной мере выявить тонкую морфологию склонов, структурные линии и локальные формы рельефа.

Для решения этой задачи к слою ЦМР был применён метод визуализации «Рельеф». Данный алгоритм, реализованный в ГИС QGIS (меню Свойства > Стилль > Вид), имитирует освещение поверхности условным источником света, задавая для каждого пикселя значение яркости в зависимости от его ориентации (аспекта) и угла наклона относительно этого источника. В результате создаётся полутоновое изображение, где склоны, обращённые к свету, отображаются светлыми тонами, а обратные склоны – тенями, что создаёт мощный стереоскопический эффект и резко повышает пластическую выразительность рельефа.

Выбор данного стиля отображения является не только картографическим приёмом, но и ключевым подготовительным этапом для 3D-визуализации [4]. Полученный слой рельефа выступает в качестве текстурной подложки, которая будет натянута на трёхмерную геометрическую поверхность, построенную по данным исходной ЦМР. Это позволяет получить не просто монохромную 3D-поверхность, а детализированную, визуальную насыщенную модель, на которой естественным образом читаются все нюансы рельефа благодаря искусственно созданному светотеневому контрасту.

Заключительным этапом картографирования в рамках данного исследования являлось непосредственное построение трёхмерной модели рельефа. Для преобразования подготовленной двумерной растровой ЦМР в трёхмерную полигональную сетку (3D-меш) в среде QGIS был задействован специализированный плагин DEMto3D. Выбор данного инструмента обусловлен его прямой интеграцией в рабочую среду ГИС, ориентацией на работу с данными ЦМР и наличием специализированных функций для подготовки моделей к аддитивному производству.

Процесс генерации модели является интерактивным и требует от пользователя задания ряда ключевых параметров, определяющих геометрические и визуальные характеристики итогового продукта:

- Выбор исходного растрового слоя: указывается слой ЦМР, на основе значений высот которого будет строиться геометрия.
- Определение области: задаётся пространственный охват модели – либо границами всего растрового слоя, либо пользовательским полигональным контуром.
- Настройка вертикального преувеличения (Z-factor): вводится коэффициент, искусственно увеличивающий амплитуду высот. Данный параметр важен для визуальной выразительности моделей

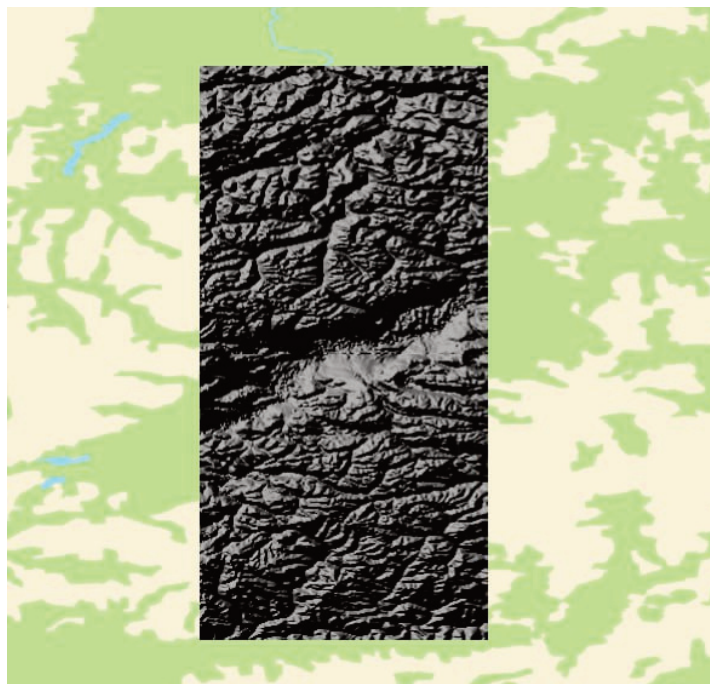


Рис. 2. Обработанная ЦМР

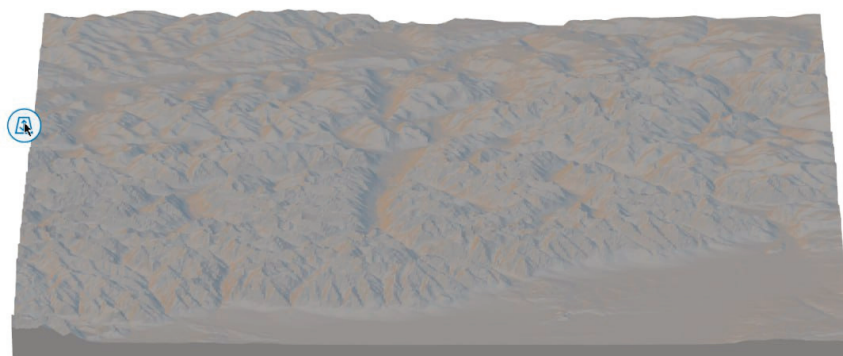


Рис. 3. Готовая 3D-модель

равнинных или платообразных территорий (таких как Чарская котловина), так как естественные перепады высот в масштабе модели могут быть неразличимы.

