



# ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ ТЕХНОГЕННОГО ЭТАПА ИСТОРИИ ЗЕМЛИ — 2021

Сборник материалов Всероссийской (национальной)  
научно-практической конференции  
(г. Москва, 14–15 октября 2021 г.)

© ФГБОУ ВО «НИУ МГУ», 2021  
ISBN 978-5-7264-2941-0

Москва  
Издательство МИСИ – МГУ  
2021

УДК 504+624+528

ББК 20.1+38+26.1

Г35

- Г35     **Геоэкологические проблемы техногенного этапа истории Земли — 2021**  
[Электронный ресурс] : сборник материалов Всероссийской (национальной) научно-практической конференции (г. Москва, 14–15 октября 2021 г.) / Министерство науки и высшего образования Российской Федерации, Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет, кафедра инженерных изысканий и геоэкологии. — Электрон. дан. и прогр. (4 Мб). — Москва : Издательство МИСИ – МГСУ, 2021. — Режим доступа: <http://mgsu.ru/resources/izdatelskaya-deyatelnost/izdaniya/izdaniya-otkr-dostupa/>. — Загл. с титул. экрана.  
ISBN 978-5-7264-2941-0

В данном сборнике содержатся тезисы докладов участников Всероссийской (национальной) научно-практической конференции, которая состоялась в НИУ МГСУ 14–15 октября 2021 г. на базе кафедры инженерных изысканий и геоэкологии.

В работе конференции приняли участие более 70 человек — научно-педагогических работников, аспирантов, научно-образовательных учреждений, специалистов проектной, строительной отрасли. В данный сборник вошли тезисы докладов, представленных на конференции. 17 докладов были рекомендованы для опубликования в журналах «Геоэкология», «Вестник МГСУ» входящих в перечень ВАК, в 2022 году.

Для научных работников и аспирантов в области инженерных изысканий, геоэкологии и техноферной безопасности, обучающихся всех форм обучения.

*Научное электронное издание*

*Материалы публикуются в авторской редакции.  
Авторы опубликованных материалов несут ответственность  
за достоверность приведенных в них сведений.*

© ФГБОУ ВО «НИУ МГСУ», 2021

Ответственные за выпуск:

*А.Л. Суздалева, С.С. Родионов, И.Ю. Яковлева*

Институт гидротехнического и энергетического строительства (ИГЭС НИУ МГСУ)

Сайт: [www.mgsu.ru](http://www.mgsu.ru)

<http://iges.mgsu.ru/universityabout/Struktura/Instituti/IGES/>

Тел. +7 499 183 43 83

Е-mail: [iges@mgsu.ru](mailto:iges@mgsu.ru)

Кафедра инженерных изысканий и геоэкологии

Тел.: +7 (495) 287-49-14 (доб. 2380)

Е-mail: [LavrusevichAA@mgsu.ru](mailto:LavrusevichAA@mgsu.ru)

*Для создания электронного издания использовано:*

Microsoft Word 2010, ПО Adobe Acrobat

Подписано к использованию 30.11.2021. Объем данных 4 Мб.

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования

«Национальный исследовательский

Московский государственный строительный университет».

129337, Москва, Ярославское ш., 26.

Издательство МИСИ – МГСУ.

Тел.: (495) 287-49-14, вн. 14-23, (499) 183-91-90, (499) 183-97-95.

Е-mail: [ric@mgsu.ru](mailto:ric@mgsu.ru), [rio@mgsu.ru](mailto:rio@mgsu.ru).

## СОДЕРЖАНИЕ

<b>Т.Г. Макеева, В.А. Трофимов</b> ПРОГНОЗНЫЙ РАСЧЕТ ОСЕДАНИЯ ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ ГОРНОПРОМЫШЛЕННЫХ ОБЪЕКТОВ	6
<b>В.В. Фуникова, И.В. Дудлер, Р.Т. Бутаев</b> ТЕХНОГЕННЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ РЕЖИМА ПОДЗЕМНЫХ ВОД НА ЗАСТРОЕННЫХ ТЕРРИТОРИЯХ	10
<b>В.В. Фуникова, И.В. Дудлер</b> НАРАСТАЮЩИЕ ТЕХНОГЕННЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ СРЕДЫ	14
<b>М.В. Королев, А.Н. Власов, А.В. Остякова, Ю.Н. Лукьянова</b> ПРИМЕРЫ АВАРИЙ СООРУЖЕНИЙ В КРИОЛИТОЗОНЕ, СВЯЗАННЫЕ С ДЕГРАДАЦИЕЙ МЕРЗЛОТЫ	18
<b>Е.В. Золотарева *, Е.А. Коренькова</b> АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ СООТНОШЕНИЯ ТИПОВ ПРОСТРАНСТВЕННЫХ СТРУКТУР СКВЕРОВ Г. ОРЛА НА АРХИТЕКТУРНО-ЭКОЛОГИЧЕСКУЮ УСТОЙЧИВОСТЬ УРБАНИЗИРОВАННЫХ ЛАНДШАФТОВ	30
<b>Е.А. Коренькова, Е.И. Степанова</b> ЭКОЛОГО-АРХИТЕКТУРНАЯ ОЦЕНКА РОЛИ ОБЪЕКТОВ ЛАНДШАФТНОЙ АРХИТЕКТУРЫ Г.ОРЛА В СОЗДАНИИ КОМФОРТНОЙ ГОРОДСКОЙ СРЕДЫ	38
<b>А.К. Ахмадиев, В.Н. Экзарьян</b> О НЕКОТОРЫХ ПРОБЛЕМАХ РЕАБИЛИТАЦИИ ПРИРОДНОЙ СРЕДЫ ПРИ ОСВОЕНИИ УГЛЕВОДОРОДНЫХ РЕСУРСОВ ЧЕРНОМОРСКО-КАСПИЙСКОГО РЕГИОНА	43
<b>В.Л. Беляев</b> ОСОБЕННОСТИ ИНЖЕНЕРНЫХ ИЗЫСКАНИЙ, ВЫПОЛНЯЕМЫХ ДЛЯ РАЗВИТИЯ ГОРОДСКОГО ПОДЗЕМНОГО ПРОСТРАНСТВА: АСПЕКТ СТАНДАРТИЗАЦИИ	48
<b>А.А. Лукашов</b> ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ ДОБЫЧИ И ОБОГАЩЕНИЯ АПАТИТ-НЕФЕЛИНОВЫХ РУД В ХИБИНАХ	52
<b>Е.В. Дробинина , Д. Р. Золотарев</b> ПРИРОДНЫЕ УСЛОВИЯ И СОСТОЯНИЕ ПЕРЕКРЫВАЮЩИХ ОТЛОЖЕНИЙ ВБЛИЗИ ПОВЕРХНОСТНЫХ КАРСТОВЫХ ФОРМ	61
<b>В.Н. Комлев</b> ОБРАЗ ГЛУБИННОГО ЯДЕРНОГО МОГИЛЬНИКА В РОССИИ: УНИКАЛЬНОЕ НЕГАТИВНОЕ НЕСООТВЕТСТВИЕ КАНОНАМ	68
<b>А.В. Лабунзов</b> ОПТИМИЗАЦИЯ СХЕМ НАБЛЮДЕНИЯ ЗА ДЕФОРМАЦИЯМИ ГЕОДЕЗИЧЕСКИМИ МЕТОДАМИ ПРИ МОНИТОРИНГЕ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ, НЕ ОТНОСЯЩИХСЯ К ОБЪЕКТАМ ПОВЫШЕННОЙ ОТВЕТСТВЕННОСТИ	93
<b>Е.Ю. Ликотов</b> ОПАСНЫЕ РЕЛЬЕФООБРАЗУЮЩИЕ ПРОЦЕССЫ НА ОДНОМ ИЗ УЧАСТКОВ СТРОИВШЕГОСЯ ГАЗОПРОВОДА. УСЛОВИЯ, ПОСТАНОВКА, ХОД И РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ	97
<b>Н.В. Озерова, Д.Х. Мамина, М.М. Рукавишников</b> ПАРНИКОВЫЕ ГАЗЫ И СТРОЙИНДУСТРИЯ	108
<b>С.Г. Миронюк</b> ПРИЗНАКИ ПРОНИКНОВЕНИЯ МОРСКИХ ВОД В ПРИБРЕЖНЫЕ ВОДОНОСНЫЕ ГОРИЗОНТЫ (НА ПРИМЕРЕ ЧЕРНОГО МОРЯ)	112
<b>А.А. Прасолов, Н.А. Орлова</b> ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДА АМПЛИТУДНЫХ СПЕКТРОВ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПОЛОЖЕНИЯ ЛИТОЛОГИЧЕСКИХ КОНТАКТОВ И СЕЙСМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ГРУНТОВ НА ПРИМЕРЕ ОПОЛЗНЕВЫХ УЧАСТКОВ КОЛОМЕНСКОЕ И МОСКВОРЕЧЬЕ-САБУРОВО В Г. МОСКВА	118
<b>П.М. Савельев, В.Н. Экзарьян</b> ОСОБЕННОСТИ ОРГАНИЗАЦИИ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА ГОРОДСКИХ ТЕРРИТОРИЙ	122
<b>В.В. Симонян, В.И. Волков</b> СОЗДАНИЕ ОПОРНОЙ ГЕОДЕЗИЧЕСКОЙ СЕТИ НА ОПОЛЗНЕВЫХ СКЛОНАХ В ВИДЕ ЗАМКНУТЫХ ПОЛИГОНОМЕТРИЧЕСКИХ ЧЕТЫРЕХУГОЛЬНИКОВ	126

<b>К.С. Ваганова, А.И. Машкова, Д.В. Смородин, О.В. Тупицына, В.Н. Пыстин</b> ОСНОВНЫЕ ПРИНЦИПЫ АДАПТАЦИИ ТЕХНОЛОГИЙ УТИЛИЗАЦИИ ОТХОДОВ БУРЕНИЯ ДЛЯ ЛИКВИДАЦИИ НАКОПИТЕЛЕЙ НЕФТЕСО- ДЕРЖАЩИХ ОТХОДОВ	131
<b>С.В. Шендяпина, К.А. Брехунец</b> ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ГРАДОСТРОИ- ТЕЛЬСТВА НА ПРИМЕРЕ Г. МОСКВЫ	139
<b>Н.С. Рогова</b> ОБОСНОВАНИЕ ПРИРОДООХРАННЫХ МЕРОПРИЯТИЙ И ТЕХ- НОЛОГИЙ ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ НЕФТЕГАЗОВЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ	143
<b>И.Ю. Яковлева</b> МЕТОДОЛОГИЯ ОЦЕНКИ РИСКОВ ПРИРОДНО-ТЕХНОГЕН- НЫХ СИСТЕМ ОБЪЕКТОВ НЕЗАВЕРШЕННОГО СТРОИТЕЛЬСТВА	147
<b>А.Л. Суздалева</b> АКТУАЛЬНОСТЬ СОЗДАНИЯ ВОДНЫХ ДЕПОЗИТАРИЕВ В РОССИИ	153
<b>В.В. Рукавицын, В.Н. Экзарьян</b> МЕТОДИКА ОЦЕНКИ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО РИСКА ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПОЧВЫ ПРИ ОСВОЕНИИ УГЛЕВОДОРОДНЫХ РЕСУР- СОВ ЧЕРНОМОРСКО-КАСПИЙСКОГО РЕГИОНА	157
<b>П.И. Кашперюк, Е.И. Пупырев, А.А. Лаврусевич, В.С. Крашенинников</b> ТЕХНОЛОГИЯ И РЕЖИМ ЭКСПЛУАТАЦИИ ПОЛИГОНОВ ДЕПОНИРОВАНИЯ ИЛОВЫХ ОСАДКОВ КАК ВАЖНЕЙШИЕ ФАКТОРЫ ФОРМИРОВАНИЯ ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ ОКРУЖАЮЩИХ ТЕРРИТОРИЙ	164
<b>Н.А., Орлова, Б. Жаргалсайхан</b> МОНИТОРИНГ ДАМБЫ ХВОСТОХРАНИ- ЛИЩА ЭРДЭНЭТ (МОНГОЛИЯ)	169
<b>А.А. Лаврусевич, Т.С. Алешина</b> НОВОЕ В КЛАССИФИКАЦИИ ЛЕССОВОГО ПСЕВДОКАРСТА	172

## ПРОГНОЗНЫЙ РАСЧЕТ ОСЕДАНИЯ ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ ГОРНОПРОМЫШЛЕННЫХ ОБЪЕКТОВ

Т.Г. Макеева\*, В.А. Трофимов\*\*

\* к.г.-м.н, доцент, Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет, 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д.26, Россия, e-mail: makeeva13new@yandex.ru

\*\* д.т.н., главный научный сотрудник, Институт проблем комплексного освоения недр им. академика Н. В. Мельникова РАН, 111020, Москва, Крюковский тупик, д.4, e-mail: asas\_2001@mail.ru

**Аннотация.** В докладе рассматривается геомеханический подход для прогнозных расчетов оседания поверхности горнопромышленных объектов в слоистой толще горных пород. Получены прогнозные расчетные параметры мульды оседания слоистой толщи налегающих пород для угольных шахт при отработке пластов горизонтального и наклонного залегания. Расчеты, проведенные с использованием полученных аналитических соотношений для определения максимального оседания земной поверхности в центре мульды и ее формы, согласуются с данными маркшейдерского мониторинга на шахтах Донецкого угольного бассейна.

**Ключевые слова.** Мульда оседания, метод граничных элементов, основная кровля, выработанное пространство, двухслойная геомеханическая модель

В эпоху техногенного этапа истории Земли происходит интенсивное освоение подземного пространства как при разработке месторождений полезных ископаемых, так и при строительстве подземных сооружений различного назначения (подземные хранилища газа, при сооружении городских туннелей, пересадочных узлов метрополитена и т. д.). Создание подземных выработок сопровождается оседанием земной поверхности, величина которых может достигать 1000 мм и более, в зависимости от размеров выработанного пространства, строения вышележающей толщи горных пород и их деформационно-прочностных свойств. Для обеспечения безопасности и безаварийной работы многих наземных сооружений и коммуникаций важно прогнозировать возникновение и протекание различных деформационных процессов в массиве горных пород, включая земную поверхность. Это весьма актуальная проблема как с научной, так и практической точек зрения, усилия по решению которой предпринимаются на протяжении многих десятилетий.

Многочисленные попытки применения разработанных подходов в рамках механики сплошных сред для анализа состояния и поведения массива при наличии выработок неглубокого заложения Wempen, J.M. (2020), Xuelin Yang etc.(2019), Chuang Liu etc. (2019) и др. не были успешными в полной мере, поскольку при сопоставлении результатов расчетов с реально замеренными величинами оседания на конкретных горнотехнических объектах были выявлены систематические, порой значительные расхождения. Если налегающий массив пород сложен прочными, слабо трещиноватыми породами, какой бы мощности они не были, т.е. в полной мере может считаться сплошным в рамках геомеханики, то прогнозные расчеты с использованием разработанных геомеханических подходов приводят к вполне адекватным результатам.

В случае вышезалегающего массива, сложенного осадочными породами, как правило, образованными многочисленными слоями с различными деформационно-прочностными свойствами, оседание поверхности не может быть адекватно описано с использованием какой-либо традиционно применяемой деформационной модели механики сплошной среды (упругой, упругопластической, вязкоупругой и др.).

В этом случае принято описывать деформирование земной поверхности в рамках другого направления – маркшейдерии, т. е. на основе проведения инструментальных наблюдений, что как правило связано со значительными материальными затратами на закладку реперных станций и проведение многолетних наблюдений. В этом направлении развиты многочисленные подходы, достаточно приемлемо описывающие особенности оседания земной поверхности. Тем не менее, вышезалегающий массив (слоистая толща) горных пород вместе с земной поверхностью также является геомеханическим объектом. Состояние и поведение объекта может быть рассмотрено с позиций геомеханики, возможно, с использованием *более сложной геомеханической модели*.

Целью исследования явилась разработка двухслойной геомеханической модели горных пород горнопромышленных объектов для прогноза осадок земной поверхности. Объектом исследования - поверхность слоистого массива осадочных горных пород угольных горнопромышленных объектов Донбасса.

Для условий многих шахт Донбасса характерно такое геологическое строение массива, когда непосредственно над угольным пластом залегает слой достаточно прочных и упругих песчаников мощностью от единиц до десятков метров и, который образует основную кровлю при проходке выработок. Эти песчаники характеризуются значениями упругих модулей  $E_{п} = 0.5 \cdot 10^7 \text{ т/м}^2$ , что в значительной степени превышает величины усредненного модуля упругости по всей толще налегающих пород. Эти песчаники образуют нижний слой модели — это основная кровля выработки, сложенная песчаниками толщиной  $h_{сл}$  с модулем упругости  $E_{п}$ .

При этом верхний слой модели — это все породы, лежащие выше песчаников вплоть до земной поверхности. Этот слой, как правило, более нарушенный в смысле сплошности и характеризуется некоторым усредненным модулем упругости  $E \ll E_{п.}$ . Ранее при математическом моделировании было показано, что верхний слой не оказывает существенного влияния на характер деформирования нижних слоев и может быть учтен в качестве пассивной нагрузки. Опыт отработки угольных пластов показывает, что такая ситуация весьма широко распространена на практике, что дает основания для использования описанной расчетной схемы толщи горных пород над угольным пластом для численного прогнозного расчета. Задача решалась методом граничных элементов с использованием алгоритма разрывных смещений. Выработка в пласте моделировалась набором граничных элементов. При решении этой задачи в такой постановке можно определить все параметры напряженно-деформированного состояния массива в любой точке, в том числе и на верхней поверхности рассматриваемого нижнего слоя, которая в избранной постановке отождествляется с земной поверхностью, т. е. рассчитать параметры мульды сдвижения. При любом математическом моделировании остается открытым вопрос об адекватности предложенной модели, т. е. сколь хорошо она будет соответствовать реальным замерам *in situ*. В связи с этим было проведено сравнение результатов слоистой модели оседания земной поверхности массива горных пород с данными маркшейдерского мониторинга для ряда шахт Донбасса.

Для этого были проведены предварительные расчёты для построения приближенных аналитических зависимостей, связывающих определяющие параметры рассматриваемой задачи. Для этого была проведена достаточно представительная серия численных решений поставленной задачи для различных комбинаций величин  $H$  (глубина залегания пласта),  $a$  (длина выработки),  $h_{сл.}$  (мощность кровли выработки). При варьировании исходных параметров были построены обобщенные кривые и получены формулы, описывающие процесс оседания земной поверхности для рассматриваемой модели массива. В итоге был построен график зависимости максимального оседания земной поверхности в центре мульды от безразмерной мощности слоя  $\bar{h}_{сл} = h_{сл}/a$  для разных величин безразмерной глубины  $\bar{H} = H/a$ .

Нормировка всех кривых на величину  $2\alpha a^2 \bar{H}$  приводит к единой кривой в координатах  $\left( \bar{w}_0 = w_0 / 2\alpha a^2 \bar{H}, \bar{h}_{сл} \right)$ , которая и отражает зависимость безразмерного оседания в центре мульды от безразмерной толщины слоя. При этом деформационные свойства пород кровли



отображаются комплексным параметром  $\alpha = \frac{2(1-\nu^2)\gamma}{E}$ . Приведена возможная аппроксимация полученной кривой посредством прямой линии в двойных логарифмических координатах для широкого диапазона мощностей основной кровли -  $0.25 < \bar{h}_{ct} < 5.0$ .

Для подтверждения достоверности разработанного подхода по оценке оседания земной поверхности приведены экспериментальные данные, полученные на шахтах Донбасса. Полученные расчетные результаты достаточно хорошо соответствуют реальным замерам максимальных оседаний в массиве и реальным формам мульды сдвижения при правильном выборе модуля упругости для слоя.

Таким образом, разработан геомеханический подход для прогнозных расчетов оседания поверхности горнопромышленных объектов в слоистой толще горных пород. Получены прогнозные расчетные данные мульды оседания слоистой толщи горных пород горнопромышленных объектов угольных шахт при определенных начальных и граничных условиях для горизонтального и наклонного залегания пластов. Полученные расчетные данные центра и формы мульды оседания поверхности для горизонтального и наклонного залегания пластов согласуются с данными маркшейдерского мониторинга шахт угольного бассейна Донбасса.

УДК: 55.550

## ТЕХНОГЕННЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ РЕЖИМА ПОДЗЕМНЫХ ВОД НА ЗАСТРОЕННЫХ ТЕРРИТОРИЯХ

**В.В. Фуникова \***, **И.В. Дудлер \*\***, **Р.Т. Бутаев \*\*\***

*\* к.г.-м.н., старший научный сотрудник, Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, 119234, г. Москва, ГСП 1, Ленинские горы, 1, Россия*

*\*\* к.т.н., профессор, член Научного совета РАН по проблемам геоэкологии, инженерной геологии и гидрогеологии, 101000, Уланский переулок, д.13, стр.2, а/я 145, Россия*

*\*\*\* руководитель проектов, ООО «Альтеркаса», 119121, Москва, 1-й Тружеников пер., 17 А, Россия*

**Аннотация.** Обращается внимание на комплексные техногенные изменения режима подземных вод на застроенных территориях, которые могут иметь целый ряд негативных последствий геоэкологического, инженерно-геологического и гидрогеологического плана. Кратко освещаются типичные для XX и начала XXI веков оседания поверхности территорий мегаполисов в связи с мощными и длительными водозаборами для питьевого и технического водоснабжения. Подчеркивается значение долгосрочных прогнозов техногенного изменения режима подземных вод, в частности длительных прогнозов подтопления на примере г. Москвы. Показывается особое значение контролирования и учета изменения градиента вертикальной фильтрации для застроенных территорий с потенциальной опасностью развития карстово-суффозионных процессов. Отмечается необходимость системного подхода к изучению и учету техногенных изменений режима подземных вод.

**Ключевые слова:** подземные воды, техногенные изменения режима подземных вод; геоэкологические, инженерно-геологические и гидрогеологические аспекты

### **ВВЕДЕНИЕ**

В широком спектре перманентно возрастающих техногенных изменений геологической среды особое значение имеют техногенные изменения *режима* подземных вод, являющихся её самой динамичной компонентой. В общем случае необходимо учитывать комплексные последствия техногенного изменения режима подземных вод: геоэкологические, инженерно-геологические и гидрогеологические. Конкретизируется их проявление. В докладе более детально рассматриваются и конкретизируются три аспекта рассматриваемой проблемы.

## АНАЛИТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

*Влияние откачек подземных вод на оседание территорий мегаполисов.* Ученые ряда стран, на территории которых зафиксированы значительные по размерам площади и глубине оседания городов, отмечают, что это явление связано главным образом с мощными и длительными водозаборами подземных вод. Например, на территории Китая в г. Сиань оседание поверхности на величину более 100 мм за период с 1950 по 2005 годы затронуло около 150 км<sup>2</sup>, при этом максимальные значения оседания достигали 2800 мм, в г. Шанхае оседание поверхности на величину более 200 мм с 1921 по 2005 годы затронуло около 10000 км<sup>2</sup> [1]. На территории г. Ханоя в результате активного водопотребления на нужды города (более 1 млн.м<sup>3</sup>/сут), образовались многочисленные депрессионные воронки и произошли оседания поверхности, достигающие 323 мм с 1996 по 2004 г. [**Ошибка! Источник ссылки не найден.**]. Оседание поверхности земли особенно опасно для прибрежных городов в связи с «наступлением» акватории на сушу. Приводятся примеры корреляции «проседания» территорий с откачками подземных вод.

*Долгосрочное прогнозирование подтопления территорий мегаполисов.* Непрерывно развивающиеся и нарастающие техногенные изменения режима подземных вод, как и геологической среды в целом [2], обуславливают необходимость составления долгосрочных прогнозов этих изменений для оценки их опасности, риска негативного проявления и принятия своевременных управляющих решений. В полной мере это относится и к долгосрочному прогнозированию подтопления застроенных территорий, которому, несмотря на высокую изученность данного процесса [4, 5, 6], пока не уделяется должного внимания. В данном направлении в начале 2000-х годов на кафедре инженерной геологии и геоэкологии МГСУ проводились теоретические и аналитические исследования [7,8]. Для долгосрочного прогнозирования подтопления территории Москвы в качестве исходных базовых данных были приняты материалы [4, 9] и разработана определенная методическая последовательность решения поставленной задачи, в том числе с выявлением закономерностей приращения площади подтопления от первоначальной пораженности этим процессом (на 1992г. [4]), типизации территорий административных округов города по подверженности подтоплению выделенных инженерно-геологических районов [9] и оценки категории опасности подтопления с учетом выполненных прогнозов, динамики развития техногенного подтопления за период 1992 - 2025 г. Проведенные аналитические исследования показали, что подтопление территорий административных округов г. Москвы носит прогрессирующий характер и к 2025 году площади поражения этим процессом возрастут по сравнению с 1992 годом в 1,1-2,4 раза (с 17-80% до 25-92% территории). Минимальное возрастание в 1,11–1,14 раз ожидается в ЮВАО, ЦАО и ВАО; среднее в 1,25-1,49 раз в САО,

СВАО и ЗАО; максимальное в 1,8-2,35 раза в СЗАО, ЮАО и ЮЗАО. При этом повышается категория опасности подтопления – так к 2025 г. в категорию «опасное подтопление» кроме ЮВАО будут входить ЗАО и СВАО.

***Изменение градиента вертикальной фильтрации подземных вод под влиянием техногенных изменений их режима.***

Относительно этого параметра ( $i_v$ ) не существует единого мнения и часто его роль недооценивается. Во многом это объясняется тем, что ранее не обращалось внимания на возможность существенного возрастания его величины под влиянием техногенных факторов. В докладе показывается, как в результате техногенного подтопления территорий или снижения пьезометрического уровня напорных вод, а часто при совместном развитии этих процессов происходит возрастание градиента вертикальной фильтрации. Даже при последующем восстановлении напора может сохраниться его высокое значение, опасное для территорий, подверженных карсту и карстово-суффозионным процессам. Это следует учитывать, так как при достижении критических значений  $i_v$  (более 3) может произойти разрыв слоя верхнего водоупора межпластовых напорных вод (в том числе регионального) с последующим развитием карстово-суффозионного процесса.

## **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

Анализ рассмотренной проблемы показывает, что изучение и учет техногенных изменений режима подземных вод на застроенных территориях, прежде всего мегаполисов, следует проводить с позиций системного подхода. В частности, необходимы организация гидрогеологического мониторинга, разработка методики составления долгосрочных гидрогеологических прогнозов, включение карты градиента вертикальной фильтрации в состав комплекта гидрогеологических карт, составление динамических гидрогеологических моделей территории города, а также особо опасных и технически сложных объектов.

## **ЛИТЕРАТУРА**

1. Xu Y., Shen S.-L., Cai Z.-Y., Zhou G.-Y. The state of land subsidence and prediction approaches due to groundwater withdrawal in China // Natural Hazards. 2008. V. 45(1). P. 123-135.
2. Фи Х.Т., Строкова Л.А. Карты прогноза оседания земной поверхности в результате извлечения подземных вод в городе Ханое (Вьетнам) // Геоэкология. Инженерная геология, гидрогеология, геокриология. 2016. № 6. С. 543–556.
3. Дудлер И.В., Фуникова В. В. Геологическая среда в современную эпоху: приоритеты изучения и оценки с позиций инженерной и экологической геологии // Тр. Межд. научн. конф. «Новые идеи и теоретические аспекты инженерной геологии». Ред. В.Т.Трофимов, В.А.Королев. М.: ООО «Сам Полиграфист». 2021. С.108-113.
4. Осипов В.И. Зоны геологического риска на территории г. Москвы // Вестник РАН. 1994. Т. 64. № 1. С.32 - 45.

5. Дзекцер Е.С. Концепция защиты исторического города от подтопления: (На примере г. Ростова Велик.). М.: ГУП ЦПП, 1999. 52 с.
6. Дзекцер Е.С., Пырченко В.А. Технология обеспечения устойчивого развития урбанизированных территорий в условиях воздействия природных опасностей. М.: ЗАО "ДАР/ВОДГЕО". 2004. 166 с.
7. Дудлер И.В., Воронцов Е.А., Бутаев Р.Т. Литотехнический мониторинг на городских территориях: концепция, методика, принципы, направления использования / В сб. Тр. Межд. научной конф. «Мониторинг геологических, литотехнических и эколого-геологических систем». Москва. Геологический факультет, 24–25 мая, 2007. Под ред. Трофимова В. Т. и Королева В.А. // М.: Издательство Моск. университета. 2007. С. 47–48.
8. Дудлер И.В. Классификация застраиваемых и застроенных территорий по подтоплению // В сб. Денисовские чтения. I. По результатам юбилейного заседания каф. Инженерной геологии и геоэкологии МГСУ. М.: МГСУ. 2000. С. 42–49.
9. Москва: геология и город / гл. ред. В.И.Осипов и О.П.Медведев // М.: АО «Московские учебники и картография», 1997. 400 с.
10. Бутаев Р.Т. К вопросу о долгосрочном прогнозировании техногенного подтопления мегаполисов // В сб. IV Денисовские чтения. «Проблемы обеспечения экологической безопасности строительства» (23 октября 2008 года). Московский государственный строительный университет. М.: МГСУ. 2008 С. 138 -140.

## НАРАСТАЮЩИЕ ТЕХНОГЕННЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ СРЕДЫ

**В.В. Фуникова \***, **И.В. Дудлер \*\***

*\* к. г.-м.н., старший научный сотрудник, Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, 119234, г. Москва, ГСП 1, Ленинские горы, Россия*

*\*\*к.т.н., профессор, член Научного совета РАН по проблемам геоэкологии, инженерной геологии и гидрогеологии, 101000, Уланский переулок, д.13, стр. 2, а/я 145, Россия*

**Аннотация.** Целью данной работы была концептуальная постановка проблемы нарастающей опасности техногенных изменений геологической среды. На основе результатов аналитических исследований и обобщений опубликованных материалов российских и зарубежных авторов, дается общая характеристика проблемы техногенных изменений геологической среды. Указываются приоритетно значимые аспекты этих изменений и выявленные авторами закономерности некоторых явлений, в том числе возрастание со временем скорости оседания территорий мегаполисов и крупных городов. Подчеркивается актуальность введения понятий о предельно допустимых нагрузках и воздействиях на геологическую среду и категорий её техногенных изменений, составления карт уязвимости геологической среды к техногенным воздействиям и карт риска её техногенных изменений. Предлагаются пути преодоления рассматриваемой проблемы.

**Ключевые слова:** геологическая среда, техногенные изменения, характер и масштабы опасности, пути преодоления проблемы

### ВВЕДЕНИЕ

Глобальную проблему техногенной эпохи Земли ещё в начале XX века предвидел и оценил великий русский ученый В.И. Вернадский [1]. С середины прошлого века многими учеными активно продвигается идея, что человечество вступило в новую геологическую эпоху – антропоцен [2], когда по интенсивности и масштабам эволюционные изменения геологической среды под влиянием природных факторов, значительно меньше вызванных техногенными нагрузками и воздействиями. Важность первоочередного внимания Инженерной геологии в XXI веке к изучению и оценке техногенных изменений геологической среды отмечалось российскими учеными на ряде международных конференций, в том числе в Пекине [3], Москве [4].

## АНАЛИТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

К настоящему времени накопились многочисленные данные об изменениях геологической среды [5], прежде всего на территории мегаполисов в разных регионах Земли. Ареолами наиболее опасных техногенных изменений геологической среды также являются территории промышленных и энергетических объектов, рудников и многих других объектов, относящихся к особо опасным и технически сложным.

Анализ современной изученности рассматриваемой проблемы позволяет выделить следующие приоритетно значимые техногенные изменения геологической среды: оседания поверхностей территорий, особенно мегаполисов и крупных агломераций; подтопление и затопление территорий, расположенных вблизи крупных акваторий; изменения режима разных водоносных горизонтов подземных вод; интенсификация опасных геодинамических процессов, нередко приводящей к потере несущей способности грунтов и другие.

Техногенные изменения геологической среды носят комплексный и стадийный характер, имеют важное геоэкологическое, инженерно-геологическое и геотехническое значение. Прослеживается закономерное возрастание по глубине нижних границ каждого яруса геологической среды. Так на протяжении XIX, XX и первой четверти XXI века для верхнего яруса они составляли 5, 25 и 50-75 метров, для среднего яруса 15, 50 и 100-150 метров, а для нижнего – 25, 100 и более 250-300 метров соответственно. Наибольшие техногенные изменения происходят в верхнем и, частично, в среднем ярусах геологической среды [3, 4].

Особое значение приобретают оседания земной поверхности городов, главным образом крупных мегаполисов. Авторами были рассмотрены данные об осадках территории 20 городов в 11 странах Европы, Азии и Северной Америки. Анализ показал, что величины осадок в отдельных регионах измеряются метрами за период наблюдений в XX-XXI веках, а скорости оседания – десятками миллиметров в год (локально по максимальным значениям до первых сотен мм/год), причем с явным трендом возрастания скорости осадок со временем. Так, например, максимальные значения скорости оседания территории г. Джакарта составляли в период 1982 -1990 г. - 90 мм/год, 1991 -2006 г. – 250 мм/год, 2007 - 2008 г. 280 мм/год [6]. Если высокие темпы оседания поверхности застроенных территорий в ряде регионов продолжатся, то к 2040 г. 12 мил. кв. км, где проживает 19% населения Земли, окажутся ниже уровня мирового океана [7]. Эти данные полностью подтверждают выдвинутое нами положение об актуальности установления предельно допустимых нагрузок и воздействий на геологическую среду, а также введении понятия о категориях техногенных изменений геологической среды [4].

Оседание застроенных территорий в большинстве опубликованных работ связывается с огромными откачками воды из различных водоносных горизонтов. Вместе с тем необходимо

принимать во внимание бурный рост массы техносферы. В городах вносит свой «вклад» и многовековой рост «культурного слоя», создающий дополнительное давление на геологическую среду города. Следует учитывать, что оседания территории ведут к дополнительным осадкам зданий и сооружений, они могут превышать допустимые значения осадок и кренов, в том числе особо опасных и технически сложных объектов [8].

Представляется актуальным поставить вопрос о необходимости разработки методики составления карт риска техногенных изменений геологической среды. Для их построения необходимо располагать картами распространения геологических опасностей на рассматриваемой территории (карты геологической «уязвимости» геологической среды), а также картами концентрации техногенных нагрузок и воздействий на эту территорию.

Основными принципами построения прогнозной карты риска техногенных изменений геологической среды, по мнению авторов, должны быть следующие: дифференцированного и интегрального подходов; интерференции рассматриваемых факторов и воздействий; приоритетности по факторам; разномасштабного картирования; регионального подхода и др. Составление указанной карты позволит обосновать расположение и специфику сети соответствующего мониторинга геологической среды.

По мнению авторов, основные направления в преодолении рассмотренной проблемы заключаются в необходимости осуществления системного подхода на основе разработки современной концепции и принципов проведения исследований для решения теоретических и прикладных задач; в разработке критериев предельно допустимых воздействий на геологическую среду и выделение категорий её техногенных изменений; организации исследований на региональном и федеральном уровне; создании Центра Мониторинга геологической среды для координации работ по системному подходу к изучению техногенных изменений геологической среды.

## **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

Наращение интенсивности и масштаба техногенных изменений геологической среды носит глобальный характер, а для ряда регионов достигает уровня, близкого к критическим значениям. Техногенные изменения геологической среды отличаются многоплановостью, закономерным возрастанием параметров отдельных явлений, имеющих общее геоэкологическое, инженерно-геологическое и геотехническое значение. Есть все основания утверждать, что к настоящему времени эти изменения представляют существенную проблему для обеспечения устойчивого развития общества, требующую приоритетного внимания. Сформулированные авторами предложения могут рассматриваться в качестве первоочередных путей преодоления этой проблемы.



## ЛИТЕРАТУРА

1. Вернадский В. И. Несколько слов о ноосфере // Успехи современной биологии. 1944. Т. 18. Вып. 2. С. 113 -120. Режим доступа: Ноосферные исследования. 2013. Вып. 1 (3). С. 6–17. URL: [http://glonoos.com/wp-content/uploads/Vernadsky\\_article.pdf](http://glonoos.com/wp-content/uploads/Vernadsky_article.pdf)
2. Braje T.J. Earth Systems, Human Agency, and the Anthropocene: Planet Earth in the Human Age // Journal of Archaeological Research. 2015. Vol. 23 (4). P. 369–396. DOI: 10.1007/s10814-015-9087-y.
3. Doudler I.V., Vorontsov E.A., Liarski S.P. Engineering geology priorities in XXI century// Global View of Engineering Geology and the Environment. Proc. of the Intern. Symp. and 9th Asian Reg. Conf. of IAEG. 2013. P. 575-580.
4. Дудлер И.В., Фуникова В. В. Геологическая среда в современную эпоху: приоритеты изучения и оценки с позиций инженерной и экологической геологии/ Тр. Межд. научн. конф. «Новые идеи и теоретические аспекты инженерной геологии» // Под редакцией В.Т.Трофимова и В.А.Королева, Москва, МГУ, 4 февраля 2021. М.: ООО «Сам Полиграфист», 2021. С.108-113.
5. Осипов В. И., Еремина О.Н., Козлякова И.В. Оценка экзогенных опасностей и геологического риска на урбанизированных территориях (обзор зарубежного опыта). /Геоэкология. Инженерная геология. Гидрогеология, Геокриология. 2017, № 3, С.3 -15.
6. Abidin H.Z., Andreas H., Gumilar I., Fukuda Y., Pohan Y. E., Deguchi T. Land subsidence of Jakarta (Indonesia) and its relationwith urban development // Natural Hazards. 2011. Vol. 59(3). P. 1-19. DOI: 10.1007/s11069-011-9866-9
7. Herrera-Garcna G., Ezquerro P., Tomas R., Bejar-Pizarro M., Lopez-Vinielles J., Rossi M., Mateos R. M., Carreon-Freyre D., Lambert J., Teatini P., Cabral-Cano E., Erkens G., Galloway D., Hung W.-Ch., Kakar N., Sneed M., Tosi L., Wang H., Ye Sh. Mapping the global threat of land subsidence // Science. AAAS. 2021. Vol. 371. Issue 6524. P. 34–36. DOI: 10.1126 / science. abb8549.
8. Dudler I.V., Khayme N.M., Lyarskii S.P. Methodology of Site Investigation for Extremely Hazardous, Technologically Complicated, and Unique Engineering // Water Resources. 2015. Vol. 41(7). P. 904-915. DOI: 10.1134/S0097807814070045.

## ПРИМЕРЫ АВАРИЙ СООРУЖЕНИЙ В КРИОЛИТОЗОНЕ, СВЯЗАННЫЕ С ДЕГРАДАЦИЕЙ МЕРЗЛОТЫ

М.В. Королев \*, А.Н. Власов \*\*, А.В. Остякова \*\*\*, Ю. Н. Лукьянова \*\*\*\*

\*к.т.н., доцент, заведующий лабораторией геомеханики, Институт прикладной механики РАН, 125040, г. Москва, Ленинградский пр-т, 7, Россия

\*\*д.т.н., директор, Институт прикладной механики РАН, 125040, г. Москва, Ленинградский пр-т, д. 7, Россия

\*\*\* к.т.н., доцент, ст. науч. сотр., Институт водных проблем РАН, 119333, г. Москва, ул. Губкина, 3, Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет, 129337, г. Москва, Ярославское ш., 26, Россия

\*\*\*\*аспирант, Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет, 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26, Россия

**Аннотация.** В связи с изменением климата и деградацией мерзлоты часто происходят аварии различных строительных объектов. Рассматриваются аварии на крупных объектах, случившиеся в последнее время в городе Норильске, в частности, резервуар для хранения дизельного топлива на ТЭЦ-3, обрушение сооружений на горно-обоганительной фабрике «Медвежий ручей», аварийная ситуация на объекте Дворец культуры. Анализируются причины аварий. Кратко приводятся методики экспертизы аварийных объектов. Рассматриваются и обобщаются общие причины аварий на всех трех объектах. Сформулированы основные направления по предотвращению и ликвидации аварийных ситуаций, в частности: требуется разработка эффективных методов обследования, создание эффективной системы мониторинга объектов, необходимость совершенствования системы негосударственной экспертизы промышленной безопасности объектов, разработка новых эффективных методов геомеханических испытаний, методов численного моделирования, способов восстановления поврежденных сооружений, а также разработка и актуализация соответствующей нормативной базы.

**Ключевые слова:** деградация мерзлоты, потеря несущей способности свай, аварии зданий и сооружений, экспертиза аварийных объектов.

### ВВЕДЕНИЕ

В России 63% территории занимают вечномёрзлые грунты. Около 75 % зданий и сооружений у нас построены по принципу сохранения вечной мерзлоты, в том числе на сваях,

вмороженных в грунт, с высоким ростверком и вентилируемым подпольем. Увеличение температуры грунтового основания всего на 1–2°C резко снижает несущую способность свай (до 50 %). Растепление массива, уменьшение несущей способности грунтов оснований сооружений и термические просадки мерзлых грунтов при оттаивании вызывают дополнительные неравномерные недопустимые осадки различных сооружений: зданий, дорог, трубопроводов, опор мостов, разрушение берегов рек и морей, образование термокарстов, заболачивание территорий, образование газогидратных воронок.

По данным МЧС в Западной Сибири ежегодно фиксируется 35 тысяч отказов нефте- и газопроводов и количество их возрастает. В Тюмени из-за аварий нефтепроводов ежегодно разливается 10000 т нефти. Количество природных катастроф, связанных с изменением климата с ущербом более 1% ВВП страны, с 1963 по 1992 г. возросло в 4 раза. Общий ущерб от природных и техногенных катастроф за этот период составил 340 млрд \$.

Приведем несколько примеров крупных аварий, произошедших в последнее время, связанных во многом с быстрым изменением инженерно-геологических условий из-за деградации мерзлоты.