- Задание разрешения/детализации модели: определяется степень генерализации триангуляционной сети (TIN). Более высокое разрешение сохраняет все нюансы рельефа, но ведёт к созданию избыточно тяжеловесных файлов; снижение разрешения оптимизирует размер модели для печати ценой потери мелких деталей.

После ввода параметров плагин выполняет автоматическую генерацию трёхмерной модели в формате, пригодном для визуализации в окне 3D-вида QGIS или для экспорта в стандартные форматы 3D-графики (STL). Полученная модель представляет собой готовую трёхмерную картографическую сцену, где пространственное положение каждой точки определено реальными географическими координатами (X, Y) и абсолютной высотой (Z), модифицированной заданным коэффициентом вертикального преувеличения. Эта модель служит непосредственным результатом картографирования и основой для последующей постобработки и подготовки к 3D-печати.

В рамках исследования была успешно апробирована комплексная методика создания физической 3D-модели рельефа на основе открытых геоданных и ПО с открытым исходным кодом. На примере Чарской котловины продемонстрирован полный цикл работ: от загрузки и предобработки глобальной ЦМР до генерации и оптимизации полигональной сетки в QGIS с помощью плагина DEMto3D для последующей 3D-печати.

Ключевым результатом является отработка критически важных этапов, обеспечивающих переход от цифровой визуализации к готовому физическому объекту: параметрическая настройка вертикального преувеличения и детализации, создание слоя отображения рельефа для повышения наглядности и обязательная постобработка сетки для её топологической корректности.

Методика обладает высокой воспроизводимостью и открытостью, что открывает широкие возможности для её применения в образовании, музейном деле, территориальном планировании и научной визуализации.

Литература

1. Баранова Н.А. Возможности российского программного обеспечения для создания трехмерных карт / Н. А. Баранова // *Пространственные данные: наука и технологии*. – 2022. – № 13. – С. 43-58. – DOI 10.30533/scidata-2022-13-04. – EDN YBMYWQ.
2. Шушуева Т.М. Некоторые примеры трехмерных карт / Т. М. Шушуева // *Математика в современном мире: Тезисы докладов, Новосибирск, 14–19 августа 2017 года* / Ответственный редактор Г.В. Демиденко. – Новосибирск: Институт математики им. С.Л. Соболева СО РАН, 2017. – С. 132. – EDN YRTRKP.
3. Миронов О.К. Трехмерное моделирование геологического пространства - создание трехмерных карт / О.К. Миронов, К.И. Фесель // *Сергеевские чтения. Моделирование при решении геоэкологических задач, Москва, 23–24 марта 2009 года* / Научный совет РАН по проблемам геоэкологии, инженерной геологии и гидрогеологии ; В. И. Осипов (ответственный редактор). Том Выпуск 11. – Москва: Издательство ГЕОС, 2009. – С. 128-132. – EDN VQVONJ.
4. Зувев В.А. Факторы, влияющие на визуальную информативность трехмерных карт / В.А. Зувев, П.Ю. Бугаков // *Аллея науки*. – 2023. – Т. 1, № 6(81). – С. 1557-1560. – EDN DHMNFП.

ПРИМЕНЕНИЕ ДАННЫХ ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА ПРИ РАСЧЕТЕ УСТОЙЧИВОСТИ ОПОЛЗНЕВОГО СКЛОНА ВОРОБЬЕВЫ ГОРЫ

А.А. Шиманов¹, В.И. Батури², Ф.Б. Егоров³, Е.А. Громова⁴

Государственное природоохранное бюджетное учреждение «Мосэкомониторинг»
119019, г. Москва, ул. Новый Арбат, д.11, с.1

E-mail: inferit90@mail.ru ¹, v.j.baturin@gmail.com ², EgorovFB@eco.mos.ru ³, GromovaEA15@eco.mos.ru ⁴

Введение

Наблюдения за оползневом склоном Воробьевы горы ведется более 100 лет [1, 2, 7]. В период до 1960 г. на оползневом склоне фиксировались многочисленные суффозионные оползни [7]; выделялись участки различной устойчивости. К неустойчивым участкам были отнесены восточная часть склона у Федерального исследовательского центра химической физики им. Н.Н. Семёнова РАН (далее ФИЦ ХФ РАН) [6] и участок вблизи метрополитана [8].