## **МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ**

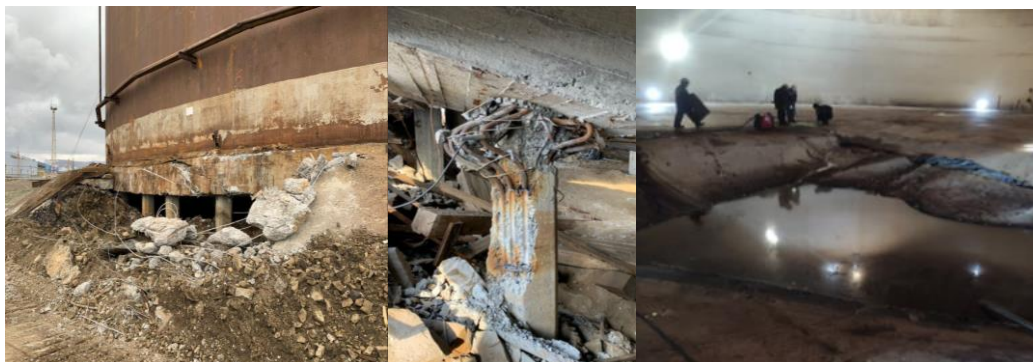
Приводится описание и анализируются причины крупных аварий в г. Норильске, связанных с изменением климата и деградацией мерзлоты [3]. Несмотря на различие объектов, выделяются общие характерные причины этих аварий [1]. При проведении исследований использовались архивные материалы по объектам, данные обследования и изысканий, выполненных другими организациями, анализ результатов осмотра характера разрушений, инструментальное обследование диагностическими экспресс-методами строительных конструкций. На основе обобщения полученных данных были составлены программы необходимых дополнительных исследований (инженерно-геологические изыскания, мерзлотные исследования, испытания образцов металлов, состав расчетов и задач численного моделирования). В исследованиях, в том числе, использовались разработки ИПРИМ РАН [1,2,3,4,5]. Работы осуществлялись с опиранием на нормативные документы [6,7,8,9,10]

## **РЕЗУЛЬТАТЫ**

### ***1. Авария резервуара для хранения дизельного топлива***

29 мая 2020 г. на хранилище дизельного топлива ТЭЦ-3 предприятия «Норильский никель» в г. Норильске произошла крупная авария: потеря несущей способности 33 свай, разрушение ростверка и днища металлического резервуара для хранения дизельного топлива

с последующим разливом 20 тысяч тонн нефтепродуктов и попадании их в грунт и водоемы (рис. 1). Сооружение было построено в 1983 году.



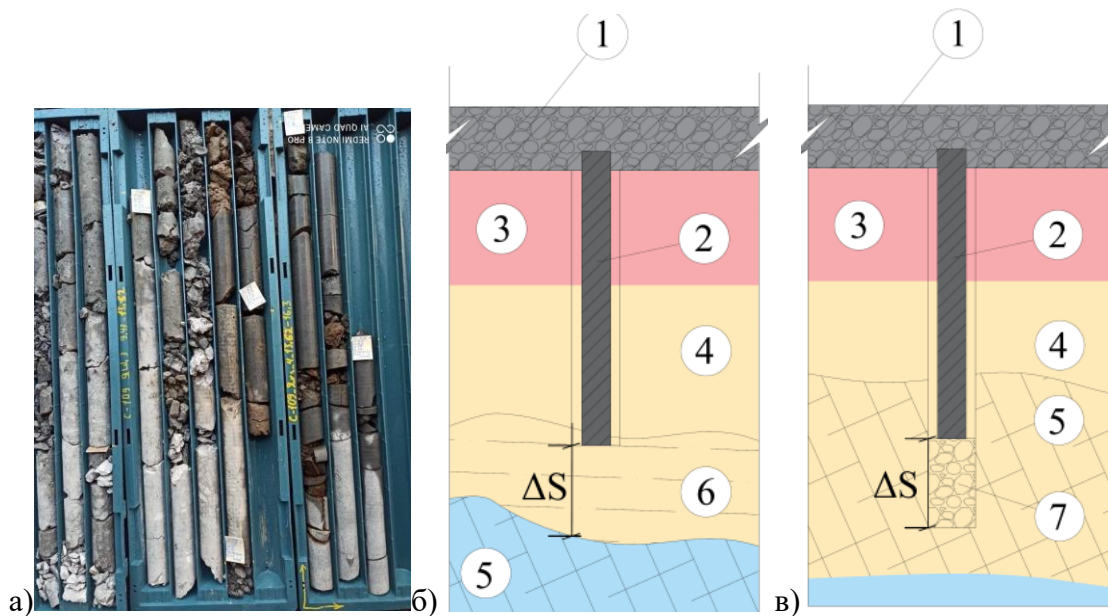
**Рисунок 1.** Резервуар после аварии: а) вид резервуара снаружи; б) разрушенные сваи и ростверк резервуара, вид из подполья; в) провал и разрыв металлического днища в резервуаре после разрушения, вид изнутри резервуара

Основанием сооружения являлись 160 свай-стоек заводского изготовления на высоком монолитном ростверке с опиранием свай на скальные грунты – габрро-долериты. Которые залегали на глубине от 5 до 8 метров и находились в разных по сохранности состояниях: от сохранных до сильно выветрелых.

Для установления причин аварии были проанализирована имеющаяся документация, характер разрушений, выполнены работы по визуальному обследованию конструкций, проведены дополнительные инженерно-геологические и мерзлотные исследования и численное моделирование.

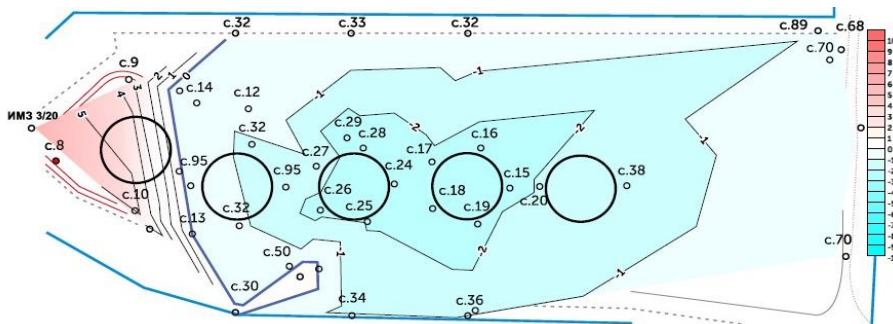
Анализ проектной документации выявил существенные недостатки проектирования: неудачное размещение свай в ростверке, в результате чего на сваи передавалась крайне неравномерная нагрузка: сваи, расположенные ближе к центру ростверка, оказались перегружены, а периферийные недогружены.

Инженерно-геологические изыскания показали (рис. 2), что часть свай опиралась на сильно трещиноватые и выветрелые до состояния щебня габрро-доллериты, которые при оттаивании могли существенно изменить свои механические свойства [8].



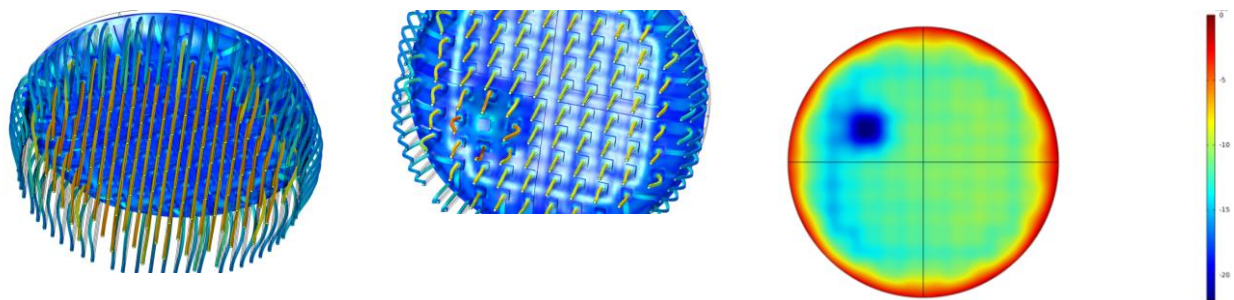
**Рисунок 2.** а) – фото кернов из скважин, пробуренных через сваи; б) – схема опирания сваи на трещиноватые габрро-доллериты; в) – схема опирания сваи на незачищенный забой скважины. 2 –свая; 3 – вентилируемое подполье; 4 – насыпной грунт; 5 – трещиноватые габрро-доллериты; 6 – выветрелые до состояния щебня габрро-доллериты; 7 – буровой шлам.

Мерзлотные исследования по итогам Большой норильской экспедиции (лето-осень 2020) (Сибирское отделение РАН) показали существенное изменение температур массива грунтов и образование талика под частью резервуара (рис. 3).



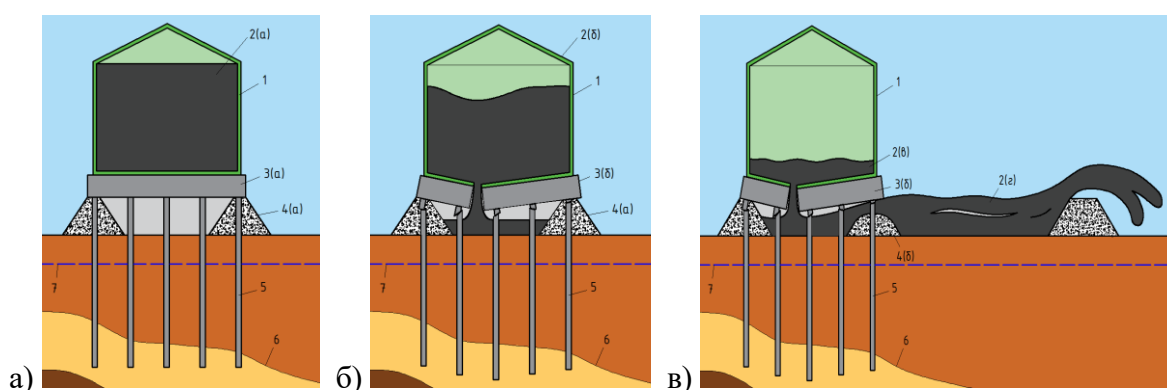
**Рисунок 3.** Схема температурного поля под резервуаром

Расчеты и численное моделирование показали, что при изменении температуры трещиноватых скальных грунтов существенно уменьшается несущая способность свай. В результате неравномерной нагрузки на сваи в ростверке возникали значительные изгибающие моменты. Просадка и потеря устойчивости даже одной сваи вызывает прогрессирующее обрушение остальных и разрушение ростверка. (рис. 4).



**Рисунок 4.** Результаты численного моделирования температурного поля

Таким образом, схема и последовательность разрушения сооружения выглядела следующим образом (рис. 5):



**Рисунок 5.** Схема, иллюстрирующая стадии разрушения и стадии утечки дизельного топлива: 1 – металлический резервуар; 2 – дизельное топливо (2, а – в резервуаре до разрушения; 2, б – после разрушения и попадания в подполье резервуара; 2, г – прорыв дизельного топлива из внутреннего пространства подполья под напором с образованием волны, перехлестнувшей через наклонную дамбу обвалования; 3 – ростверк (3, а – до разрушения; 3, б – после разрушения); 4 – грунтовое обвалование, покрытое металлическими листами снаружи, ограждающее подполье (4, а – до разрушения и размыва; 4, б – после разрушения и размыва); 5 – сваи; 6 – скальное основание; 7 – уровень сезонного оттаивания-промерзания грунта

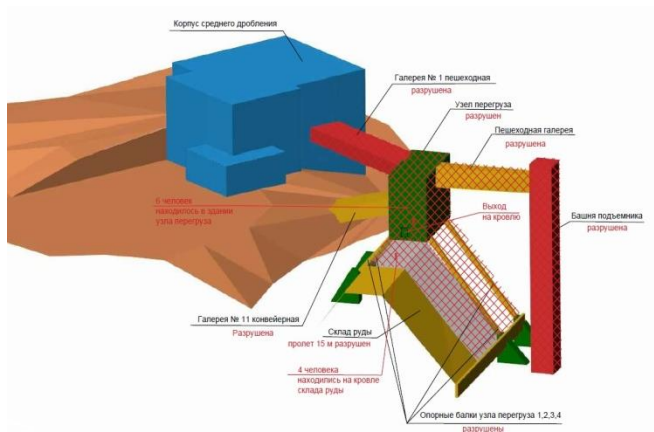
Важно отметить, что резервуар проходил экспертизу промышленной безопасности и был разрешен к эксплуатации, но, несмотря на это, авария произошла.

Таким образом, установлено, что основными техническими причинами аварии явилась деградация мерзлоты, потеря несущей способности свай, недостатки в проектировании и неэффективность экспертизы промышленной безопасности.

## **2. Авария на Норильской обогатительной фабрике**

На Норильской обогатительной фабрике «Медвежий ручей», 20 февраля 2021 г. произошло внезапное обрушение двух пешеходных галерей, башни подъемника, узла перегрузки руды, конвейерной галереи и конструкций на складе руды, в том числе, опорных балок и 15-метрового пролета. Этот комплекс был построен в 1948 году (рис. 6).





**Рисунок 6.** Схема и фото сооружений до обрушения

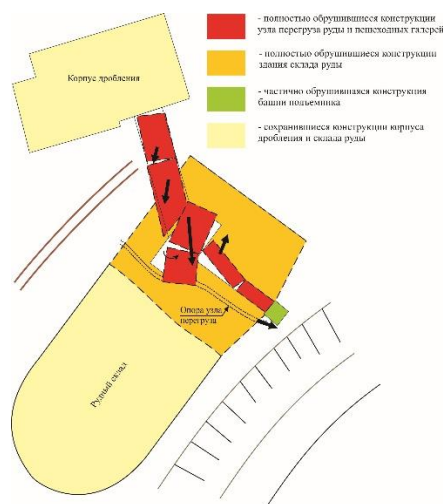
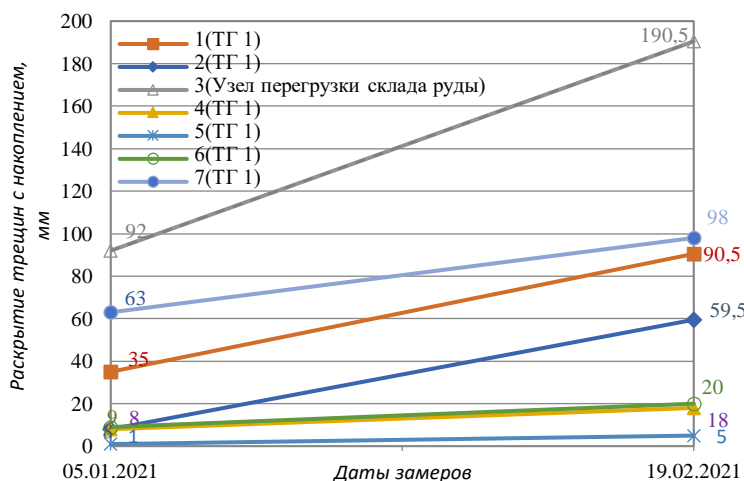
На рисунке 7 показан объект после аварии.



**Рисунок 7.** Фото сооружений после обрушения

Для установления причин аварии были проанализированы: имеющаяся документация, характер разрушений, результаты геодезических наблюдений, проведено визуальное обследование элементов конструкций после разборки, проведены испытания образцов металла, отобранных из разрушенных металлоконструкций, произведены дополнительные инженерно-геологические, мерзлотные исследования и численное моделирование.

Анализ результатов геодезических наблюдений показал, что в последнее время перед обрушением скорость развития имеющихся трещин в конструкциях резко возросла, это произошло в последние дни перед аварией. Элементы конструкций начали смещаться в сторону склона. При этом характер смещений носил сложный характер (рис. 8).

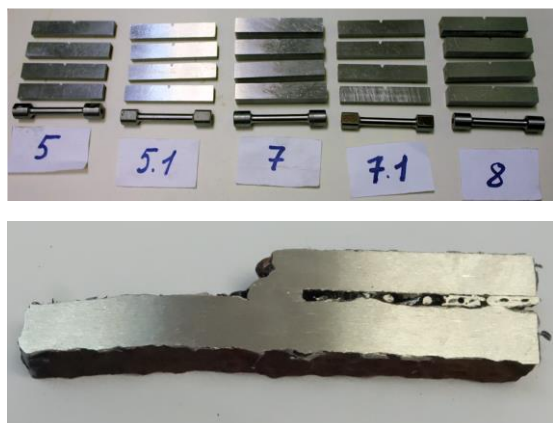


а)

б)

**Рисунок 8.** График увеличения раскрытия трещин зимой 2021 г. (а) и схема полного и частичного обрушения сооружений узла перегрузки руды (б)

Испытания образцов металла и сварных соединений (рис. 9, а) показали, что металлоконструкции были выполнены из нескольких марок стали, непригодной для эксплуатации при низких температурах, и обладали пониженной ударной вязкостью. В сварных соединениях выявлены напоровую. Поэтому при подвижках опор произошли хрупкие разрушения (рис. 9, б).



а)



б)

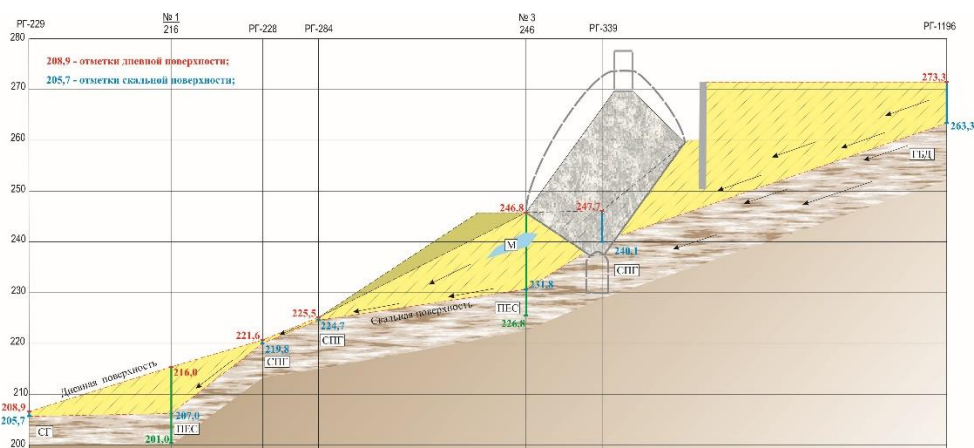
**Рисунок 9.** Образцы для механических испытаний, вырезанные из остатков обрушившихся конструкций. Поперечные темплеты для выявления макроструктуры сварных соединений (а). Фото разрушения металлоконструкции (б)

Дополнительными инженерно-геологическими и мерзлотными исследованиями установлено, что основанием фундаментов являются сильно трещиноватые и выветрелые глинистые сланцы и песчаники, находящиеся в талом состоянии, перекрытые насыпными грунтами. Ранее же массив находился в твердо мерзлом и устойчивом состоянии.

Скальные грунты основания с течением времени существенно изменили свои свойства. Часть грунтов из-за теплового влияния сооружений и климатических изменений в районе



рассматриваемых сооружений перешла в талое состояние. По трещинам в оттаявшей скале в летнее время фильтровали грунтовые воды с выходом на поверхность откоса. За зимний период грунты склона с поверхности промерзли на некоторую глубину и преградили выход грунтовых вод на поверхность склона. В талой же части массива вода продолжала фильтровать. Это привело к тому, что в части трещин незамерзших грунтов возник гидростатический напор, что существенно снизило сопротивление сдвигу по трещинам этой части грунтового массива и постепенное его смещение в сторону склона (рис. 10).

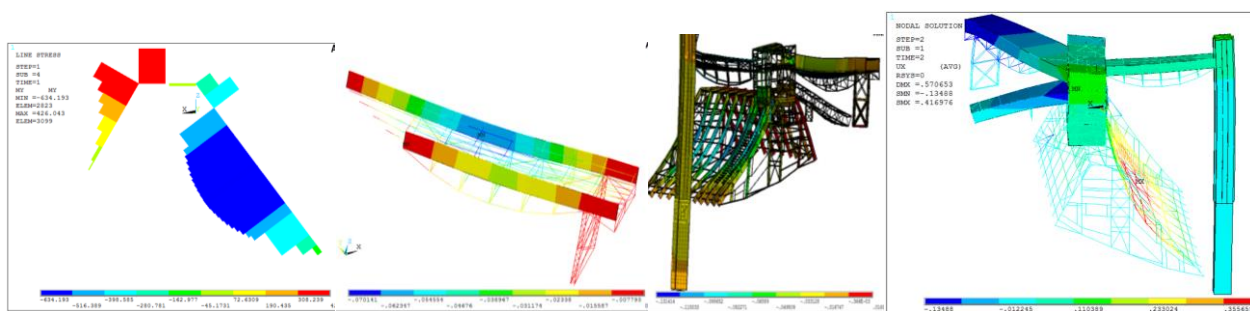


**Рисунок 10.** Схема расположения шурфов и скважин, их высотных отметок и размеров

Ситуация усугублялась тем, что в карьере в километре от объекта периодически велись взрывные работы.

Подобный механизм потери устойчивости откосов описан в [2 ]

Проведенные многочисленные расчеты всего комплекса сооружений в МКЭ в программном комплексе ANSYS и его строительном модуле ANSYS /CiviFEM и отдельных элементов на различные случаи и сочетания нагрузок показали, что конструкции находились в предельном состоянии, и при незначительном смещении опор конструкция разрушалась.



**Рисунок 11.** Примеры результатов численного моделирования всего сооружения и отдельных конструкций.

### 3. Аварийная ситуация на здании Дворца культуры в городе Норильске

Здание Дворца культуры было построено в центре Норильска и введено в эксплуатацию в 1965 г. (рис. 12). Интересной особенностью сооружения явилось то, что оно было возведено на месте бывшего озера (рис. 13).



Рисунок 12. Фото Дворца культуры в Норильске, лето 2021 года



Рисунок 13. Фото Дворца культуры 1960-х гг.

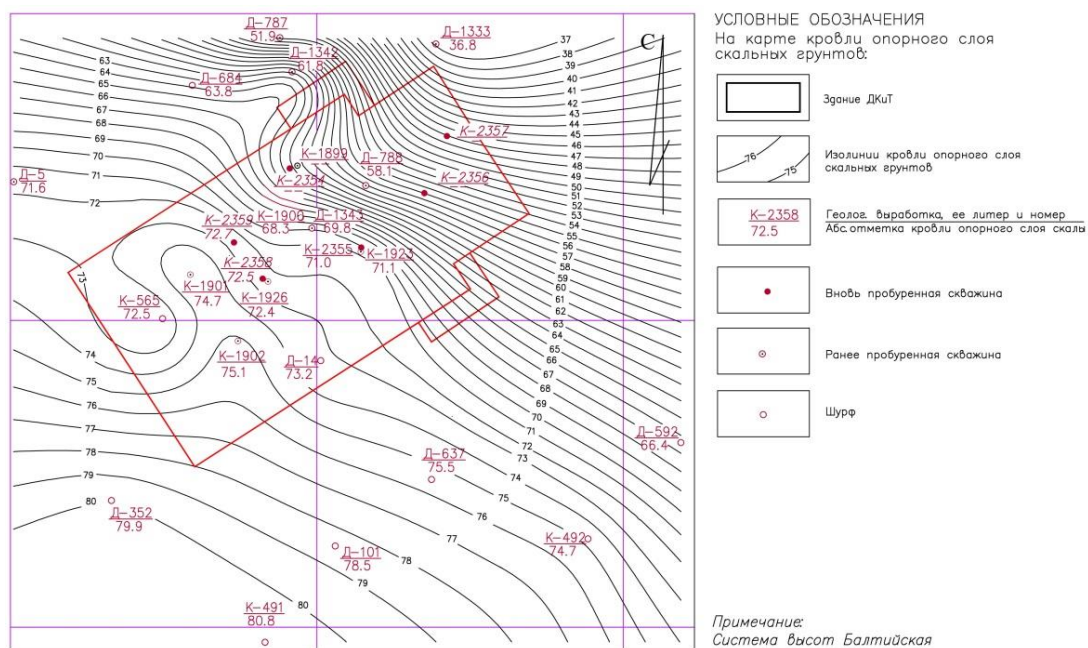
Фундаменты здания Дворца культуры выполнены в виде железобетонных свай, помещенных в предварительно пробуренные скважины, вмороженные в грунт (рис. 14), объединенных высокими ленточными ростверками. Здание имеет вентилируемое подполье.



Рисунок 14. План фундаментов с нанесенными сваями и скважинами.

Кровля скальных грунтов (габбро-долеритов) находится на разных глубинах и располагается в пределах сооружения на глубинах от трех до тридцати семи метров (рис.

15). Поэтому часть свай опиралась на прочные габбро-долериты и работали, как сваи-стойки, а другая часть работала как висячие сваи. Однако, поскольку грунты находились в твердомерзлом состоянии, долгое время неравномерных деформаций не происходило.



**Рисунок 15.** Карта кровли опорного слоя скальных грунтов. М 1:500

В последние годы в результате деградации мерзлоты, здание стало испытывать значительные неравномерные деформации, проявляющиеся в образовании прогрессирующих трещин в верхних конструкциях на значительной части здания, трещинах в ряде ленточных ростверков (рис. 16).



**Рисунок 16.** Трещины в здании Дворца культуры в г. Норильске, лето 2021 года

Для того, чтобы уменьшить неравномерные деформации, в качестве временных противоаварийных мероприятий были установлены дополнительные опоры и клетки из шпал (рис. 17).



**Рисунок 17.** Подвальная часть здания Дворца культуры

Тем не менее, деформации продолжались. В настоящее время здание не эксплуатируется. Чтобы установить причины неравномерных осадок и принять меры по восстановлению эксплуатационной способности здания, разными организациями проводились инженерные обследования сооружения, георадарные исследования, теплотехнические расчеты, дополнительные инженерно-геологические и мерзлотные исследования, геодезические наблюдения. Однако результаты исследований были достаточно противоречивы, и до сих пор надежных методов восстановления не предложено.

Несмотря на различие объектов и совокупности факторов, которые привели к авариям сооружений, их объединяет то, что все они связаны с деградацией мерзлоты. Проектирующие организации допустили серьезные ошибки, не предусмотрев возможность изменения температуры грунтов оснований, что существующие методы и методики инженерных изысканий не позволяют достоверно оценить механические свойства грунтов при различных температурах. То, что существующие методики и системы мониторинга объектов, а также методики проведения экспертизы промышленной безопасности неэффективны и нуждаются в пересмотре и дальнейшем развитии. Кроме того, к настоящему времени не разработаны эффективные методы по восстановлению эксплуатационной способности сооружений, претерпевающих деформации конструкций фундаментов в результате деградации мерзлоты.

## **ВЫВОДЫ**

1. Главной причиной аварий рассмотренных объектов является деградация мерзлоты.
2. На сегодняшний день не разработаны эффективные методы обследования и мониторинга сооружений в криолитозоне.
3. Не разработаны методы восстановления подобных сооружений.



4. Ситуация на рассмотренных объектах показала неэффективность негосударственной экспертизы промышленной безопасности.

5. В ближайшее время, поскольку деградация мерзлоты продолжается, а новые методы изысканий, обследований, мониторинга и восстановления сооружений не разрабатываются, а также учитывая огромное количество сооружений, можно ожидать значительное увеличение числа подобных аварий.

6. На сегодня практически нет специальных нормативных документов, предписывающих принятие комплекса конкретных мер по сохранению работоспособности сооружений в изменяющихся условиях и отработанных алгоритмов и технологий по адаптации к существенному изменению начальных условий.

7. Требуется срочная разработка эффективных методов изысканий, обследований, мониторинга и восстановления сооружений с последующим внедрением их в нормы и правила и поддержка этих работ на государственном уровне.

## **ЛИТЕРАТУРА**

1. Королев М. В. Примеры и причины аварий сооружений. Вопросы оценки и обеспечения качества строительных объектов, надежной работы оснований и фундаментов в условиях меняющихся природных и техногенных воздействий: монография // М. В. Королев, В.Н. Егоров, А.Н. Власов, В.В. Знаменский, О.И. Куцевич, А.Е. Икрамова. М.: ООО «СамПолиграфист». 2020. 216 с.
2. Королев М. В. Угличское водохранилище. Переработка берегов. Мониторинг. Геомеханические исследования: монография / М.В. Королев, А.Н. Власов, А.В. Остякова, И.А. Лупанова. М.: ООО «СамПолиграфист», 2017. 308 с.
3. Королев М.В. Системные инновации в методах исследования механических свойств грунтов: монография // М.В. Королев. М.: ФГБУН ИПРИМ РАН: ООО «СамПолиграфист», 2018. 376 с., ил.
4. Королев М. В. Системные инновации в методах исследования механических свойств грунтов. Инженерная геология. 2019. Т. 14. № 1. С. 88.
5. Кубецкий В.Л., Королев М. В. Особенности геотехнического обеспечения строительства ответственных сооружений в скальных массивах. В сборнике: Обеспечение качества, безопасности и экономичности строительства. Практика. Проблемы. Перспективы. Инновации. Материалы Второй совместной научно-практической конференции ГБУ «ЦЭИИС» и ИПРИМ РАН. 2020. С. 87–97.
6. МДС 12–4.2000 Положение о порядке расследования причин аварий зданий и сооружений, их частей и конструктивных элементов на территории Российской Федерации.
7. СП 22.13330.2011 Основания зданий и сооружений. Актуализированная редакция СНиП 2.02.01-83\*.
8. СП 25.13330.2012 Основания и фундаменты на вечномерзлых грунтах. Актуализированная редакция 2.02.04-88.
9. СП 13-102-2003 Правила обследования несущих строительных конструкций зданий и сооружений.
10. ГОСТ 31937–2011 Здания и сооружения. Правила обследования и мониторинга технического состояния.

**АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ СООТНОШЕНИЯ ТИПОВ ПРОСТРАНСТВЕННЫХ СТРУКТУР  
СКВЕРОВ Г. ОРЛА НА АРХИТЕКТУРНО-ЭКОЛОГИЧЕСКУЮ УСТОЙЧИВОСТЬ  
УРБАНИЗИРОВАННЫХ ЛАНДШАФТОВ**

**Е.В. Золотарева \*, Е.А. Коренькова \*\***

*\*к.с.-х.н., доцент, Орловский государственный университет им. И.С. Тургенева, 302026, г. Орел, ул. Комсомольская, 95, Россия*

*\*\*к.с.-х.н., доцент, Орловский государственный аграрный университет им. Н.В. Парахина, 302019, г. Орел, ул. Генерала Родина, 69, Россия*

**Аннотация.** Для разработки научно-обоснованного проектирования устойчивых урбозкосистем и реконструкции городских объектов ландшафтной архитектуры авторами предложен метод исследования территории скверов по выделенным контурам типов пространственных структур (ТПС), который позволяет выявить положительные и отрицательные факторы, влияющие на разработку проектных решений. Установлено, что для большинства скверов г. Орла с близким к предельному в городских условиях возрастом насаждений характерен закрытый тип пространственной структуры. В результате анализа размещения и соотношения типов пространственных структур на комплексную оценку территорий установлено, что закрытый тип пространственной структуры обусловил снижение не только привлекательности, но и выполняемой санитарно-гигиенической роли объектов ландшафтной архитектуры. Наиболее благоприятные условия для устойчивого функционирования древесных насаждений в городских скверах складываются в полуоткрытых и открытых пространствах.

**Ключевые слова:** скверы, тип пространственной структуры, древесные насаждения, ландшафтный объект, проектные решения, устойчивость.

## **ВВЕДЕНИЕ**

Основная цель современной государственной социально-экономической политики в градостроительстве - повышение качества жизни в городской среде, создание благоприятной среды обитания, обеспечение условий для устойчивого развития территории города [1,2]. Одним из факторов устойчивого развития города является: укрепление и развитие пространственного каркаса, сохранение природной среды, развитие зеленого строительства, сохранение историко-культурного наследия [3]. Элементы мезоструктуры природного каркаса города – сады, скверы, другие зеленые насаждения в пределах жилых районов и

микрорайонов. Чем больше таких территорий, тем выше экологическая эффективность системы озеленения города, а значит уровень комфорта городской среды для его жителей.

Состояние зеленых насаждений является важным индикатором качества городской среды, которое во многом определяет комфортность проживания. Согласно ФЗ «Об охране окружающей среды» (2002), мероприятия по охране зеленых насаждений направлены на формирование единой экологически устойчивой системы – зеленого каркаса города [4]. Город принято считать экологически благополучным, если 10–12% его площади составляют природные ландшафты, неиспользуемые в хозяйственных целях. Формирование устойчивых, эстетически ценных объектов ландшафтной архитектуры для гармоничного развития города возможно лишь при научном подходе [5].

Общая площадь г. Орла составляет 12121 га. По данным администрации г. Орла площадь зеленых массивов и насаждений общего пользования — 196 га, водных объектов — 155 га. Таким образом, уровень озелененности города Орла составляет около 2% (1,6%).

Скверам принадлежит значительная роль в повышении экологической устойчивости городской среды по занимаемой площади, и по количеству данных объектов, и по пространственному расположению в черте города. В связи с этим для повышения экологической эффективности системы озеленения г. Орла актуальным является комплексное исследование территории скверов и оценка динамики урбоэкосистем.

## **МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ**

Проект благоустройства сквера или парка должен возникать из научно-обоснованного исследования территории и исходить из дальнейшего развития этого объекта. Однако, на практике в проектах реконструкции объектов ландшафтной архитектуры и при создании новых этап оценки и прогноза устойчивости проектируемого ландшафта либо отсутствует полностью, либо является формальным, основанным на методиках определения устойчивости строительных конструкций и сооружений. При этом основными компонентами, определяющими качество ландшафтов в условиях города, являются растительный и почвенный покров, по состоянию которых можно судить об эффективности построения ландшафтной структуры, взаимосвязи между остальными компонентами ландшафта – литологической основой, гидрогеологическими и гидрохимическими условиями и т. д. [7]. В свою очередь, почва и растительность являются наиболее лабильными, наиболее деградируемыми компонентами городских ландшафтов, что и определяет скорость динамических изменений самих ландшафтов в целом [8,9].

Целью исследования является анализ территории скверов г. Орла для определения влияния типов пространственных структур на особенности функционирования ландшафтного объекта,

прогноза устойчивости исследуемого ландшафта и оценки динамики урбоэкосистем по состоянию древесной растительности.

**Задачи исследования:** 1. проанализировать размещение и соотношение типов пространственных структур на исследуемых объектах;

2. произвести эстетическую и санитарно-гигиеническую оценку ландшафта;

3. провести мониторинг состояния древесной растительности на объектах.

#### **Характеристика объекта исследования**

При проведении исследований были изучены территории 10 скверов, расположенных в разных районах г. Орла. Для всех исследуемых объектов характерна небольшая площадь (до 2 га), близкий к предельному в городских условиях возраст насаждений и типичное расположение в плане города: скверы граничат с магистральными дорогами со значительной транспортной нагрузкой. Территориальное расположение определяет негативную динамику состояния урбоэкосистем – растительность в скверах подвергается сильному загрязнению выхлопными газами и тяжелыми металлами, воздействию шума от транспорта. Исследования проводились в 2020 г.

#### **МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ**

Для разработки научно-обоснованного проектирования устойчивых урбоэкосистем и реконструкции городских объектов ландшафтной архитектуры предложен метод исследования территории скверов по выделенным контурам типов пространственных структур (ТПС), который позволяет выявить положительные и отрицательные факторы, влияющие на разработку проектных решений. При анализе ТПС исследуемых скверов использовали спутниковые снимки объектов. На снимке со спутника (в некоторых случаях целесообразнее использовать гибриды) выделялись контуры ТПС: открытых, закрытых и полукрытых. Для определения ТПС использовались следующие критерии: закрытый – кроны отдельных деревьев не различаются, образуют сплошной массив (признак горизонтальной сомкнутости); полукрытый – деревья отстоят друг от друга, границы крон каждого дерева хорошо определяются; открытый – открытое пространство (поляна, водоем, площадка и пр.). Ландшафтно-визуальный анализ территории объекта проводился путем комплексной эстетической и санитарно-гигиенической оценки каждого выделенного на территории типа пространственной структуры отдельно, что обусловило повышение объективности выводов, в отличие от методик оценки, предлагающих оценивание территорий объектов ландшафтной архитектуры в целом, без разделения на участки. Оценка динамики урбоэкосистем по состоянию древесной растительности также проводилась отдельно по типам пространственной структуры путем определения качественного состояния деревьев и их



категории жизнеспособности по стандартной методике мониторинга состояния городских зеленых насаждений.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Зеленые насаждения вместе с рельефом, сооружениями формируют образуют пространственную структуру объекта ландшафтной архитектуры. В качестве основного классификационного признака объемно-пространственной структуры принят тип пространственной структуры (ТПС), определяемый сомкнутостью полога древесных насаждений, густотой и характером их размещения на объекте ландшафтной архитектуры.

Размещение типов пространственных структур (ТПС) на небольших по площади объектах ландшафтной архитектуры обычно подчиняется определенной логике: закрытый ТПС располагается на периферии участка, а открытый – в центре. Классический вариант сквера должен быть открытым и хорошо просматриваемым. Однако, в условиях городской среды и существующей в городах России системе ухода за зелеными насаждениями, пространственная структура не всегда сохраняет проектные характеристики и после 20–30 лет функционирования объекта меняется на неблагоприятную.

Как показали наши исследования типа пространственной структуры на территориях скверов г. Орла, соотношение ТПС на объекте в большинстве случаев не соответствует градостроительным требованиям (таблица 1).

**Таблица 1.** Соотношение типов пространственной структуры ТПС в скверах г. Орла

Сквер	ТПС, %		
	закрытый	полукрытый	открытый
Имени Н. Н. Поликарпова	64	21	15
«Трамвайный»	35	29	36
«Буревестник»	10	50	40
«400-летия Орла»	15	30	55
Имени Л. Н. Гуртьева	69	10	21
Им. И. А. Бунина	65	10	25
«Комсомольский»	60	25	15
Писателей-орловцев	30	30	40
Сквер ОГУ	60	30	10
Имени В. В. Маяковского	10	40	50
Среднее	41,8	27,5	30,7

Данные табл.1 показывают, что в большинстве исследуемых скверов преобладает закрытый ТПС, в среднем данный тип пространственной структуры установлен на 41,8%

площади скверов. На таких пространствах отмечается полная горизонтальная сомкнутость полога, деревья произрастают в условиях недостаточной площади питания, освещения, что в условиях неблагоприятной экологической обстановки усугубляет условия произрастания насаждений и не может не вызвать их ослабления. Скверы с преобладанием закрытого ТПС излишне затенены, имеющиеся доминанты почти не выделяются на фоне насаждений. Также загущенные насаждения отрицательно сказываются на формировании системы видовых точек. Закрытые участки размещаются равномерно по всей территории, что объясняется отсутствием регулярного ухода за древесными насаждениями, а также значительным возрастом деревьев.

Расположение открытых (30,7% общей площади скверов) и полуоткрытых (27,5%) ТПС бессистемно, носит случайный характер. При этом у данных ландшафтов отмечается улучшение условий произрастания деревьев: границы крон каждого дерева, а следовательно площади питания, хорошо определяются.

Эстетическая оценка ландшафта (максимальное значение – 50 баллов) устанавливается по визуально-сравнительным заключениям и определяется четырьмя показателями: окружающее обрамление (насаждения, водные поверхности, архитектура) – как наиболее важный фактор оценивается наибольшим количеством баллов; видовые точки (насыщенность, уникальность, глубина перспектив); рельеф (экспозиция, % уклона); почвенно-растительный покров (состояние, разнообразие).

Для характеристик санитарно-гигиенического состояния исследуемого объекта принимается их пригодность к выполнению санитарно-гигиенических и оздоровительных функций: от максимального уровня 1 класса до минимального уровня 3 класса.

**Таблица 2.** Эстетическая и санитарно-гигиеническая оценка скверов г. Орла

Сквер	Эстетическая оценка ТПС, баллы			Санитарно-гигиеническая оценка ТПС, класс		
	закрытый	полуоткрытый	открытый	закрытый	полуоткрытый	открытый
Имени Н. Н. Поликарпова	16	41	29	3	2	2
«Трамвайный»	21	36	15	3	2	2
«Буревестник»	15	39	41	1	1	1
«400-летия Орла»	37	33	48	2	2	2
Имени Л. Н. Гурьева	26	31	42	2	2	1
Имени И. А. Бунина	12	30	39	3	2	2
«Комсомольский»	18	36	28	3	2	2

Писателей-орловцев	32	43	25	3	2	2
Сквер ОГУ	30	43	29	3	2	2
Имени В. В. Маяковского	12	29	38	2	1	2
Среднее	21,9	36,1	33,4	2,5	1,8	1,8

Как показали исследования, наибольшее количество баллов и соответственно высокую эстетическую оценку получили полуоткрытый ТПС (36,1 балл) и открытый ТПС (33,4 балл). Самая низкая эстетическая оценка у закрытого ТПС -21,9 балла, что обусловлено трудностью выделения в таких пространствах видовых точек, слабой просматриваемостью, угнетением роста не только деревьев, но и напочвенного растительного покрова, который в большинстве случаев представлен изреженным травостоем с бедным видовым разнообразием.

При проведении санитарно-гигиенической оценки различных ТПС выявили, что закрытому ТПС соответствует также худшая оценка (2,5 класс), что связано со снижением пригодности к выполнению санитарно-гигиенических функций у ослабленных и поврежденных растений.

Наиболее характерный компонент городских биогеоценозов, интегрально отражающий изменения экосистем — древостой (древесные насаждения). Мониторинг состояния зеленых насаждений осуществляется в целях оценки состояния зеленых насаждений и его динамики, в том числе негативной.

При изучении состава и состояния растительности скверов выявлено, что в древесных посадках преобладают лиственные породы, среди них липа мелколистная (*Tilia cordata* Mill), рябина обыкновенная (*Sorbus aucuparia* L.), клен ясенелистный (*Acer negundo* L.), клен остролистный (*Acer platanoides* L.), конский каштан обыкновенный (*Aesculus hippocastanum* L.). Из хвойных чаще всего встречаются ель обыкновенная (*Picea abies* (L.) Karst.), ель колючая (*Picea pungens* Engelm.) и туя западная (*Thuja occidentalis* L.). В живых изгородях преобладают кизильник блестящий (*Cotoneaster lucidus* Schlecht.), сирень обыкновенная (*Syringa vulgaris* L.), виды рода спирей *Spiraea s.p.*, можжевельник казацкий (*Juniperus sabina* L.).

Для определения влияния типа пространственной структуры на устойчивость древесных насаждений проведен мониторинг состояния видов, которые встречаются во всех исследованных скверах. Средний балл качественного состояния видов деревьев приведен в таблице 3.