Проблеме численной оценки устойчивости данного склона посвящено большое количество работ. При этом вероятностная оценка [3] устойчивости данного склона проводилась фрагментарно.

Целью работы является оценка расчетов устойчивости склона по результатам геоэкологического мониторинга.

Объект и методика исследования

Объект исследования расположен на склоне р. Москвы – участок от ул. Косыгина, где он граничит с флювиогляциальной равниной, до русла реки Москвы.

В связи с тем, что участок расположен в пределах трех геоморфологических элементов - водораздельной флювиогляциальной равнины, русла р. Москвы и оползневого склона, геологическое строение участка представлено для каждого элемента отдельно.

Флювиогляциальная равнина граничит со склоном Воробьевых гор на юге, западе и востоке исследуемого участка (вдоль ул. Косыгина). Территория характеризуется субгоризонтальным залеганием слоев.

В геологическом строении флювиогляциальной равнины до максимальной глубины более 110,0 м принимают участие техногенные грунты (tQ_{IV}), флювиогляциальные отложения (fQ_{II}), ледниковые моренные отложения (gQ_{II}), коренные отложения меловой системы (K_1), отложения верхнего и среднего отделов юрской системы, представленные волжским (J_{3v}), оксфордским (J_{3ox}), келловейским (J_{3k}) и бат-келловейским ($J_{2+3bt-k}$) ярусами, верхне- и среднекаменноугольные отложения (C_3-C_2).

Геоморфологическое строение склона осложнено развитием оползневых процессов. На склоне развиты три уровня оползневых террас (верхняя, средняя и нижняя), характеризующихся сложным строением. Каждая из террас сложена несколькими оползневыми телами. Оползневые террасы верхнего и среднего уровней осложнены мелкими оползнями.

В геологическом строении русла реки Москвы принимают участие современные аллювиальные отложения (aQ_{IV}).

На оползневом склоне Воробьевых гор в 2021 году организована система инструментального мониторинга. Данная система включает в себя следующие подсистемы [1]:

- мониторинг поверхностных смещений;
- мониторинг глубинных деформаций;
- мониторинг грунтовых вод и порового давления;
- геотехническое моделирование.

Результаты мониторинга оползневого склона в данной работе приводятся по материалам ГПБУ «Мосэкомониторинг» [4, 5].

На начальном этапе работ по организации сети мониторинга оползневого склона был собран и проанализирован архив из около 2700 инженерно-геологических скважин. Из них было отобрана

1181 скважина для дальнейшей работы. Из отобранных скважин 1009 использовались для определения подошвы четвертичных отложений, 716 – для кровли отложений юрского возраста, 214 – для кровли каменноугольных отложений. Для оценки уровня подземных вод использовались 887 скважин.

На основании отобранных скважин были построены предварительные геотехнические модели. Расчеты по предварительным геотехническим моделям позволили выявить наименее устойчивые участки склона и зоны наиболее вероятного развития оползневых смещений.

По результатам анализа архивных данных и результатам предварительных расчетов устойчивости склона была разработана программа устройства пунктов мониторинга. Затем, по результатам бурения инклинометрических и гидрогеологических скважин были подтверждены зоны оползневых смещений. Предварительное геотехническое моделирование показало свою значимость на этапе разработки программы мониторинга оползневого склона. В ходе бурения скважин на этапе организации сети мониторинга проводился отбор образцов грунтов для определения физических и деформационно-прочностных свойств. Датчики порового давления и автоматические стационарные инклинометры устанавливались на глубинах предполагаемых оползневых смещений.

В состав работ по созданию системы мониторинга оползневого склона входили доработка и уточнение моделей устойчивости склона. По результатам бурения и лабораторных исследований были дополнены двумерные модели по 10 профилям и одна трехмерная модель участка Спортивного Комплекса Воробьевы горы (СК ВГ). Создавались двумерные предельно-равновесные и конечно-разностные модели. При моделировании геологическое строение схематизировалось как 35 расчетных слоев на основании выделенных инженерно-геологических элементов. Физические определялись по результатам изысканий и анализа архивных данных. Угол внутреннего трения и сцепление глинистых грунтов определялись по результатам трехосных испытаний грунтов и срезных испытаний. Угол внутреннего трения песков определялся по результатам трехосных испытаний и статического зондирования грунтов. Помимо прочего, для грунтов подверженных оползневому смещению определялись остаточные углы внутреннего трения и сцепление срезом «плашка по плашке».

При моделировании использовалась модель грунта Кулона-Мора. Свойства грунтов задавались в соответствии с результатами инженерных изысканий и по архивным данным. Для зон скольжения использовались пониженные свойства грунтов, полученные по результатам срезов «плашка по плашке». Поверхность земли построена в соответствии с результатами инженерно-геодезических изысканий. Помимо прочего, учитывались дополнительные факторы: наличие сооружений (набережная), наличие водной нагрузки (река Москва, Андреевские пруды и т.д.).

Для анализа чувствительности моделей строились зависимости коэффициента устойчивости оползня от изменяющихся деформационно-прочностных свойств грунтов. Для каждого слоя использовались максимальные, минимальные, средние углы внутреннего трения, сцепления и плотности грунта. Данные значения задавались по результатам лабораторных испытаний. Так же была проведена оценка влияния изменения уровня подземных вод на коэффициент устойчивости оползня.

Предельно-равновесное моделирование выполнялось в программном комплексе Slide 2d. В предельно-равновесных моделях использовались цилиндрические и нецилиндрические поверхности скольжения. Не цилиндрические поверхности скольжения строились методом роя частиц [10]. Применялись критерии устойчивости Бишопа, Ямбу, Спенсера, Morgenштерна-Прайса.

Конечно-разностное моделирование выполнялось в программном комплексе RS 2. Использовалась равномерная треугольная сетка. Для оценки устойчивости метод снижения прочности на сдвиг.

Трехмерное моделирование выполнялось в программном комплексе Midas NX с целью пространственного анализа напряженно-деформируемого состояния в массиве грунтов.

При вероятностном моделировании использовался метод Монте Карло [9]. Строилась 1000 моделей с одинаковым распределением расчетных слоев и нагрузок. При этом свойства грунтов изменялись в соответствии с минимальными, средними и максимальными значениями, полученными по результатам изысканий.

Результаты исследований и их обсуждение

Анализ чувствительности моделей к изменению свойств грунтов показал, что для оползневого склона Воробьевых гор решающий вклад в устойчивость склона вносят свойства грунтов существующих зон скольжения в юрских глинах. Наибольшее влияние на коэффициент устойчивости

оказывает угол внутреннего трения и сцепление. Резкий рост уровня подземных вод в период активного снеготаяния вызывает локальные снижения устойчивости, что подтверждается по результатам мониторинга.

Анализ результатов расчетов для предельно-равновесных моделей показал невозможность применения цилиндрических поверхностей скольжения для оценки устойчивости склонов со сложным строением и несколькими существующими зонами сдвига. Вне зависимости от заданных прочностных свойств цилиндрические поверхности скольжения либо описывали один оползневой блок, либо пересекали существующие оползневые блоки, не попадая на существующие зоны скольжения. В таком случае резко завышалась устойчивость склона.

Использование метода Монте Карло для всех 35 слоев при вероятностном моделировании в данном случае не целесообразно. Так как каждый из слоев имеет как минимум 3 изменяющихся свойства (угол внутреннего трения, сцепление, плотность), 1000 моделей недостаточно для получения корректных выводов.

Целесообразнее использовать метод Монте Карло для изменения свойств грунтов, вносящих наибольший вклад в результаты расчетов. Исходя из анализа чувствительности моделей было принято решение использовать метод Монте Карло для изменения угла внутреннего трения и сцепления основного деформирующегося горизонта.

Вероятностное моделирование позволило оценить шанс активизации оползневого процесса. Результаты расчетов вероятности развития оползневого процесса приведены в таблице 1. Вероятность, полученная предельно-равновесными моделями с цилиндрической поверхностью скольжения, существенно ниже вероятностей, полученных по конечно-разностным моделям и по предельно-равновесным моделям с нецилиндрическими поверхностями скольжения. Наибольшая вероятность развития оползневого процесса получена для профилей 5 и 6 (Спортивный комплекс Воробьевы горы), 7 (Эскалаторная галерея), 9 и 10 (Институт химической физики РАН).