**Таблица 3.** Влияние типа ТПС на устойчивость древесных насаждений

Вид	Качественное состояние деревьев в зависимости от ТПС		
	закрытый	полукрытый	открытый
Липа мелколистная ( <i>Tilia cordata</i> Mill)	2,9	3,7	3,5
Клен ясенелистный ( <i>Acer negundo</i> L.)	3,4	4	3,9
Рябина обыкновенная ( <i>Sorbus aucuparia</i> L.)	2,6	3,1	3
Клен остролистный ( <i>Acer platanoides</i> L.)	3,3	3,8	3,8

Как показывают результаты исследований, хорошее состояние без признаков ослабления отмечается у большинства видов в открытых и полукрытых пространствах скверов - их состояние оценивается 3,5 -4 баллами. Только рябина обыкновенная, которая менее устойчива для городских условий произрастания и быстрее теряет жизнеспособность характеризуется удовлетворительным состоянием в открытых пространствах, которое ухудшается при увеличении сомкнутости насаждений — в закрытом ТПС оценка снижается до 2.6 баллов. В закрытых пространствах установлено, что в среднем у деревьев листва часто светлее обычного, крона слабожурная, прирост ослаблен по сравнению с нормальным, в кроне около 25% сухих ветвей, что соответствует удовлетворительной оценке (3,4-2,6 балла) и ослабленному качественному состоянию .

## ВЫВОДЫ

Для большинства скверов г. Орла с близким к предельному в городских условиях возрастом насаждений характерен закрытый тип пространственной структуры, в среднем данный тип пространственной структуры установлен на 42,8% общей площади исследованных скверов.

В результате анализа размещения и соотношения типов пространственных структур на комплексную оценку территорий установлено, что закрытый тип пространственной структуры обусловил снижение не только привлекательности, но и выполняемой санитарно-гигиенической роли объектов ландшафтной архитектуры.

Наиболее благоприятные условия для устойчивого функционирования древесных насаждений в городских скверах складываются в полукрытых и открытых пространствах.

При разработке научно-обоснованного проектирования и реконструкции городских объектов ландшафтной архитектуры рекомендуется проводить анализ типов

пространственных структур на объекте, который обеспечивает более объективное прогнозирование устойчивости создаваемых урбоэкосистем.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Зеленая природа города: учеб. пособие для студентов вузов, обучающихся по специальности "Архитектура" // В. А. Горохов. Изд. 2-е, доп. и перераб. / М.: Архитектура-С: ПФ Сашко, 2005. – 591с
2. Gehl Jan & Gemzme Lars. New city spaces. // Moscow: KROST Publ. 2012. 264 p.
3. Микулина Е.М. Архитектурная экология: учебник // Е.М. Микулина, Н.Г. Благовидова / М.: Академия, 2013. 256 с.
4. Федеральный закон от 10 января 2002 г. N 7-ФЗ "Об охране окружающей среды"- Российская газета - Федеральный выпуск № 0(2874), 2002 г.
5. Строительные нормы и правила (СниП 2.07.01-89\*). «Планировка и застройка городских и сельских поселений». Издание официальное, Москва, 2000 г.
6. Zolotareva E. Study of the Structure and Condition of Orel Street Plantings/ Architektura Krajobrazu: Wroclaw, Polcka, 2011. P. 47-53.
7. Агаркова, М.Г. Биологические свойства урбанизированных территорий / М. Г. Агаркова, М.Н. Строганова, И.Н. Скворцова// Вест. Моск. ун-та, Сер.17- Почвоведение. 1994. №13. С.45-49.
8. Якушина Э. И. Древесные растения в озеленении Москвы. / Якушина, Э.И.- М.: Наука, 1992. 158 с.
9. Мозолевская, Е.Г. Мониторинг состояния зеленых насаждений и городских лесов Москвы / Мозолевская Е. Г., Белова Н. К., Куликова Е. Г., Шарапа Т. В., Липоткин В.А. // Экология большого города. Альманах. Вып. 2. М.: Прима-Пресс, 1997. С. 16-59.

## ЭКОЛОГО-АРХИТЕКТУРНАЯ ОЦЕНКА РОЛИ ОБЪЕКТОВ ЛАНДШАФТНОЙ АРХИТЕКТУРЫ ГОРЛА В СОЗДАНИИ КОМФОРТНОЙ ГОРОДСКОЙ СРЕДЫ

Е.А. Коренькова \*, Е.И. Степанова \*\*

*\*к.с.-х.н., доцент, Орловский государственный аграрный университет им. Н.В. Парахина 302019, г. Орел, ул. Генерала Родина, 69, Россия*

*\*\*к.с.-х.н., доцент, Орловский государственный университет им. И.С. Тургенева 302026, г. Орел, ул. Комсомольская, 95, Россия*

**Аннотация.** В проведенном исследовании выполнен учет зеленых массивов и насаждений общего пользования на территории города Орла по показателям уровня озеленения города и обеспеченности зелеными насаждениями. Для качественной характеристики определено территориальное расположение объектов ландшафтной архитектуры на генплане города. Так, долины рек являются зелеными коридорами, соединяющими городские ландшафтные объекты в общую систему или экологический каркас. Наиболее крупные элементы макроструктуры в черте города — ПКиО, парк Ботаника, Парк Победы, Разградский парк. Мезоструктуру экологического каркаса города Орла создают скверы и объекты уличного озеленения. В районах города с плотной застройкой отмечается отсутствие достаточных площадей зеленой зоны, либо ее полное отсутствие. Сформулированы предложения по повышению эколого-архитектурной эффективности системы озеленения города.

**Ключевые слова:** уровень озеленения, ландшафтный объект, градостроительный комфорт, устойчивость, экологический каркас

### ВВЕДЕНИЕ

По мере нарастания темпов урбанизации в зонах крупнейших городов качество жизни людей все в большей степени определяется степенью сохранения компонентов природной среды. Расширение области экологических исследований городской среды привело к появлению специальных терминов и понятий, которые позволяют определить состояние проблемы взаимодействия человека и природы, такие как экологическое равновесие, ландшафтно-экологический каркас города, устойчивость среды, экологический (природный) потенциал территории.

В практике градостроительства экологический каркас — это система озеленения города, которая включает объекты ландшафтной архитектуры и его природное окружение. Чем больше озелененных или природных территорий, тем выше экологическая эффективность системы

озеленения города, а значит уровень комфорта городской среды для его жителей [1,2]. Ускорение процессов деградации среды, наиболее осязаемое в крупных городах, определяет новое назначение ландшафтной архитектуры в градостроительстве - не только для достижения эстетического разнообразия отдельных фрагментов городской среды, но и для оптимизации экологической системы города. Зеленые зоны городов не должны обрываться по административной черте населенного пункта, а наоборот различными ландшафтными компонентами вклиниваться в городские пространства и влиять на создание градостроительного комфорта [3].

Целью исследования стало изучение системы озеленения г. Орла и ее эколого-архитектурной эффективности в создании комфортной городской среды. Задачей является установление показателей, характеризующих уровень обеспеченности жителей города зелеными насаждениями.

## **МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ**

Важным элементом природного каркаса города и средством улучшения его градостроительных качеств выступает система озеленения города, которая определяется конкретными количественными и качественными характеристиками. К количественным показателям относят долю озелененных пространств на территории города, количество зеленых насаждений различного функционального назначения на душу населения и т. п. Качественная характеристика зеленых насаждений определяется пространственной динамикой во времени, конфигурацией в плане, составом и структурой.

В проведенном исследовании выполнен учет зеленых массивов и насаждений общего пользования на территории города Орла по показателям уровня озеленения города и обеспеченности зелеными насаждениями (нормы озеленения). Для качественной характеристики определено территориальное расположение объектов ландшафтной архитектуры на генплане города.

## **РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ**

Общая площадь городских земель в пределах МО «Город Орел» составляет 12121 га, в том числе площадь застроенных земель – 5243 га, водных объектов – 155 га [4]. Система озеленения города Орла представляет собой совокупность парков, набережных, скверов, бульваров. Площадь зеленых массивов и насаждений общего пользования – 230 га.

Как показывают данные таблицы 1 обеспеченность зелеными насаждениями разная по административным районам города. В большинстве районов города выполняются градостроительные нормы озеленения - 6–10 м<sup>2</sup> на человека. Однако, в Железнодорожном

районе с численностью около 60 тыс. жителей установлены самые низкие значения - 1,19 м<sup>2</sup>. Средняя обеспеченность жителей города Орла зелеными насаждениями составляет 7,57 м<sup>2</sup> /чел.

**Таблица 1.** Данные по обеспеченности зелеными насаждениями жителей г. Орла

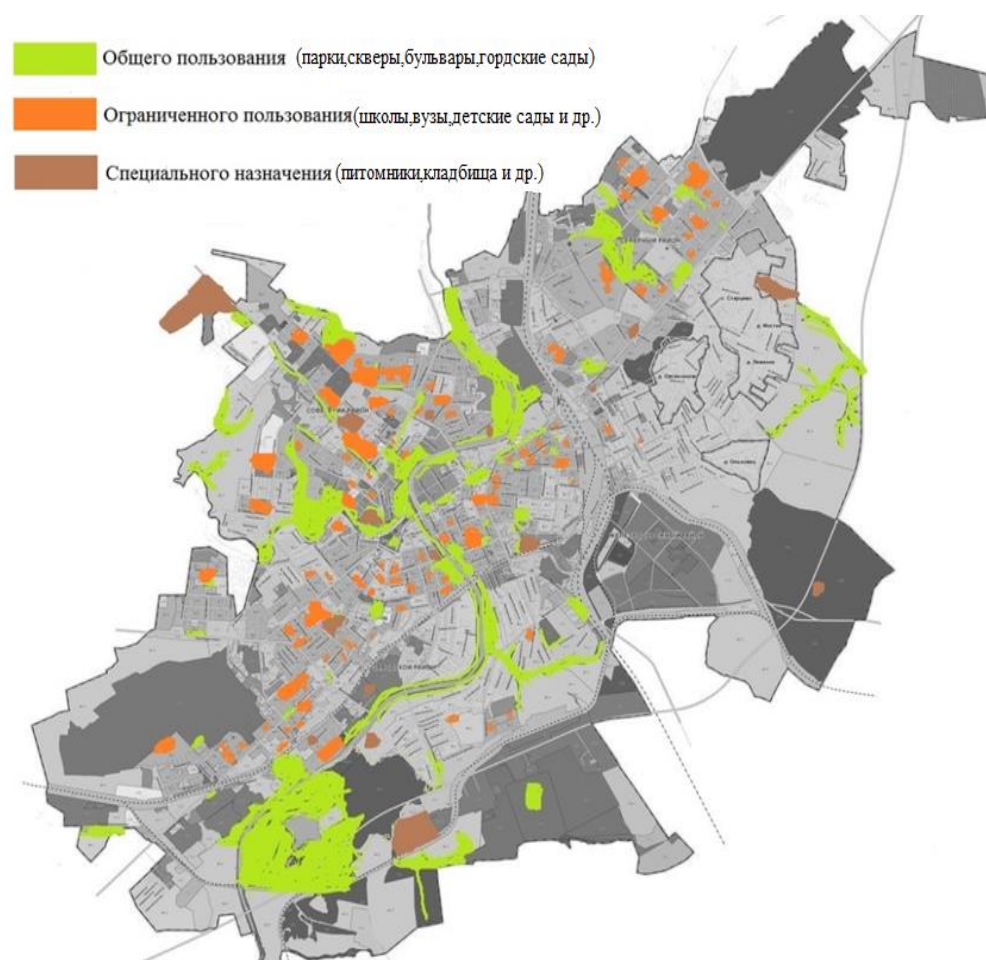
№ п/п	Район	Площадь озеленения, м <sup>2</sup>	Численность населения, чел.	Обеспеченность зелеными насаждениями, м <sup>2</sup> /чел
1.	Заводской	807 700	103 288	7,82
2.	Советский	757 300	74 315	10,19
3.	Железнодорожный	71 900	60 278	1,19
4.	Северный	664 600	65 815	10,09

Таким образом, г. Орел характеризуется недостаточным уровнем озеленения и для повышения уровня градостроительного комфорта требуется увеличение площади объектов ландшафтной архитектуры.

Принцип экологической устойчивости как основной принцип экологической гармонизации городской среды, включает в себя оптимальную ландшафтную организацию городского пространства, важнейшим компонентом которой являются зеленые насаждения [5]. Городские леса, парки, сады и другие зеленые пространства всегда осуществляли основной вклад в формирование городов с более высоким качеством среды. В то же время, во многих городах система зеленых насаждений представляет собой случайную совокупность небольших сохраняемых парковых, бульварных, рядовых и других зеленых насаждений, в малой степени ориентированных на формирование благоприятной экологической обстановки. Наиболее существенные недостатки такой системы, затрудняющие выполнение функций природного каркаса, - ее неразвитость в центральных районах городов, большая автономность наиболее значительных ее элементов и оторванность от загородных зеленых пространств.

Для определения пространственного расположения элементов системы озеленения были выделены контуры объектов ландшафтной архитектуры общего пользования, ограниченного пользования и специального назначения на генплане города (рис.1).





**Рисунок 1.** Территориальное расположение объектов ландшафтной архитектуры г. Орла

Как видно из данных схемы, долины рек с сохранившимися участками естественных растительных сообществ пересекают всю территорию города и являются зелеными коридорами, соединяющими городские ландшафтные объекты в общую систему или экологический каркас. Так, протяженность р. Орлик в черте города составляет около 10 км, а р. Оки 20 км, и эти территории «зеленые» на всем своем протяжении. Наиболее крупные элементы макроструктуры в черте города, приуроченные к долинам рек — ПКиО, парк Ботаника, Парк Победы, Разградский парк. Общим в их характеристике является основополагающая роль данных территорий в создании градостроительного комфорта в связи с их большой площадью, значительным количеством деревьев в озеленении и высоким уровнем благоустройства. Они выступают своеобразными экологическими центрами, которые объединяют в единую систему более мелкие территориальные единицы экологического каркаса города.

Мезоструктуру экологического каркаса города Орла создают скверы и объекты уличного озеленения. На скверы и бульвары приходится лишь 2,5% (5,75 га) от всей озелененной территории города. В связи с этим, в районах города с плотной застройкой отмечается отсутствие достаточных площадей зеленой зоны, либо ее полное отсутствие. Это приводит к

отсутствию в радиусе 15 минутной пешеходной доступности объектов ландшафтной архитектуры для жителей города. О

## **ВЫВОДЫ**

Таким образом, исследованиями установлен недостаточный уровень озеленения г. Орла. Для повышения качественных показателей экологической устойчивости и градостроительного комфорта требуется увеличение площади объектов ландшафтной архитектуры, восстановление пространственной непрерывности между уровнями экологического каркаса: сохранение существующих и реабилитации утраченных ландшафтов долин рек, ручьев и балок в качестве экологических коридоров, выделение в каждом районе города магистральных зеленых клиньев за счет ландшафтной рекультивации территорий промышленных и коммунально-складских пустырей, охранных зон различного назначения, неудобных для строительства земель и включения их в систему озеленения города.

## **ЛИТЕРАТУРА**

1. Боговая И. О. Озеленение населенных мест // И. О. Боговая, В. С. Теодоронский. М: Лань, 2012. 256 с.
2. Горохов В. А. Зеленая природа города // М.: Архитектура-С, 2005. 592 с.
3. Cheshmehzangi A., Xie L., Dawodu A., Butters C. Green infrastructures for urban sustainability: issues, implications, and solutions for underdeveloped areas// Urban Forestry & Urban Greening. 2021. Vol. 59. Pp. 127028.
4. Администрация города Орла. [Электрон. ресурс]. – Режим доступа: <http://www.orel-adm.ru/>.
5. Нефедов В.А. Ландшафтный дизайн и устойчивость среды. // СПб. 2002. 295 с.

## О НЕКОТОРЫХ ПРОБЛЕМАХ РЕАБИЛИТАЦИИ ПРИРОДНОЙ СРЕДЫ ПРИ ОСВОЕНИИ УГЛЕВОДОРОДНЫХ РЕСУРСОВ ЧЕРНОМОРСКО-КАСПИЙСКОГО РЕГИОНА

А.К. Ахмадиев \*, В.Н. Экзарьян \*\*

\* преподаватель, Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе (МГРИ), 117997, Москва ул. Миклухо-Маклая д.23, Россия

\*\* д.г.-м.н., профессор, Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе (МГРИ), 117997, Москва ул. Миклухо-Маклая д.23, Россия

**Аннотация.** При освоении углеводородных ресурсов немалую роль играет восстановление или реабилитация природной среды, так как при разработке месторождений, транспортировке нефти, газа и нефтепродуктов происходит значительное загрязнение окружающей среды. Черноморско-Каспийский регион является одним из самых осваиваемых, в нем активно развивается добыча на шельфе, система транспортных коридоров по поставке углеводородов. В связи с этим возникает необходимость рассмотрения проблем реабилитации природной среды в регионе. В работе акцент был сделан на две проблемы – рекультивации нарушенных земель и ликвидации нефтяных загрязнений в морской среде. Относительно рекультивации было выделено, что до сих пор при ее организации не учитываются все особенности местности, геологической среды, не применяется экосистемный подход. Рассматривая вторую проблему отмечено, что необходим переход на сочетание биологических и химических методов очистки от нефти, отход от сжигания нефти.

**Ключевые слова:** восстановление экосистем, рекультивация, углеводороды, нефтяное загрязнение

### ВВЕДЕНИЕ

Освоение углеводородных ресурсов традиционно является той сферой, которая вносит значимый вклад в загрязнение компонентов природной среды. Ранее, в таких работах как [1], [2], [3], авторы более подробно останавливались на различных аспектах данной проблемы. Сегодня же все более актуальными становятся вопросы ликвидации нефтяных загрязнений (например, при крупном разливе нефти в районе Норильска в 2020 г., Новороссийска в 2021 г.) и соответственно реабилитации природной среды после разработки нефтегазовых месторождений или при ликвидации инфраструктуры нефтегазового комплекса, а также в случаях техногенных аварий на объектах такого комплекса.

В отношении Черноморско-Каспийского региона (ЧКР) необходимо отметить, что его освоение имеет давнюю историю и продолжается до сих пор. Существующие оценки и прогнозы (например, [4-7]) дают нам представление о проявлениях нефтегазоносности (и здесь особо отмечается перспективность шельфа и акваторий региона), о наличии еще не распределённого фонда недр, о возможности открытия новых месторождений. Все это позволяет предполагать следующее - освоение углеводородных ресурсов региона не окончится в скором времени, а может занять еще не одно десятилетие, в случае совершенствования технологий морской добычи, и добычи трудноизвлекаемых запасов в староосвоенных областях. В связи с этим, стоит рассмотреть те проблемы, которые возникают при реабилитации природной среды в случаях нефтяного загрязнения.

## **МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ**

В основе данной работы лежал тематический обзор литературных источников (исследовательских статей, обзоров), а также нормативно-правовых актов в сфере рекультивации нарушенных земель. При выборе источников учитывалось, чтобы они отвечали задачам исследования, были доступны в полном объеме, как на русском, так и на английском языке и были опубликованы в рецензируемых изданиях. Поиск происходил по международной научной базе Springer, российской базе eLIBRARY.RU, а также в правовой системе Консультант Плюс и в единой электронной базе данных правовых актов Азербайджана. Важным являлся и период опубликования работ, наличие новой и актуальной информации. Поэтому учитывался период с 2016 по 2021 г., т. е. последние пять лет.

## **РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ**

Прежде стоит отметить, что ЧКР достаточно крупное в геополитическом и географическом смысле образование, поэтому в рамках одной работы не представляется возможным охватить всего его составляющие, в связи с чем мы обратим внимание на проблемы российской и азербайджанской части региона, так как именно там сконцентрирован основной углеводородный потенциал.

Одним из следствий разработки месторождений является образование техногенно нарушенных земель. Так, например, по причине добычи, транспортировки и переработки углеводородов на Апшеронском полуострове (один из главных нефтегазовых центров Азербайджана) нарушенных и нефтезагрязненных земель суммарно более 6700 га. (на 2016 г.) [8-10] или около 3% территории полуострова. При этом отмечаются тенденции в сторону увеличения такого рода территорий. В российской же части данного региона фиксировалось не столь значительное нефтяное загрязнение. Порядка 136 га. (на 2018 г.) земель было

нарушено главным образом вследствие прорывов нефтепроводов (см. *Государственный доклад «О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2019 году»*). Такая разница в данных, может быть связана со степенью нефтяной освоенности местности, а также фиксируемостью загрязнения. Тем не менее, не вызывает сомнения факт, что потребность в рекультивации, как основного реабилитационного мероприятия при данном виде загрязнения – существенна.

На современном этапе рекультивация земель проводится в два этапа - технический и биологический. Каждый из этапов призван в итоге, восстановить плодородие почвы, для последующего хозяйственного ее использования. Несмотря на большое количество научно-методических разработок (только ориентируясь на российскую научную базу eLIBRARY.RU из можно найти не один десяток) по введению новых методов рекультивации или совершенствованию существующих, имеется одна принципиальная нерешённая (и, по мнению авторов главная) проблема. Она заключается в том, что при регламентации и организации рекультивации (см. *Постановление Правительства РФ от 10.07.2018 N 800 (ред. от 07.03.2019) «О проведении рекультивации и консервации земель»* (вместе с «*Правилами проведения рекультивации и консервации земель*»); *Земельный кодекс Азербайджана (1999)*, *Закон Азербайджана «О мелиорации и ирригации» (1996)*) отсутствует задача восстановления естественной целостности или целостности максимально приближенной к естественной. Следствием этого является то, что реабилитация нарушенных экосистем и биоразнообразия в целом происходит в неполной мере [2].