<i>Таблица 1</i>			
Расчетная вероятность активизации глубокого оползневого процесса по 10 профилям.			
Профиль	Вероятность развития оползневых смещений, д.е.		
	Предельно-равновесная модель с цилиндрической поверхностью скольжения	Предельно-равновесная модель с нецилиндрической поверхностью скольжения	Конечно-разностная модель
1	0,00	0,69	-
2	0,00	0,54	-
3	0,00	0,62	-
4	0,00	0,07	0,00
5	0,58	1,00	0,39
6	0,24	0,90	0,99
7	0,00	0,17	0,72
8	0,00	0,00	0,00
9	0,00	0,60	0,51
10	1,00	1,00	0,81
Среднее значение профилей 4 - 10	0,26	0,53	0,49

Результаты расчетов подтверждаются результатами мониторинга оползневого склона. На профиле номер 5 в скважине в верхней части склона произошла сильная деформация ствола скважины в период с 15.11.2023 г. по 17.05.2024. В центральной части склона на том же профиле в период с 02.12.2024 г. по 11.04.2025 г. произошло смещение около 14 мм. В скважинах профиля 7 наблюдаются медленные деформации в массиве грунта. Активизации деформаций предшествует кратковременный рост порового давления в основном деформируемом горизонте. На профилях 9 – 10

фиксируются прогрессирующие деформации сооружений и элементов благоустройства. В скважине в верхней части склона на профиле 9 и в скважинах в верхней и средней частях склона на профиле 10 фиксируется развитие медленных глубинных смещений. По аналогии с профилем № 7, увеличению скорости глубинных деформаций предшествует кратковременный рост порового давления. Геодезические измерения так же показывают развитие оползневых смещений.

Литература

1. Батурин В.И., Шиманов А.А., Егоров Ф.Б. Устройство системы мониторинга оползневой активности на Воробьевых горах в городе Москва // *Материалы годичной сессии Научного совета РАН по проблемам геоэкологии, инженерной геологии и гидрогеологии. Сергеевские чтения. Выпуск 26. Массивы грунтов как жизнеобеспечивающий ресурс общества. Под ред. Е.А. Вознесенского, М: ГеоИнфо, 2025 с. 137-140.*
2. Даньшин Б.М. Геологическое строение Ленинских гор в связи с некоторыми вопросами стратиграфии меловой системы и оползневыми явлениями по берегу Москвы-реки // *Известия Московского геологического треста. 1937. Т. 4. С. 3–23.*
3. Зеркаль О.В., Фоменко И.К., Самарин Е.Н. Вероятностный подход при моделировании устойчивости склонов: реализация и особенности // *Геоэкология, инженерная гидрогеология, геокриология, 2023, №6, с.26-38*
4. Информационный отчет по выполнению государственного задания ГПБУ «Мосэкомониторинг» на 2023 год и плановый период 2024 и 2025 годов за 4 квартал 2023 года по разделам: Часть 1, Часть 2 разделы 5, 8, Часть 2, 9 / Под ред. Ф.Б. Егорова. М., 2023. Номер ЕФГИ 49912973
5. Информационный отчет по выполнению государственного задания ГПБУ «Мосэкомониторинг» на 2024 год и плановый период 2025 и 2026 годов за 4 квартал 2024 года по разделам: Часть 1, Часть 2 разделы 5, 8, 9 / Под ред. Ф.Б. Егорова. М., 2024.
6. Кофф Г.Л., Петренко С.И., Лихачева Э.А., Котлов В.Ф. Очерки по геоэкологии и инженерной геологии Московского столичного региона / Под ред. Н.А. Богданова и А.И. Шеко. М.: РЭФИА, 1997. 185 с.
7. Корчебоков Н.А., Романов А.В., Яковлев С.Я. Оползни Ленинских гор // *Геология в реконструкции г. Москвы / Под ред. В.Л. Комарова, М.-Л.: АН СССР, 1938. С. 377–390.*
8. Кропоткин М.П. Оценка оползневой угрозы для метрополитана Воробьевых гор в Москве // *Инженерная геология. 2016. Т. 3. С. 6-15.*
9. F. Vecca and S. Sorella, *Quantum Monte Carlo Approaches for Correlated Systems* (Cambridge University Press, 2017)
10. Donelli, M., G. Franceschini, A. Martini, and A. Mass, 2006, *An integratedmultiscaling strategy based on a particle swarm algorithm for inverse scattering problems: IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing,44, 298–312.*

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	5
----------------	---

1. Теоретико-методологические основы геоэкологии

<i>Ершов В.В.</i> Геоэкология как междисциплинарная платформа для исследования грязевого вулканизма	6
<i>Осипов В.И., Еремина О.Н.</i> Роль академика Е.М. Сергеева в становлении геоэкологического направления в инженерной геологии	10
<i>Петров Н.Ф.</i> О проблеме единой унифицированной классификации оползней (ЕУКО) в оползневедении	14
<i>Ракитина Н.Н., Буфеев Ф.К.</i> Принципы построения целостного геоинформационного пространства в инженерной геологии	18
<i>Трофимов В.Т.</i> История появления термина «геоэкология», тернистый путь развития теоретико-методологических основ геоэкологии как науки, оценка ее современного состояния	23
<i>Трофимов В.Т.</i> Об объекте, задачах, типах и видах исследований и динамике изменения числа значимых показателей в ходе выполнения экологически ориентированных работ	32
<i>Трофимов В.Т.</i> О содержании, структуре и задачах геоэкологии как междисциплинарной науки, построенной на базе концепции экологических функций абиотических сфер Земли ...	39
<i>Усупаев Ш.Э., Лагутин Е.И., Валиев Ш.Ф., Едигенов М.Б., Оролбаева Л.Э., Туркбаев П.Б.</i> Ноосферная инженерная геонимия в решении экологических проблем	47
<i>Харькина М.А., Трофимов В.Т.</i> Специфика оценки экзогенных геологических процессов при геоэкологических исследованиях	55

2. Изучение опасных природных процессов для решения геоэкологических задач

<i>Аджиев А.Х., Кондратьева Н.В., Юрченко Н.В., Керефова З.М.</i> Оценка лавинной опасности вдоль линии электропередач в республике Адыгея	60
<i>Ковалёва Т.Г., Торопов М.Д.</i> Применение метода удаленности от ближайшего карстопоявления при инженерно-карстологических исследованиях	65
<i>Козлякова И.В., Еремина О.Н., Романова Е.Р.</i> О провале на территории Комплекса переработки отходов (КПО) «Юг» у г. Коломна Московской области	70
<i>Корженевский Б.И., Ерыш И.Ф.</i> Геоэкологические последствия паводка в Ялте летом 2021 г.	73
<i>Кочев А.Д.</i> Возможность использования показателя интенсивности провалообразования для оценки опасности карстово-суффозионных процессов	77
<i>Крыленко И.В., Дзагания Е.В., Дзагания Л.М., Крыленко В.И., Дзагания М.Ю.</i> Водоснежные потоки на южном склоне Западного Кавказа	81
<i>Кузьмичев И.С., Медведков А.А.</i> Оценка уязвимости горных ландшафтов к механическим воздействиям в условиях климатических изменений (на примере Хибин)	86
<i>Микляев П.С., Петрова Т.Б., Торопов А.С., Кайгородов Е.И., Кулаков А.П., Суханова Т.В.</i> Реакция содержания радона в подвале здания в зоне активного разлома на отдалённые землетрясения	90

<i>Романова Е.Р., Жидков Р.Ю., Абакумова Н.В., Рекун В.С.</i> Оцифровка и установление происхождения провалов по данным дистанционного зондирования Земли высокого разрешения (на примере участка в ТИНАО)	94
<i>Скроб П.В., Медведков А.А.</i> Регрессия Аральского моря как геоэкологический фактор мезомасштабного уровня и возможности по смягчению кризисных последствий	98
<i>Флерко Т.Г.</i> Оценка подверженности наводнениям сельских населенных пунктов Гомельской области и их геоэкологические последствия	102