В настоящее время известны практики, когда происходит засыпка без учета всех особенностей местности, и/ или всей структуры геологической среды, так как обращается внимание только на плодородный слой почвы. В среднесрочной и долгосрочной перспективе, такие шаги, можно предполагать приводят или могут приводить к обеднению растительности, изменению потока грунтовых вод и их физико-химического состава, развитию экзогенных геологических процессов и т.д. Такая проблема характерна для всей геологической деятельности и для добычи углеводородов в том числе. Поэтому необходимо отметить, что мероприятия по реабилитации (рекультивации, в частности) следует планировать еще на предпроектной стадии разработки месторождения и закладывать с учетом всех существующих особенностей территории, применяя экосистемный подход.

Другая существенная проблема - ликвидация нефтяных загрязнений в морской среде. ЧКР является зоной, где активно развиваются транспортные коридоры для поставок нефти и газа (например, Баку-Новороссийск, Тенгиз-Новороссийск, Баку-Тбилиси-Эрзурум, Баку-Тбилиси-Джейхан и др.), при этом большая часть терминалов расположена в морских акваториях. Помимо этого, в настоящий момент наблюдается процесс интенсификации

добычи на шельфе Каспийского и Черного морей, что способствует повышению экологических рисков (прорывов, разливов, несанкционированных сбросов и т.д.). Исходя из этого, немаловажным является выбор метода ликвидации загрязнения. Сегодня преимущественно применяются физические и химические методы очистки от нефти. Однако несмотря на то, что они используются не одно десятилетие, к ним до сих пор возникают вопросы, не утихают и споры о соотношении методов при их комбинировании. Так, например, известен метод смешивания химических диспергентов с морской водой, загрязненной нефтью. В идеале диспергенты должны разбивать пятна на капли, что облегчает разрушение нефти для микроорганизмов. Однако до конца не удается предсказать ход подобной реакции, силу токсического эффекта для таких морских простейших как коловратка [1]. Довольно значимым является и эффективность диспергента, которая зависит от таких показателей как температура, вязкость нефти, ее концентрация, рН. Кроме отмеченных параметров, недавние исследования о механизмах действия диспергентов (например, [11]) показывают, что необходимо обращать внимание еще и на скорость дрейфа нефтяного пятна. Такая характеристика устанавливает связь между эффективностью и оперативным реагированием на загрязнение, что в свою очередь влияет в целом на степень очистки.

В случае применения открытого сжигания нефти (что не менее распространено) в атмосферу при длительном процессе горения выделяются углекислый газ, оксиды азота, серы и других газов [1]. Между тем, в виду все возрастающей тенденции к достижению углеродной нейтральности, для реализации целей устойчивого развития, Парижского соглашения по климату (2015 г.) стоит задуматься о сведении к минимуму применения такого метода как открытое сжигание нефти в море. Приоритетным должен быть переход к сочетанию методов биологических и химических, применяя при этом такие реагенты, которые не будут обладать значительным токсическим эффектом для зоо- и фитобентоса.

## **ВЫВОДЫ**

В ходе данного исследования были выделены такие проблемы реабилитации природной среды как несовершенство рекультивации техногенно нарушенных земель и вопросы совместного действия методов ликвидации нефтяных загрязнений в морской среде. В отношении первого было определено, что существующее регулирование рекультивации уделяет существенное внимание восстановлению только плодородного слоя почвы, что не отвечает целям экосистемного подхода и не позволяет говорить о полной реабилитации. Относительно методов ликвидации нефтяных загрязнений высказано предположение, что необходимо минимизировать применение такого метода как сжигание и все больше

стремиться применять такие методы как биоремедиация или комбинировать биовосстановление и химические методы очистки от нефти.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Ахмадиев А.К., Экзарьян В.Н. Проблемы обеспечения экологической безопасности нефтегазовой отрасли // Разведка и охрана недр. 2020. № 7. С. 44–47.
2. Ахмадиев А.К., Экзарьян В.Н. Реабилитация природной среды - структурный элемент экологической безопасности // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2020. № 2. С. 112–120.
3. Экзарьян В.Н., Рукавицын В. В. Разработка критериев оценки сохранности окружающей среды при нефтедобыче // Известия высших учебных заведений. Геология и разведка. 2016. № 4. С. 70–74.
4. Vedadi Kalanter, S., Maleki, A. & Saifoddin, A. Study of Caspian energy markets via a hybrid index for energy demand security in Caspian countries in years 2020 and 2030. *Int J Energ Water Res* 5. 145–157 (2021). <https://doi.org/10.1007/s42108-020-00100-6>
5. Сенин Б. В., Леончик М.И., Ошерова Н.А. Основные итоги геолого-разведочных работ и перспективы развития сырьевой базы углеводородов в акваториях Черноморско-Каспийского региона // Минеральные ресурсы России. Экономика и управление. 2018. № 2. С. 7–17.
6. Толстикова А. В., Астафьев Д.А., Штейн Я.И., Кабалин М.Ю., Наумова Л.А. Запасы и ресурсы углеводородов, перспективы изучения и промышленного освоения недр морей России в XXI в. // Геология нефти и газа. 2018. № 4с. С. 73–85.
7. Фейзуллаев А.А. О соотношении природного газа и нефти в связи с прогнозом их запасов в Азербайджане // Горные науки и технологии. 2020. Т. 5. № 4. С. 288–296.
8. Ахмедов, В. А. Изучение техногенно нарушенных и нефтезагрязненных земель Центральной части Апшеронского полуострова // Почвоведение и агрохимия. 2016. № 2. С. 50–56.
9. Ахмедов, В. А. Инвентаризация и экологическая характеристика техногенно-нарушенных и нефтезагрязненных земель Восточной части Апшеронского полуострова (в пределах хазарского района Г. Баку) // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета им. П. А. Костычева. – 2016. № 1(29). С. 9–13
10. Ахмедов, В. А. Исследование экологической обстановки нефтедобывающих и техногенно нарушенных территорий юго-западной части Апшеронского полуострова Азербайджана / В. А. Ахмедов // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации. 2016. № 4(24). С. 86–99.
11. Merlin, F., Zhu, Z., Yang, M. *et al.* Dispersants as marine oil spill treating agents: a review on mesoscale tests and field trials. *Environ Syst Res* **10**, 37 (2021). <https://doi.org/10.1186/s40068-021-00241-5>

## ОСОБЕННОСТИ ИНЖЕНЕРНЫХ ИЗЫСКАНИЙ, ВЫПОЛНЯЕМЫХ ДЛЯ РАЗВИТИЯ ГОРОДСКОГО ПОДЗЕМНОГО ПРОСТРАНСТВА: АСПЕКТ СТАНДАРТИЗАЦИИ

**В.Л. Беляев**

*к.т.н., доц., доцент кафедры «Инженерные изыскания и геоэкология», доцент кафедры «Градостроительство, Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет, 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26, Россия*

**Аннотация.** Рассматривается роль и особенности выполнения инженерных изысканий для развития городского подземного пространства на планировочном уровне. Анализируются основные документы по стандартизации в этой части. Результаты анализа подтверждают первоначальное предположение о пробелах и иных дефектах стандартизации рассматриваемых инженерных изысканий. Выявляются и описываются главные причины таких дефектов и даются предложения об их устранении.

**Ключевые слова:** инженерные изыскания, стандартизация, планировочный уровень.

Развитие городского подземного пространства (РГПП) путем создания подземных зданий и сооружений (ПЗС), его освоение, использование<sup>1</sup> рассматривается в мире как ключевое урбанистическое направление устойчивого, прежде всего безопасного развития [1] и к целому ряду ПЗС предъявляются повышенные требования безопасности. Специальным видом градостроительной деятельности, обеспечивающим принятие безопасных и рациональных проектно-планировочных решений, являются инженерные изыскания (ИИ) и их качество во многом зависит от эффективности документов по стандартизации<sup>2</sup>. Объектом исследования, результаты которого отражены в тезисах, являются ИИ для целей РГПП с акцентом на их особенности, а предметом исследования – стандартизация выполнения таких ИИ и их результатов. Рассматривается планировочный уровень, где участие публичных органов власти в РГПП максимально. Цель исследования заключалась в разработке предложений по совершенствованию НТД в части ИИ, выполняемых для РГПП. Задачи, стоящие перед работой: выявление особенностей ИИ для РГПП, выявление и анализ дефектов НТД в части учета исследуемых особенностей ИИ, обоснование предложений по

---

<sup>1</sup> СП 473.1325800.2019 «Здания, сооружения и комплексы подземные. Правила градостроительного проектирования» (СП 473).

<sup>2</sup> Здесь используются тождественно термину «нормативно-технические документы» (НТД)



совершенствованию НТД. Методы исследования – критический анализ основных НТД (в этом контексте также основных нормативных правовых актов, НПА, прежде всего федерального уровня), синтез (обобщение) для формирования предложений по совершенствованию.

При подземном строительстве возрастает значение, например таких факторов, как изменение напряженного состояния массива грунтов; изменение их температуры, обводненности, гидродинамических, гидрохимических условий, возникновение новых инженерно-геологических процессов [2]. Для их оценки изыскателю необходимы соответствующие нормативно-технические требования, попытка установить которые предпринята в СП 473. Несмотря на ряд недостатков, включая отсутствие пока правовой поддержки [3], он является специальным НТД в сфере РГПП и в этой связи целесообразно оттолкнуться от раздела 8 «**Особые требования к выполнению инженерных изысканий**» данного СП. Раздел изобилует отсылочными положениями, что уже настораживает. В Общих требованиях (8.1) указывается, что ИИ в том числе в рассматриваемой части<sup>3</sup>, следует наряду с СП 473 выполнять также в соответствии с СП 14, СП 47, СП 248, СП 249, СП 438, СП 446, ГОСТ 30416, ГОСТ 30672<sup>4</sup>. Представляется целесообразным стремиться к разграничению указываемых НТД в соответствии со структурой реестра СП (<https://www.faufcc.ru/technical-regulation-in-construction/formulary-list/#form>) и к перечислению всех предметных НТД. Применительно к планировочному уровню это такие НТД раздела 11 реестров СП «Инженерные изыскания» как СП 317, СП 420 (актуальны для обоснования подготовки проектов межевания территории и для оценки рисков РГПП при оползнях глубокого типа соответственно). Можно отметить также СП 115 (содержит требования к выполнению ИИ, в том числе для планировочного уровня).

В то же время в перечисленных НТД, включая СП 47, являющийся базовым для изыскателя, отсутствуют конкретные требования к выполнению ИИ именно для РГПП на планировочном уровне. То есть их предложено выполнять в универсальном порядке, что вряд ли оправдано и может свидетельствовать о слабой разработанности вопроса. Одна из причин пробела - отсутствие нормативного запроса планировщика к изыскателю в целом<sup>5</sup>, а тем более для случая РГПП как в базовом СП 42, так и в «отраслевых» СП 18, СП 395, СП 475, СП 476. Лишь косвенное упоминания об ИИ содержат СП 348, СП 396.

---

<sup>3</sup> Для подготовки документов территориального планирования (ДТП) и документации по планировке территории (ДПТ).

<sup>4</sup> ГОСТ, как и НТД геотехнического характера (СП 248, СП 249) в данном случае непосредственно не касаются планировочного уровня.

<sup>5</sup> В свою очередь это связано с системными недостатками в данном сегменте стандартизации, которые в частности выявлены в настоящее время в рамках деятельности ПК9 «Градостроительство» ТК 465 «Строительство» с формулировкой предложений по их устранению (автор является секретарем ПК 9).

В НТД иных разделов реестра, которые касаются РГПП, часто игнорируется установленная ГК РФ обязательность подготовки ДПТ для линейных объектов. Требования по ИИ в них отсутствуют или имеют общий характер, в основном по инженерно-геологическим изысканиям<sup>6</sup>: СП 102, СП 122, СП 120, СП 86, СП 125, СП 31, СП 32, СП 66, СП 124, СП 62. Ссылки на СП 42 относительно ИИ для ДПТ (СП 124) беспредметны (см. выше о пробеле), а на СП 47 (СП 120 и др.) равнозначны отказу от установления особых требований к ИИ<sup>7</sup>. Так же необходима ревизия в части легитимности применяемой терминологии.

Выполнение ИИ для подготовки ДПТ требует дополнения норм ГК РФ, без чего требования НТД (СП 47, СП 446, СП 502 и др.) де-юре неприменимы. Это касается и попыток установления особенностей ИИ для РГПП в п.8.2 СП 473 (даны требования не к ИИ, а к подготовке ДПТ, причем в разрез положений ГК РФ). Отсылки к СП 47 и СП 446<sup>8</sup>, вне контекстное и слабо обоснованное введение категорий сложности инженерно-геологических условий для целей РГПП, не разграничивающее как факторы производства ИИ и сложность строительного освоения, так и случаи его открытого и закрытого способа свидетельствует о желании создать лишь видимость установления особенностей рассматриваемых ИИ.

Более полно в СП 473 раскрывается выполнение ИИ для подготовки ДПТ (8.3), которое в целом пока де-факто является не всегда обязательным<sup>9</sup> и объективно сдерживается иными системными нормативными проблемами [4]. При этом дается лишь традиционная отсылка к СП 47, а также к СП 348, который также не содержит каких-либо особенностей ИИ для РГПП. Некоторые требования в 8.3 не соответствуют законодательству (например камеральное трассирование вариантов размещения линейных сооружений по ГК РФ является предметом планировки территории<sup>10</sup>). Авторами не раскрыты обоснованные (прошедшие валидацию) и конкретные виды работ (включая специальные) и параметры их объемов. Необходимо включить требования по ИИ для градостроительного проектирования подземных комплексов (см. название СП), описание методов составления цифровых моделей (контекст СИМ<sup>11</sup>), выполнения прогноза и составления рекомендаций планировщикам в составе технического отчета по результатам ИИ.

---

<sup>6</sup> Хотя данный вид ИИ объективно наиболее актуален для рассматриваемого случая, могут быть значимы и иные виды ИИ (геодезические, гидрометеорологические, экологические, отдельные виды специальных ИИ)

<sup>7</sup> Необходимость их в СП 120 очевидна хотя бы потому, что метрополитены отнесены к особо опасным и технически сложным объектам

<sup>8</sup> См. о них выше.

<sup>9</sup> ИИ выполняются при «недостаточной изученности» территории, при этом критерии изученности четко не установлены.

<sup>10</sup> Категория линейных объектов обладает рядом нормативных особенностей их создания, соответственно и выполнения ИИ и вопрос, поэтому требует дополнительной проработки

<sup>11</sup> Такие модели пока слабо применяются в целом на уровне планировки территории [5].

Особо следует озаботиться вопросом перспективы обогащения арсенала изыскателей методами и приемами горной разведки, маркшейдерии с исследованием возможной имплементации (анализ изменения напряженного состояния массива грунтов, имитационное моделирование, использование фондовых материалов и др.)<sup>12</sup>.

Учитывая уже отмеченные недостатки «отраслевых» и иных НТД применительно к выполнению рассматриваемых ИИ на планировочном уровне, можно сделать вывод о том, что в них пока ее находят должного отражения рассматриваемая специфика сферы ИИ, что позднее может негативно сказаться на устойчивости пространственного развития, а также о необходимости проведения Минстроем России системных исследований обосновывающего характера по мониторингу применения соответствующих нормативных требований, анализу референтных мировых практик, выявлению и исследованию отмеченных в тезисах и иных дефектов НТД (в контексте стандартизации также соответствующих НПА и нормативно-методических документов), анализ и учет требований новых документов по ИИ (СП 482, 502 и др.) с обоснованием вариантов совершенствования системы НТД, выбором и последующей реализации лучшего варианта.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Underground engineering for sustainable urban development / S. L. Magsino, S. Spence, P. H. Gilbert [et al.] // Geotechnical Special Publication, Atlanta, GA, 23–26 февраля 2014 года. Atlanta, GA, 2014. P. 3861-3870. DOI 10.1061/9780784413272.374.
2. Котлов Ф. В., Снобкова А. И. Производство комплексных инженерно-геологических изысканий для подземного гражданского и промышленного строительства // Обзор. М.: Изд-во ПНИИИС. 1980. 37 с.
3. Беляев, В. Л. Национальные особенности и перспективы совершенствования государственного регулирования градостроительного освоения подземного пространства // Экономика строительства и природопользования. 2021. № 1(78). С. 111–121. DOI 10.37279/2519–4453-2021-1-111-121.
4. Беляев, В. Л. Инженерные изыскания для обоснования градостроительного проектирования: проблемы и перспективы системы государственного регулирования // Геоэкология. Инженерная геология, гидрогеология, геокриология. 2020. № 2. С. 3–9. DOI 10.31857/S0869780920020022.
5. Петрякова, В. К. Применение BIM-технологий для повышения качества разработки проекта планировки / В. К. Петрякова // BIM-моделирование в задачах строительства и архитектуры : Материалы IV Международной научно-практической конференции, Санкт-Петербург, 21–23 апреля 2021 года / Под общей редакцией А.А. Семенова. Санкт-Петербург: Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет, 2021. С. 519–525. DOI 10.23968/BIMAC.2021.066.

---

<sup>12</sup> Решение данного «смежного» вопроса, в том числе в контексте стандартизации требует более слаженного межведомственного взаимодействия Минстроя России, Минприроды России, Росреестра, Росстандарта и др. ведомств

## ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ ДОБЫЧИ И ОБОГАЩЕНИЯ АПАТИТ-НЕФЕЛИНОВЫХ РУД В ХИБИНАХ

А. А. Лукашов

*д.г.н., профессор, Московский Государственный Университет им. М.В. Ломоносова, 119991, Москва Ленинские горы д. 1. ГСП-1, Россия.*

**Аннотация.** Рассматриваются основные проблемы геоэкологической дестабилизации Хибинского горного массива и его обрамления, порождаемые эксплуатацией серии месторождений фосфорного и глинозёмистого сырья. Среди непоправимых морфологических последствий горной добычи – протяжённые рвы обрушения над не обеспеченным закладкой очистным пространством шахт, крупные карьеры и отвальные комплексы в различных ярусах горного рельефа. Комплексы форм техногенной денудации и аккумуляции охватывают днища ледниковых долин, их борта и даже вершинные плато – в диапазоне абсолютных высот 400–1000 метров. Негативные экологические последствия связаны также с загрязнением водоёмов и атмосферного воздуха, несовершенством инфраструктуры геологической разведки и функционированием крупных хвостохранилищ, накапливающих отходы обогащения апатит-нефелиновых руд.

**Ключевые слова:** апатит-нефелиновые месторождения, рвы обрушения, хвостохранилища, карьерно-отвальные комплексы.

### ВВЕДЕНИЕ

Добыча минерального сырья – мощный фактор создания региональных геоэкологических проблем. Горнопромышленное освоение богатых месторождений зачастую экологически дестабилизирует обширные регионы. Формирование карьерно-отвальных комплексов, хвосто- и шламоохранилищ, воронок и рвов обрушения порою неузнаваемо меняет топографию и облик окрестностей предприятий. Провоцируются и возбуждаются неблагоприятные и опасные природно-техногенные процессы. Характерно при этом не считание с ущербом, наносимым ландшафтам, – в сочетании с минимальным объёмом рекультивационных мероприятий. Извлечение ископаемых из недр нарушает геологическую структуру породных массивов и их гидрогеологический режим. Яркую картину подобного рода демонстрируют Хибины (Мурманская область) вместе с прилегающей к этим островным горам с юга и юго-запада Прихибинской равниной Кольского полуострова [1].

В Хибинах добыча, увы, осуществляется с использованием несовершенных (считается, что экономически выгодных) технологий. Не применяется, в частности, не только твердеющая, но даже и сухая закладка очистного пространства шахт. Целесообразность горной добычи предстаёт в новом свете – с учётом не поддающейся гуманному подсчёту стоимости жертв, трудно оценимых социокультурных рисков, а также вполне оценимой стоимости нарушенных ландшафтов. Ареалы горнотехнического вмешательства в недра и в наземные ландшафты ограничены контурами залежей, однако неблагоприятное дальное действие обычно распространяется за пределы горных отводов. Таким образом территории, где осуществляются масштабные мероприятия по извлечению сырья из недр и его обогащению почти неизбежно приобретают набор геоэкологических проблем.

Хибинский массив – геологический результат крупнейшего в мире многофазного внедрения щелочных магматических пород (нефелиновых сиенитов), датируемого серединой палеозойской эры [2]. Будучи глубоко эродированным (в течение > 350 млн лет) комплексом, Хибины со временем морфологически «слились» с окружающим пенепленом (почти-равниной), сохранившим в целом свои черты к северу и к югу от массива. Современный горный облик Хибины приобрели на неотектоническом этапе развития земной коры - за последние 1–2 млн лет, когда на фоне вздымания гор происходило дробление и клавишное обособление их отдельных блоков. Хибины в наше время – средневысотный островной горный массив с абсолютными отметками до 1200 м, расчленённый ледниковыми троговыми долинами, цирками и карами, денудационными воронками и эрозионными врезами [3]. Вершинные плато – «чорры» (*саамск.*) – рассматриваются, начиная с работ М.К. и Л.М. Граве [4], в качестве слабо изменённых реликтов древней денудационной равнины - пенеплена, поднятых в среднем на 1 км молодой тектоникой.