3. Геоэкология и изменение климата: адаптация и устойчивые решения

<i>Атаев З.В.</i> Современные геоэкологические проблемы и ландшафтно-адаптивное управление бассейном трансграничной реки самур в условиях климатической изменчивости и регрессии каспийского моря	106
<i>Барановский А.Г.</i> Проблемы гидрогеологического прогноза уровня подземных вод на урбанизированных территориях	110
<i>Белоусова А.П., Оботуров А.С.</i> Оценка экологического состояния окружающей среды в бассейнах крупных арктических рек	114
<i>Берёзко О.А., Васнёва О.В., Волков В.Е., Черевач Е.М., Ровкач К.Д.</i> Рекомендации по рациональному использованию и охране подземных вод от истощения на территории Микашевичского горнодобывающего района	120
<i>Васильчук Ю.К., Шанина В.В.</i> Особенности эколого-геологических систем биолитотехнических комплексов Центральной Якутии	125
<i>Викторов А.С., Сергеев Д.О., Орлов Т.В., Капралова В.Н., Бондарь В.В., Архипова М.В., Гонников Т.В., Зверев А.В., Хименков А.Н., Кулаков А.П.</i> Ландшафтно-геокриологическое районирование условий прохождения автомобильной дороги «Виллой» как основа выделения однородных участков развития геокриологических процессов	130
<i>Воронина С.В.</i> Оценка чувствительности геомиграционной модели участка Теченско-Мишелякского междуречья к вертикальной составляющей проводимости	135
<i>Глотов В.Е.</i> Криогенные ресурсы северо-востока России – реальная основа инновационной экономики (на примере производства водорода)	139
<i>Макаров В.Н.</i> Формирование техногенных геохимических аномалий при отработке месторождений в Северо-Янском оловоносном районе Якутии	144
<i>Максимович Н.Г., Деменев А.Д., Березина О.А., Хмурчик В.Т., Мизев А.А.</i> Натурные испытания усовершенствованного многоканального скважинного иньектора для очистки подземных вод от растворенных нефтепродуктов	149
<i>Мисайлов И.Е., Калиничева С.В.</i> Исследование современного состояния природных систем Арктической зоны Якутии	152
<i>Мусин Р.Х., Галиева А.Р.</i> Геоэкологические особенности крупной нефтеперерабатывающей промзоны в Республике Татарстан	156
<i>Мусин Р.Х., Курлянов Н.А.</i> Геоэкологические условия озёр Приказанского района	161
<i>Паламарчук В.А., Лебедева Л.С., Павлова Н.А., Сергеев Д.О.</i> Гидрогеоэкологические условия центральной части Чарской котловины (северное Забайкалье)	166
<i>Рыбников П.А., Рыбникова Л.С., Галин А.Н., Наволокина В.Ю.</i> Исследование гипергенеза приотвальной территории (на примере Левихинского рудника, Средний Урал)	171
<i>Рыбникова Л.С., Рыбников П.А., Наволокина В.Ю., Галин А.Н.</i> Вторичное минералообразование и формы миграции химических элементов в системе «кислые шахтные воды – малая река» (на примере Левихинского месторождения, Средний Урал)	176

<i>Савичев О.Г.</i> Гидролого-гидрогеологические условия хозяйственного использования акватории и длины реки Томь у Томска (Российская Федерация)	181
<i>Толкачев Г.Ю.</i> Оценка содержания и токсического загрязнения тяжелыми металлами донных отложений р. Клязьмы	186
<i>Толкачев Г.Ю., Корженевский Б.И.</i> Тяжелые металлы в донных отложениях и водной растительности Ивановского водохранилища	191

4. Рациональное использование геологических ресурсов и управление отходами

<i>Абакумова Н.В., Барабошкина Т.А., Николаева С.К.</i> Геоэкологические аспекты изучения зол и шлаков с целью их вторичного использования (на примере зол гидроудаления Каширской ГРЭС)	196
<i>Анохина В.А., Фуникова В.В.</i> Рациональное природопользование при рекультивации полигонов твердых коммунальных отходов и несанкционированных свалок	201
<i>Антонова И.А., Гончар Н.В., Гуман О.М.</i> Опыт рационального использования геологических ресурсов и управление отходами на примере Томинского ГОКа – Коркинского разреза	206
<i>Беляев А.Ю., Медовар Ю.А., Юшманов И.О.</i> Рациональное использование геологических ресурсов без нанесения ущерба природной среде и управление отходами	210
<i>Заиканова И.Н.</i> Международные договоры в отношении использования и управления отходами асбеста	214
<i>Котович А.Д.</i> Защита окружающей среды от жидких промышленных отходов	218
<i>Ларионова Н.А.</i> Влияние состава грунтов на процесс твердения при их укреплении нефелиновым шлаком	222
<i>Соломатина Е.С., Маликова Т.В., Зарницын Г.А.</i> Инженерно-геологическая характеристика твердых коммунальных отходов как специфического вида техногенных грунтов	226
<i>Усупаев Ш.Э., Атыкенова Э.Э.</i> Инженерно-радио-геоэкономическая методология и геоэкологическая оценка рисков от отходов горнорудного производства (Кыргызстан)	231

5. Инженерно-геологические изыскания и геоэкологические исследования на урбанизированных территориях и в горнопромышленных районах

<i>Абрамова Т.Т.</i> Возможность искусственного преобразования дисперсной карбонатной породы	237
<i>Барыкина О.С., Бондаренко П.Н., Чалая Е.А., Аверин И.В.</i> Современное состояние грунтов высокой насыпи у шлюза № 8 канала имени Москвы	242
<i>Галкин А.Н., Королев В.А.</i> О ключевой роли абиотических и биокосных компонентов в функционировании эколого-геологических систем селитебных комплексов	247
<i>Гридневский А.В.</i> Диагностика неочевидных факторов подтопления городской застройки	251
<i>Гусев А.П.</i> Экогеофизическая диагностика загрязнения геологической среды урбанизированных и промышленных территорий (на примере г. Гомеля)	255
<i>Заиканов В.Г., Булдакова Е.В.</i> Устойчивое развитие исторических городов (геоэкологические барьеры и социально-экономические противоречия)	258
<i>Макеев В.М., Пикулик Е.А., Коробова И.В., Фикри Е.А.</i> Неотектонические структуры Б. Сочи в связи с оценкой геодинамической безопасности строительных площадок	261
<i>Маликова Т.В., Родькина И.А.</i> Методологические принципы типизации геологической среды для выбора класса взлетно-посадочных полос на примере аэропорта «Северный» г. Грозный	266

<i>Махлаев В.Д., Андрияшин Д.С., Зеркаль О.В.</i> Инженерно-геологическая характеристика территории северо-западного склона горы Синюха (Горный Алтай)	270
<i>Наход В.А., Малов А.И.</i> Оценка токсикологических рисков для организмов, обитающих в донных отложениях, в районе действующего гипсового карьера	275
<i>Норова Л.П., Цинкобурова М.Г., Смирнов Д.М.</i> Природные и техногенные риски сохранности особо ценных геологических объектов запада Ижорской возвышенности (Ленинградская область)	280
<i>Орлов Т.В., Архипова М.В., Смагин В.А., Бондарь В.В., Иванов А.К.</i> Реакция глядово-мочажинного комплекса верховых болот на сброс карьерных вод	284
<i>Петрова И.Г., Екимова О.А., Сулова Ю.В., Устинова Т.Н.</i> Особенности инженерно-экологических изысканий на объектах рекультивации горнодобывающих предприятий	288
<i>Родькина И.А.</i> Особенности эколого-геологической системы аэропорта «Домодедово»	291

6. Развитие методов исследований и моделирование в геоэкологии

<i>Бондарь В.В., Викторов А.С.</i> Вероятностные закономерности морфологических структур участков с полигонально-жильными льдами на основе методов математической морфологии и дистанционного зондирования	295
<i>Викторов А.С.</i> Исследование возрастной дифференциации ландшафтов с развитием сложного комплекса экзогенных геологических процессов на основе математического моделирования	298
<i>Галкин П.А., Хомич В.С., Красовская И.А.</i> О новом подходе к оценке и картографированию геоэкологических условий урбанизированных территорий	301
<i>Дробинина Е.В., Белкин П.А.</i> Использование алгоритмов машинного обучения для стратификации техногенного осадка	305
<i>Ковачев С.А., Либина Н.В., Миронюк С.Г., Крылов А.А.</i> Использование фрактального анализа для верификации сеток разломов на шельфе моря Лаптевых	310
<i>Крутских Н.В.</i> Изменение спектральных свойств растительности в зоне воздействия железорудного карьера	315
<i>Ларионов В.И., Фролова Н.И., Малаева Н.С.</i> Опыт оценки последствий сценарных землетрясений с применением системы «Экстремум»	319
<i>Мавлянова Н.Г.</i> Снижение сейсмических рисков в урбанизированной среде: модель международного сотрудничества Туркменистана и ПРООН	325
<i>Матвеев В.В., Королев В.А.</i> Энергетический подход для оценки влияния углеводородного загрязнения песчаных грунтов на их деформирование при многократно повторных нагрузках	330
<i>Полякова Е.В., Минеев А.Л., Кутинов Ю.Г., Чистова З.Б.</i> Методика выявления тепловых аномалий по данным LANDSAT в горнопромышленных районах (на примере месторождения алмазов им. Гриба)	334
<i>Рукавицын В.В.</i> Разработка прогнозной части инженерно-экологической информационной модели местности	337
<i>Свалова В.Б.</i> Сейсмогеодинамика и геотермия Кавказско-Анатолийского региона и землетрясение в Мраморном море (Турция) 23 апреля 2025 г.	342
<i>Шамсудинов Г.Ю., Шмырева М.Б.</i> Построение 3D-модели рельефа на основе ГИС-технологий	350
<i>Шиманов А.А., Батулин В.И., Егоров Ф.Б., Громова Е.А.</i> Применение данных геоэкологического мониторинга при расчете устойчивости оползневого склона Воробьевы горы	354