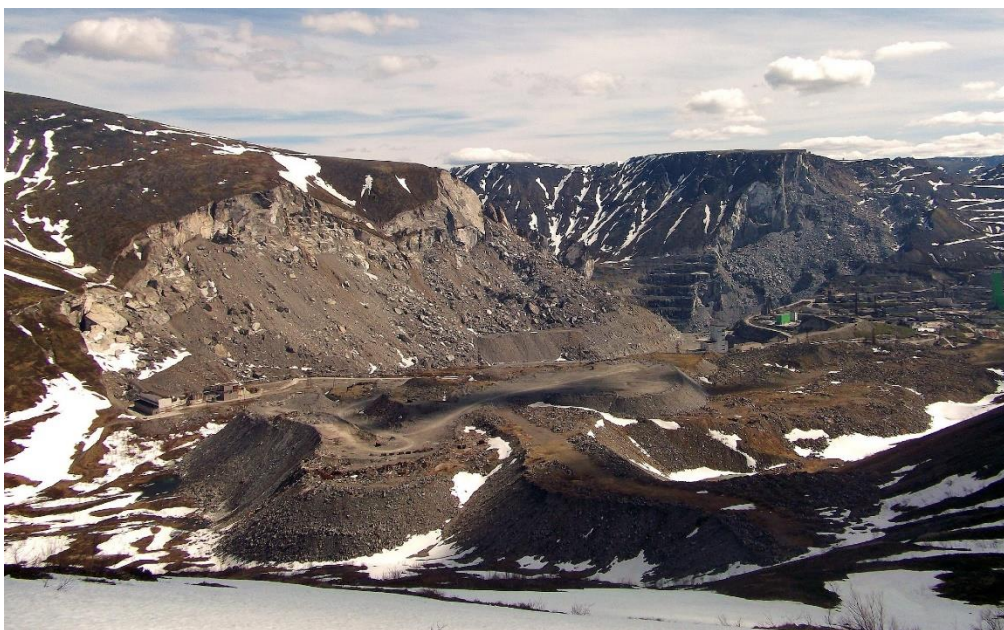
**Методологической основой исследования** является личный 30-летний (1992–2021 годы) мониторинг эколого-геоморфологической ситуации в Хибинах и на Прихибинской равнине. Маршрутные и стационарные исследования, включая непосредственное знакомство с геологией недр в шахтных выработках), опираются на изучение картографических материалов, рудничной документации, дешифрирование аэрофото- и космических дистанционных изображений. Учитывается также производственный опыт автора, накопленный на месторождениях и рудных полях Забайкалья, Горной Шории и Большого Кавказа.

## **РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ**

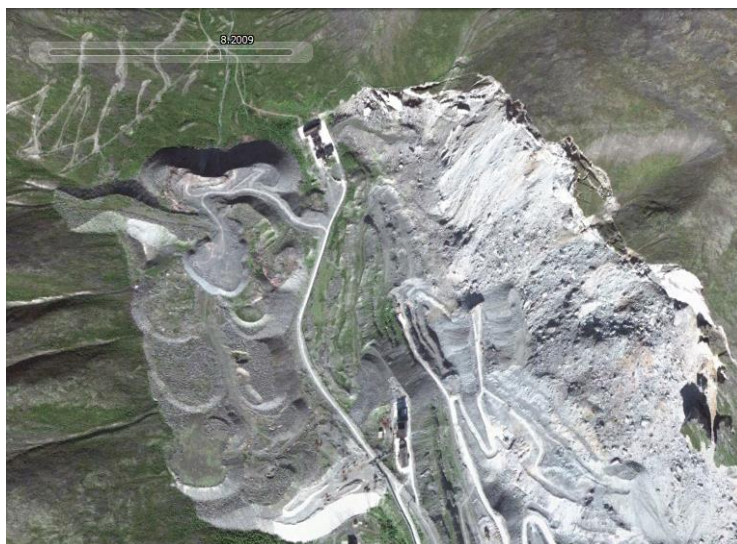
**Формы рельефа, возникающие при добыче минерального сырья.** В ходе разработки апатит-нефелиновых месторождений горнотехническому вмешательству (на глубину местами

до 1000 метров) уже подверглись осевые и бортовые зоны эрозионно-ледниковых долин рек Лопарской, Юкспорройока, Вуэннемйока и ручьёв Ворткеуай и Оленьего. Часть из них осваивает блокоразделяющие нарушения в южной половине гор.

При шахтной добыче на поверхности возникают крупные отрицательные формы техногенного рельефа, созданные принудительным взрывным обрушением скальных пород над очистными выработками. Стенки таких рвов протягиваются на сотни метров. Их система прослеживается от рудника им. Кирова до южных склонов основного отрога Юкспорра (929,6 м) и далее до юго-западного склона Северного Расвумчорра, имея общую длину ~ 2 км (рис. 1, 2). Высота стенок составляет около 240 м. Нарушение геологической структуры создаёт предпосылки для реализации сейсмических событий типа горно-тектонических ударов [5].



**Рисунок 1.** Техногенный рельеф Кукисвумчоррского и Юкспоррского рудников. На переднем плане — обширное отвальное поле, на котором складирована "пустая" порода, извлечённая из шахты (правобережье нижнего течения ручья Воркеуай). На среднем плане — стенка рва обрушения над Кукисвумчоррской шахтой (юго-западный склон г. Апатитовой). Далее видны бермы «Саамского» донного карьера в днище долины реки Лопарской. На заднем плане — ров обрушения над шахтой Юкспоррского рудника. [Фото Е. Бондаря]



**Рисунок 2.** Космическое изображение рва обрушения на руднике им. Кирова (2019 г.). В правой части снимка видна стенка рва обрушения. За 10 лет, начиная с 2009 года, край рва отступил на СВ ~ на 100 м. [Использован снимок ресурса Google Earth Pro.]

В дальнейшем – вплоть до достижения Кукисвумчоррской шахтой уровня минус 280 м – не предусмотрено изменения характера эксплуатации месторождения. V-образный поперечный профиль рва резко асимметричен. Крутизна северо-восточного борта составляет 45-80°, противоположного – 25-50°, что является следствием подрезания выработками именно северо-восточного фланга – всяческого бока породного массива. На бортах повсеместно проявлены обвально-осыпные процессы. В толще сейсмоколлювия по дну рва сформировались просадочные суффозионные воронки, поддерживающие процессы сноса. В результате «оттока» части материала вглубь рва соотношение высот арены срыва и шлейфов сдвинуто в сторону первой. Высота оголённых стенок обвального и оползневого сноса близка к 100 м.

В днище рва обрушения переход между материалом подсклонового шлейфа и explosивно-гравитационной брекчией постепенен. Гранулометрия техногенной формации не изучена; встречаются обломки от глыб до пыли. Брекчия, видимо, представляет собою массу, сходную с породой в «запредельном» состоянии. Хаотическое нагромождение обломков, отсутствие сортировки, дефицит связующего мелкозёма создают предпосылки для поглощения днищем рва полужидких сред. Техногенные изменения геологической среды месторождения выводят неоднородно напряжённый массив шахтного поля из состояния относительного равновесия. Тело новообразованной брекчии, проникая на сотни метров в глубину и кардинально меняя структуру породного массива, существенно влияет на векторные характеристики горного давления.

С конца 20-х гг. XX в., промышленная добыча апатит-нефелиновой руды производится в различных геоморфологических обстановках Хибин, в том числе - на вершинных



поверхностях гор. На плато Расвумчорр и на гребне хребта Юкспорр были сформированы нагорные карьеры со ступенеобразными стенками, которые год за годом уходили вглубь массива (рис. 3). Транспортировка извлечённого сырья частично производилась через рудоспуски в днищах карьеров. Карьер на Расвумчорре, заложенный в 1964 г., ориентирован с запада на восток. Ширина карьера на Центральном руднике, насчитывающем не менее 10 берм, составляет 1 км - при длине 3 км, глубина — 240 м. Не столь глубокий и менее обширный карьер на гребне Юкспорра находится в 2 км к СВ от пос. «23-й км».

Другие важные комплексы форм, образующиеся в процессе добычи — отвалы "пустой" породы, на различных поверхностях. Отвалы имеют облик трапециевидных террас со ступенчатыми уступами. Суммарная высота отвалов, расположенных на вершинной поверхности плато Северный Расвумчорр (на Центральном руднике) превышает 70 м, общая площадь составляет около 7 км<sup>2</sup>. Отвалы сложены несортированным материалом преимущественно глыбовой размерности. По мере разработки наклонно залегающих тел апатитизированных ийолит-уртитов горняки положили на склоны и в днища долин мощные тела ступенчатых внешних отвалов обломочной массы вмещающих пород, прежде всего - ричесорритов. Отвалы сложены несортированной массой преимущественно глыбовой размерности. Материал отвалов – в условиях субарктического климата Хибин [6] - аномально податлив по отношению к химическому выветриванию. Соответственно, в истоках веера долин, в том числе – над посёлком Кукисвумчорр - искусственно создана не только фестончатая в плане инородная терригенно-питающая микропровинция потоков наносов, но и геохимическая аномалия, способная насыщать водотоки токсичными гелями кремния и алюминия.

Добыча минерального сырья на склонах породила и порождает "лестницы" террасовидных поверхностей, остающихся в скальных породах после выемки руды. В настоящее время так производится добыча на Восточном руднике. Карьер Коашва Восточного рудника, врезанный в склон правого борта долины реки Вуоннемйок, уходит под уровень её днища. Ширина карьера ~300 м. Складирование отвалов "пустой" породы осуществляется на склонах как выше, так и ниже кромки карьера. Отвалы имеют вид террас, прислонённых к скальным склонам. Одна из проблем добычи на склонах — удары водоснежных потоков в днище карьера [7].





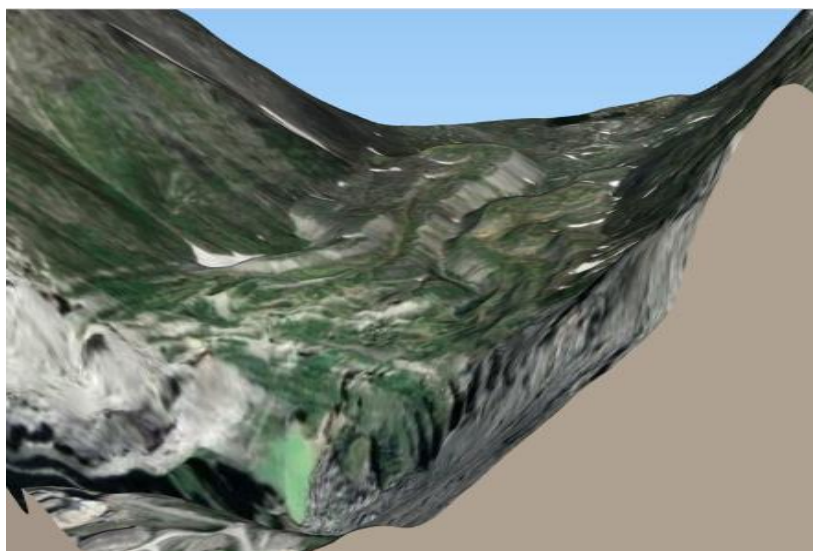
**Рисунок 3.** Центральный рудник. Седловина между Северным (слева) и Южным (справа) Расвумчорром, преобразованная крупным нагорным карьером. На среднем плане в северной стенке карьера заметны техногенные обнажения рихсчорритов висячего блока. Часть отвалов пустой породы складирована на северном Расвумчорре. [Фото М. Иванова]

В низовьях троговой долины реки Лопарской сохранился донный «Саамский» карьер, углубившийся в днище более, чем на 200 м (рис. 4).



**Рисунок 4.** Северо-восточная стенка «Саамского» карьера в днище трога Лопарской. В коренном ложе долины вскрывается двойная крутопадающая зона гидротермальной шпреуштейнизации. Над скальным цоколем вскрыта трёхчленная толща четвертичных отложений суммарной мощностью до 20 м. [Фото Ек. Борздых]

Отвалы при подземной и донной добыче располагаются в днищах или на склонах долин и цирков. Так отвалы «Саамского» карьера заполняют долину до среднего течения реки Лопарской, протягиваясь в северо-восточном направлении на 1,2 км (рис. 4). Во избежание затопления карьера рекой её сток перебрасывается сквозь хребет Юкспорр гидротоннелем в реку Юкспорройок. Отвалы тоннельной проходки сохраняются в основании правого борта трога Юкспорройока в 2 км к ВСВ от пос. «23-й км».



**Рисунок 5.** 3D модель района «Саамского» карьера (он - на переднем плане). На среднем плане — вытянутые террасовидные отвалы на правом берегу реки Лопарской (построено при помощи QGIS на основе ЦМР ArcticDEM. Вертикальный масштаб увеличен в 10 раз).  
[Модель М. Киряковой]

**Формы рельефа, возникающие при разведке месторождений.** Рельеф Хибин благоприятен для проведения штольневой разведки. Отвалы разведочных штолен в виде аккумулятивных тел среднего масштаба сохраняются, в частности в рельефе ЮЗ подножия горы Куэльпорр. Разведка осуществлялась на двух горизонтах над днищем долины реки Кунийок.

При разведке месторождений образуются выемки и полувыемки временных дорог и возникает микрорельеф площадок бурения. Эти формы хорошо представлены на правом берегу верхнего течения Юкспорройока. Глубина дорожных полувыемок может превышать 2 м. В долине Юкспорройока, где продолжается разведка апатит-нефелинового сырья, можно ожидать продвижения фронта добычи на северо-восток - в сторону перевала Юкспоррлак (развитием горизонтов Расвумчоррской шахты либо сооружением донного карьера).

**Формы улавливания рудничной муты в водоёмах и хвостохранилища.** В акватории озера Большой Вудъявр антропогенный рельеф представлен мутьеулавливающей дамбой. Это сооружение построено для защиты озера от поступления шахтных вод. Длина дамбы

составляет 1,24 км при высоте 3 м. Форма — подковообразная. Уровень отгороженной части водоёма примерно на 40 см выше, чем в основном озере.

Хвостохранилища – крупные формы аккумулятивного техногенного рельефа заполнены отходами обогащения минерального сырья. К югу от центра города Кировска находится ныне не действующее хвостохранилище апатит-нефелиновой обогатительной фабрики АНОФ-1, основанное в 1930 году. Его плоская возвышенная поверхность имеет диаметр ~1 км. Материал, выполняющий хвостохранилище — мелкозем алевритовой и песчаной фракций, активно переувлажняется ветром. Естественная кустарниковая растительность постепенно уменьшает здесь размах эоловой переработки, хотя на эксплуатируемых хвостохранилищах эоловые процессы – вплоть до «нефелиновых самумов» - остаются серьёзным фактором экологической дестабилизации.

Действующие вблизи Хибин хвостохранилища АНОФ-2 (1963 г.) и АНОФ-3 (1998 г.) расположены, соответственно, по правобережью нижнего течения реки Большой Белой (Энемайок) и на 2 км южнее посёлка Титан. При современных технологиях обогащения спектр извлекаемых компонентов, гораздо меньше имеющегося в руде, в результате чего значительные объёмы ценного минерального сырья попадают в отходы. Хотя до сих пор хвостохранилища являются лишь местами складирования отработанного вещества, существует перспектива их использования в качестве техногенных месторождений, в том числе – редких земель.

## **ВЫВОДЫ**

Хибины демонстрируют негативные последствия 90—летней открытой и подземной эксплуатации минеральных богатств, осуществлявшихся и продолжающих осуществляться почти «без оглядки» на геоэкологические и собственно экологические последствия крупномасштабного вторжения в недра. Оно сопровождается нарушениями геологической структуры и изменением напряжённого состояния породных массивов – вплоть до провоцирования горно-тектонических ударов.

Изменённый рельеф Хибин и их внешней периферии сам по себе, очевидно, является источником катастрофических явлений: обвалов, оползней, селей и др. Геоэкологический аспект изучения горного рельефа, преобразованного добывающими предприятиями - особенно в зоне мерзлоты, важен для прогнозирования нарушения функционирования геосистем и выработки экологически грамотных, экономически оправданных программ охраны ранимой северной природы

## ЛИТЕРАТУРА

1. Экологическая геоморфология: новые наблюдения // Под. Ред. С. И. Большова. Геогр. ф-т МГУ. М., 2015. 219 с.
2. Пожиленко В.И., Гавриленко Б. В., Жиров Д.В., Жабин С.В. Геология рудных районов Мурманской области // Апатиты: Кольский научный центр РАН, 2002. 359 стр.
3. Лукашов А. А., Зайцев Г.А., Рубина Е.А. Хибинны как арена чрезмерно интенсивного горнопромышленного освоения. // Сб. Вопросы региональной географии и геоэкологии. Вып. 2. Рязань. 2002. С. 12–21.
4. Граве М.К., Граве Л.М. Геоморфологическая карта масштаба 1:200 000. Атлас Мурманской области. 1971. С. 8.
5. Бабурин В. Л., Беляев Ю.Р., Бредихин А.В., Лукашов А.А., Шувалов В.Е. Природные, социокультурные и социально-экономические риски, порождаемые активизацией горной добычи в Хибинах // Природные риски: анализ оценка, картографирование. Изд. МГУ. М., 2013. С. 18–23.
6. Природные условия Хибинского полигона // Под. Ред. С. М. Мягкова. МГУ. М. 1986. 170 с.
7. Водоснежные потоки Хибин // Под ред. А.Н. Божинского, С. М. Мягкова. М.: Географический факультет МГУ. 2001. 167 с.

***Работа выполнена в рамках Госзадания ЦИТИС № 1210401000323-б «Эволюция природной среды в кайнозое, динамика рельефа, геоморфологические опасности и риски природопользования»***

## ПРИРОДНЫЕ УСЛОВИЯ И СОСТОЯНИЕ ПЕРЕКРЫВАЮЩИХ ОТЛОЖЕНИЙ ВБЛИЗИ ПОВЕРХНОСТНЫХ КАРСТОВЫХ ФОРМ

Е.В. Дробинина \*, Д. Р. Золотарев \*\*

*\*к.г.-м.н., инженер научно-производственной лаборатории прогнозного моделирования в геосистемах Пермского государственного национального исследовательского университета, 614990 г. Пермь, ул. Букирева, 15; инженер-геолог Пермского филиала ООО «Противокарстовая и береговая защита», 127018 г. Москва, вн.тер.г. муниципальный округ Марьино Роцца, ул. Суцёвский Вал, д. 5, стр. 3, ЭТ./КАБ. 3/17, Россия*

*\* к.г.-м.н., младший научный сотрудник научно-производственной лаборатории прогнозного моделирования в геосистемах Пермского государственного национального исследовательского университета, 614990 г. Пермь, ул. Букирева, 15; старший научный сотрудник Пермского филиала ООО «Противокарстовая и береговая защита», 127018 г. Москва, вн.тер.г. муниципальный округ Марьино Роцца, ул. Суцёвский Вал, д. 5, стр. 3, ЭТ./КАБ. 3/17, Россия*

**Аннотация.** Статья посвящена изучению природных условий территории развития карбонатно-сульфатного типа карста, характеризующегося на изучаемом участке широким распространением поверхностных форм его проявления. Состояние покровных отложений оценивалось в зависимости от плотности поверхностных карстовых форм по показателям физических свойств перекрывающих суглинков: естественной влажности, природной плотности и коэффициента пористости. Рассмотрено изменение содержания тонкодисперсной фракции в изучаемых грунтах по мере снижения плотности карстовых форм. С увеличением плотности карстовых форм увеличивается плотность грунта и снижаются коэффициент пористости, естественная влажность и содержание тонкодисперсной фракции. Такой характер изменения состояния перекрывающих суглинков может быть связан с длительным транзитом дисперсного материала и воды в трещинно-полостное пространство карстующихся пород вблизи относительно древних карстовых воронок.

**Ключевые слова:** перекрывающая толща, изменчивость состояния грунтов, карстовые воронки, карбонатно-сульфатный карст

### ВВЕДЕНИЕ

В пределах Российской Федерации крупные провальные формы, связанные с развитием сульфатного (гипсового [1]), карбонатно-сульфатного (карбонатно-гипсового [1]) типов карста,

встречаются на территории Центрально-Европейской части и в Приуралье. Одной из особенностей сульфатного карста является относительно высокая скорость растворения трещиноватых гипсов и ангидритов, в результате чего под мощной толщей нерастворимых водоупорных отложений при условии доступа агрессивных вод могут сформироваться значительные по размерам карстовые полости. При достижении полостями критических размеров образуются крупные провалы.

В обстановках карбонатно-сульфатного карста крупные полости, инициирующие провалообразование, часто формируются на контакте сульфатных пород и перекрывающих их карбонатных вследствие восстановления агрессивности воды по отношению к сульфатам посредством раздоломичивания при фильтрации через перекрывающие карбонатные породы воды, насыщенной сульфатом кальция [2].

Актуальность изучения природных условий карстовых массивов обусловлена спецификой их освоения, связанной с растворением пород и, как следствие формированием пустотного пространства. Невозможность наблюдения за процессом подготовки провалообразования также является одним из главных недостатков изучения карстовых массивов, поэтому поиск закономерностей в изменении природных условий и состояния дисперсных перекрывающих отложений вблизи поверхностных карстовых форм может являться весьма информативным.

## **КРАТКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ИЗУЧАЕМОЙ ТЕРРИТОРИИ**

В административном отношении изучаемая территория относится к Добрянскому району Пермского края. Участок расположен в 5 км севернее Мыса Стрелка – слияния рек Чусовой и Камы. Район работ находится в пределах Верхнекамской депрессии, наследующей структуру одноименной впадины. Депрессия в целом имеет слабовсхолмленный равнинный рельеф, сильно расчлененный в придолинных частях р. Камы ее притоками. Расчлененность рельефа благоприятно сказывается на способности карстового массива дренировать атмосферные осадки вглубь массива.

В тектоническом отношении территория расположена в пределах северо-восточной части Краснокамско-Полазненского вала. В центральной части он прослеживается по выходам кунгурских отложений, которые выделяются среди сплошного поля развития уфимских отложений. Дифференцированные *неотектонические* движения сводово-блокового и блокового характера приурочены к плиоцен-четвертичному этапу, характеризующемуся интенсификацией тектонических движений и, как следствие, формированием новой, сравнительно глубоко врезанной и разветвленной речной сети современных очертаний.

В кайнозое на территории Прикамья характер тектонических движений был неодинаков.

В неогене преобладали отрицательные тектонические движения. Четвертичный период характеризуется общим подъёмом всего Среднего Прикамья. Причём, на участках положительных структур (Краснокамско-Полазненский и Каменноложский валы) движения были более интенсивные [3]. Активность локальных поднятий в областях положительных структур подтверждается активностью овражной деятельности, приподнятостью горизонтов карстовых пустот и пещер над урезом воды [4].

В геологическом строении района работ в приповерхностной части принимают участие породы пермской и четвертичной систем. Четвертичные отложения различного литологического состава развиты повсеместно, представлены на высоких склонах и в долинах рек элювиально-делювиальным и аллювиальным генетическими типами, водораздельные пространства с поверхности сложены лессоидами, субаэрального происхождения, связанного с активной ветровой эрозией и превалирующими процессами плоскостного смыва с положительных форм рельефа. Мощность на левом берегу р. Камы изменяется от 14,8 м (д. Бобки), увеличиваясь на юг до 31 м и более (п. Пальники). На правом берегу мощность четвертичных отложений составляет от 3,3–11,0 м (д. Скобелевка) до 15,0–20,0 м (д. Заозерье).

Соликамский горизонт уфимского яруса нижней перми развит на обоих берегах. На левом берегу представлен глинами и мергелем мощностью 35,7 м, на правом – известняком, доломитом, мергелем мощностью от 5 м до 19 м и более (д. Заозерье) и преимущественно глинами аргиллитоподобными с прослоями известняков мощностью от 9,0 м в заливе устья р. Хохловки до 21,2–57,0 м на водораздельных частях (д. Скобелевка).

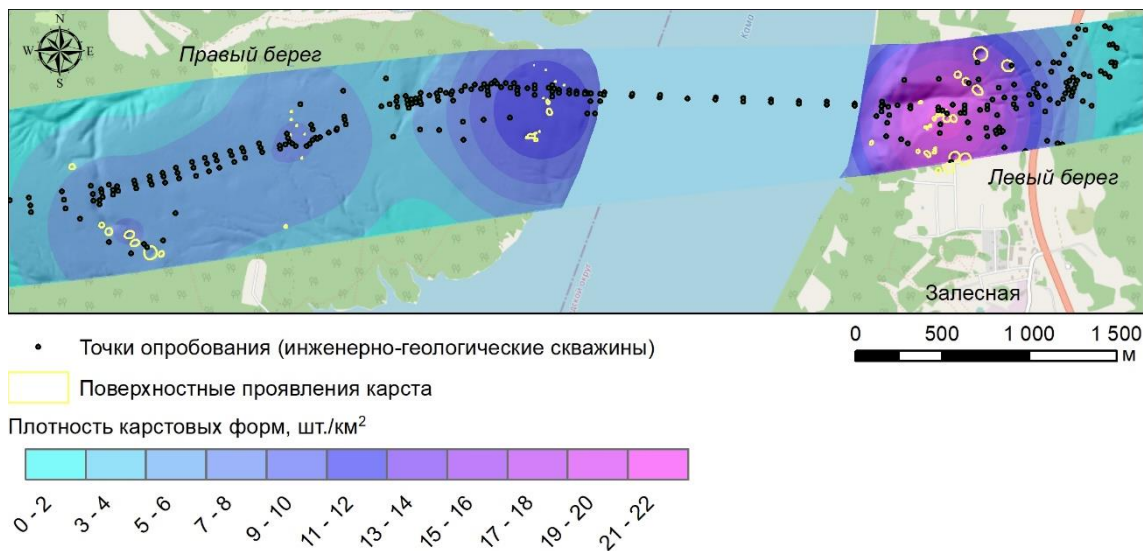
Иренский горизонт кунгурского яруса нижней перми распространен повсеместно на изыскиваемой территории. На левом берегу на крутом абразионном склоне р. Камы (Чусовская Стрелка, Чусовской Мыс) встречаются обнажения пород горизонта. Иренский горизонт представлен чередованием гипсово-ангидритовых и карбонатных литологических пачек, в составе последних выделяются преимущественно доломиты с прослоями мергелей, аргиллитов и известняков. На левом берегу вскрывается на глубине от 50,5 м, на правом – от 31,0 м (д. Заозерье) и от 30,2–62,0 м (д. Скобелевка). В заливе устья р. Хохловки вскрывается на глубине от 14,6 м. Вскрытая мощность на левом берегу 49,6 м, на правом – 17,0–51,0 м. Трещиноватость, пористость и кавернозность карстующихся пород создают единую гидравлическую систему, обеспечивающую движение воды в карстовом массиве [5].

Зона активного водообмена находится в сфере влияния современной гидрографической сети, интенсивного дренажа, воздействия климатических факторов и является зоной преимущественного стока пресных грунтовых вод, способных проявлять агрессивные свойства по отношению к сульфатам и карбонатам.

Карст типично сульфатный, его развитию способствует значительная приподнятость



территории над местным базисом эрозии и трещиноватость пород. Отличительная черта Полазненского участка – высокая закарстованность (средняя плотность – 60 карстовых форм на км<sup>2</sup>), на некоторых микроплощадках на левом берегу может достигать 1000 шт./км<sup>2</sup>. Большая часть карстовых форм – воронки, встречаются карры, карстовые рвы, котловины, овраги, сухие речки и озера [6]. Плотность карстовых форм на изучаемых участках оценивалась как количество поверхностных проявлений карста на единицу площади (рис. 1).



**Рисунок 1.** Плотность поверхностных карстовых форм

## МЕТОДИКА И РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ИЗМЕНЧИВОСТИ СОСТОЯНИЯ ПОКРОВНЫХ ОТЛОЖЕНИЙ

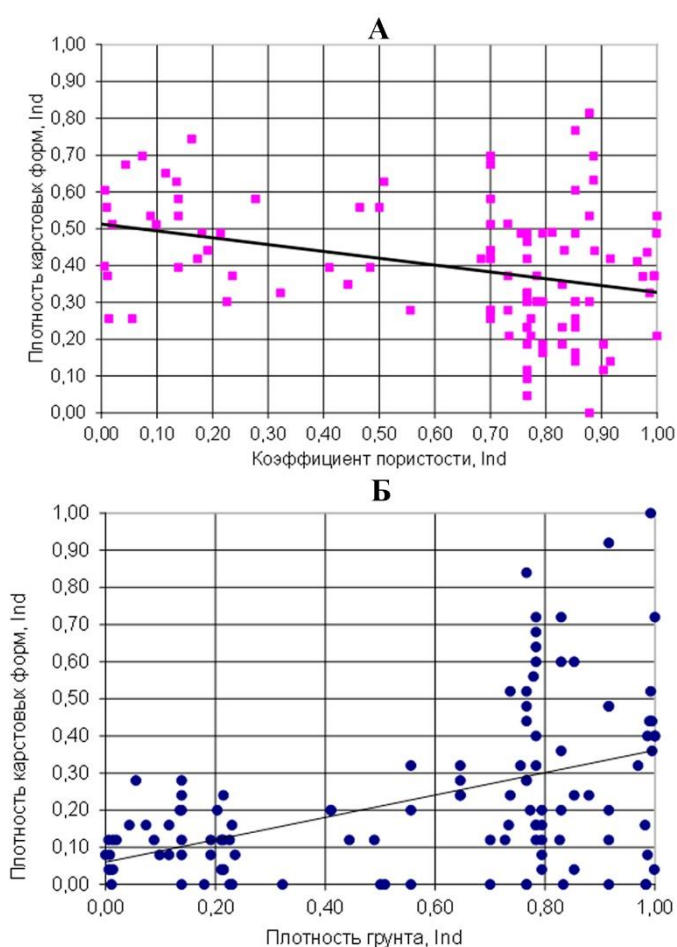
В качестве исследуемых свойств выбраны глинистые отложения среднего звена неоплейстоцена, слагающие высокие (третью и четвертую) террасы р. Камы. Отложения развиты повсеместно на изучаемой территории, что обеспечивает достоверность анализа достаточным для его проведения количеством наблюдений. Исследование проводилось по отдельности для разных карстовых участков (левого и правого берегов), с целью исключения влияния на изучаемые параметры других факторов.

Изменчивость инженерно-геологических свойств, в частности состояния покровных отложений оценивалась путем прямого сопоставления посредством построения двухмерных облаков точек, характеризующих зависимость исследуемого свойства от плотности карстовых форм. В качестве исследуемых свойств выбраны: естественная влажность, плотность грунта, коэффициент пористости и суммарное содержание пылевой и глинистой фракций. Все используемые числовые значения переменных приведены к одинаковой области их изменения посредством нормализации. Целью нормализации служит сведение исследуемых параметров разных единиц измерения к единой шкале для совместного аналитического и графического



анализа.

На рис. 2 приведены типовые графики, представляющие собой облака точек, характеризующие характер изменения исследуемых свойств, в зависимости от плотности воронок. В результате анализа получено, что с увеличением плотности карстовых форм увеличивается плотность грунта и снижаются коэффициент пористости, естественная влажность и содержание тонкодисперсной фракции. Такой характер изменения состояния перекрывающих суглинков может быть связан с перераспределением грунтовых частиц в массиве при провалообразовании: выносом тонкодисперсного материала и влаги из покровной толщи в коллекторное пространство карбонатов на участке нарушенной сплошности водоупоров.



**Рисунок 2.** Зависимость индексной оценки значений плотности грунта (А) и коэффициента пористости (Б) от индекса, описывающего плотность карстовых форм на левом берегу

Подобный характер поведения слоя покровных отложений при залегании карбонатов на незначительных глубинах отмечается в работе Чен Х. и др. (Chen X. et al.). Авторами отмечено, что над целиковыми зонами грунты характеризуются большим увлажнением за счет слабой инфильтрации. Над выветрелыми зонами в карстующихся породах за счет развития трещин и, как следствие, хорошей проницаемости массива, влага в верхних горизонтах не задерживается:

просачивается вглубь массива [7].

Юджин Ян и др. (Youjin Yan et al.), исследуя морфологию трещинного пространства карбонатов и физических свойств, грунтов, заполняющих эти трещины, пришли к выводу, что последние отличаются повышенной плотностью, что вероятно может быть связано с перераспределением частиц и формированием относительно плотной упаковки в процессе транзита дисперсного материала. Пористость и фильтрационные свойства грунтов перекрывающей толщи также выше, нежели оные на поверхности. Содержание песчаной фракции выше в грунтах перекрывающей толщи. Это может быть связано с тем, что тонкодисперсный материал выносится в трещины, тем самым увеличивается поровое пространство и содержание относительно крупной фракции [8]. То же характерно и для условий непосредственной близости к относительно древним поверхностным карстовым формам, которые характеризуются наличием трещин (например, бортового отпора), по которым длительное время происходил транзит дисперсного материала и воды в трещинно-полостное пространство карстующихся пород.

## **ВЫВОДЫ**

1. Анализ природных условий свидетельствует о том, что формирование провалов здесь связано со структурно-тектоническим положением территории, обеспечивающим относительно близкое залегание сульфатных пород к поверхности. Хорошая расчлененность рельефа весьма благоприятствует карстовому процессу, обеспечивая хороший дренаж подземных вод вглубь массива, особенно по трещинам, развитым в бортах эрозионных логов.

4. В непосредственной близости к относительно древним поверхностным карстовым формам, которые характеризуются наличием трещин (например, бортового отпора), характер изменчивости состояния перекрывающих суглинков обусловлен длительным транзитом дисперсного материала и воды в трещинно-полостное пространство карстующихся пород.

## **ЛИТЕРАТУРА**

1. Горбунова К. А., Андрейчук В.Н., Костарев В.П., Максимович Н.Г. Карст и пещеры Пермской области // Пермь: Перм. гос. ун-т, 1992. 200 с.
2. Печеркин А.И. Геодинамика сульфатного карста. Иркутск. 1968. 172 с.
3. Лунев Б. С. Особенности строения аллювия Камы и Чусовой на участках развития карста // Уч. зап. ПГУ, т. XVIII вып. 2, 1961. С. 13–16.
4. Печеркин И.А. Геодинамика побережий Камских водохранилищ. Часть I, Пермь, 1966. 198 с.
5. Килин Ю.А., Минькевич И.И. Карст Чусовского Мыса Камского водохранилища // Инновационный потенциал естественных наук. Том II. Экология и рациональное природопользование. Управление инновационной деятельностью. Пермь, 2006. С. 91–94.

6. Бутырина К.Г. Гипсовый карст центральной части Пермской области. Дисс. канд. географ. наук / Перм. ун-т. Пермь, 1968. 380 с.
7. Chen, X., Zhang, Z., Chen, X. et al. The impact of land use and land cover changes on soil moisture and hydraulic conductivity along the karst hillslopes of southwest China. *Environ Earth Sci* 59, 811–820 (2009). DOI: <https://doi.org/10.1007/s12665-009-0077-6>
8. Youjin Y., Quanhou D., Li J., Xiangdong W. Geometric morphology, and soil properties of shallow karst fissures in an area of karst rocky desertification in SW China // *Catena* 174 (2019) 48–58. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.catena.2018.10.042>

## ОБРАЗ ГЛУБИННОГО ЯДЕРНОГО МОГИЛЬНИКА В РОССИИ: УНИКАЛЬНОЕ НЕГАТИВНОЕ НЕСООТВЕТСТВИЕ КАНОНАМ

**В.Н. Комлев**

*инженер-физик, г. Апатиты, Россия*

**Аннотация.** Рассмотрены геологические условия российской площадки глубинного захоронения радиоактивных отходов около Енисея. Не только изолированно в границах заданной площадки, как было принято прежде. Но и с учетом более масштабных факторов: тектоника литосферных плит, свойства ряда аналогичных функционально площадок в переходных условиях (Балтика-Енисей-Тихий океан), районирование локальной смежной территории по полезным ископаемым, наличие вблизи площадки других объектов захоронения. В таком смысловом соединении предложено изучать на стадии разведки главный для безопасности инженерно-геологический параметр горного массива – состояние подземной гидросферы. Отмечена необходимость надежной нормативно-правовой базы. По результатам первичных стадий работ по пункту глубинного захоронения РАО выявлены недостатки применения и исполнения законодательства и технических норм. Сформулировано предложение о правовой экспертизе подготовленных для участка «Енисейский» документов. Кроме того, оценка общей ситуации представителями гуманитарных наук может быть полезной.

**Ключевые слова:** геологическое захоронение радиоактивных отходов, подземное строительство, могильник, безопасность, гидравлическая проницаемость пород, право, технические нормы, вечность, мера человечности.

*Одним словом, придумано*

*П. П. Бажов, Каменный цветок*

### **ВВЕДЕНИЕ**

Настоящая статья, как оценочное профессиональное суждение автора для попытки понимания долговременного будущего, посвящена анализу информации по теме захоронения особо опасных радиоактивных отходов (РАО) в России, опубликованной в открытых источниках. Хоронить РАО, безусловно, нужно. Но где и как?

В мировой практике использования ядерной энергии выделяют заключительную стадию ядерного топливного цикла (ЯТЦ), которую реализуют по одному из двух вариантов: с переработкой отработавшего ядерного топлива (ОЯТ) или без нее. Важно, что оба варианта в

части подземного строительства приводят к принципиально неразличимым подземным объектам глубинного/геологического захоронения либо отходов высокой активности (ВАО) и долгоживущих от переработки ОЯТ, либо непосредственно (прямое захоронение) ОЯТ [1, 2]. Россия пока предпочитает основную часть ОЯТ перерабатывать и планирует создать в Красноярском крае, на участке «Енисейский», в пределах ЗАТО Железногорск, на промышленной территории ФГУП «Горно-химический комбинат» (ГХК) национальный/федеральный шахтного типа ПГЗРО (архейские гнейсы, на глубине 450-550 м) - пункт глубинного захоронения РАО 1 и 2 классов опасности, твердых. Речь идет об объекте ЯТЦ, у которого по международным представлениям перспектива на миллион лет экологических тревог и на сотни миллиардов долларов затрат только в обозримом будущем. По принципу условной паритетности военных и гражданских ядерных программ СССР/России и США объем российских РАО предположительно можно оценивать лишь в сравнении с американскими. А российский ПГЗРО в центре страны – с совокупностью двух (WIPP и Yucca Mountain) американских в приграничной (как и китайский Weishan) пустыне.

## **МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ РАБОТЫ**

Как известно, решение научно-технической задачи предусматривает в качестве основных несколько этапов/стадий/циклов. В частности, такие: выбор цели/проблемы/объекта, накопление фактов, их изучение, систематизацию и обобщение, построение логически стройной системы знаний и действий, проверка результатов с точки зрения их истинности и соответствия всем реальным условиям конкретного объекта. Должны быть также системный подход и социальная ответственность за свои действия и их последствия.

К сожалению, этапы обоснования национального ПГЗРО далеки от требуемых. Для первоначального объекта - ПГЗРО низшего уровня – цеха ГХК (функционально наравне с другим цехом захоронения жидких РАО) был определен участок «Енисейский». Затем статус объекта для того же участка, на том же уровне обоснования и изучения участка, повысили до национального ПГЗРО с потенцией перехода к международному. При этом для важного/ключевого действия - выбора площадки были «потеряны» должного наполнения и качества этапы сравнения с зарубежным опытом, рассмотрения российских альтернатив. Многие реальные условия участка «Енисейский» не были приняты во внимание, а его геология изучена слабо. Обсуждение результатов превратилось во многом в пиар без профессиональной аргументации.

Более подробно негатив методологии работ по ПГЗРО рассмотрен на конкретных примерах в публикациях автора [3] и других по ссылкам настоящей статьи, а также

непосредственно в ней. Принятая методология изначально не могла не привести к неудовлетворительному, скорей всего, итогу работ.

## **ЗАКОНОДАТЕЛЬСТВО И ТЕХНИЧЕСКИЕ НОРМЫ**

Связанные с любым местом размещения аспекты, прежде всего, безопасности федерального ПГЗРО принципиально нуждаются в надежном доказательстве на базе законодательства, норм и правил в области использования и охраны недр. Естественно, что должна быть уверенность в правильности/надежности самой базы – сформированной подборки регулирующих документов. В связи с этим, каждый из подготовленных, обычно в разное время и разными исполнителями (в том числе, разных ведомств), обосновывающих ПГЗРО материалов, по части законов и технических норм, целесообразно, видимо, тестировать. Используя разработанный внешними экспертами перечень необходимых для контроля регулирующих документов и их разделов/пунктов. Тестировать последовательно и порознь по факторам: **ОБОЗНАЧЕННЫЕ ИСПОЛНИТЕЛЯМИ ДЛЯ ПРИМЕНЕНИЯ РЕГУЛИРУЮЩИЕ ДОКУМЕНТЫ** (в первую очередь, так как заведомое неприменение важных регулирующих документов/ошибочные ориентиры/ущербность выбранной для процедуры обоснования нормативно-правовой базы практически неизбежно порождают нарушения) и **ИСПОЛНЕНИЕ ЭТИХ ДОКУМЕНТОВ**.

К сожалению, при создании ПГЗРО присутствуют, похоже, непрофессиональная, несвязная, неполная и во многом неадекватная горно-геологическая трактовка истории, будущего и объемов работ, идентификации и свойств массива пород, некоторых других важных позиций, а также далеко не в полном объеме применение регулирующих документов (их исполнение и соответствие результатов нормам также далеки от безупречных), недостаточная открытость экономических показателей, принятых разрешительных документов, геологических материалов по участку «Енисейский» [3]. Например, предписано (Закон № 190-ФЗ от 11 июля 2011 г. «Об обращении с радиоактивными отходами...», статья 12, п.2), что захоронение твердых высокоактивных долгоживущих и твердых среднеактивных долгоживущих радиоактивных отходов осуществляется в пунктах глубинного захоронения РАО, обеспечивающих локализацию таких отходов в соответствии с Законом о недрах. Стало быть, «в соответствии с Законом о недрах» относится и к Железногорску. Кстати, Закон о недрах рассматривал нормы захоронения РАО в рамках проблемы регулирования отношений при использовании недр в целях, не связанных с добычей полезных ископаемых, уже до и вне указаний Закона № 190-ФЗ. Поэтому, как только сложное многоэтапное обращение с особой опасностью РАО доходит до захоронения, как только функцией создаваемого объекта объявляется обоснование (наука) или реализация (промышленность) захоронения этих РАО -

главенствующая роль и необходимость неукоснительного соблюдения переходят к Закону о недрах.

Не все причастные к проблеме об этом помнят. В «Стратегическом мастер-плане исследований в обоснование безопасности ПГЗРО в Нижнеканском массиве» для «строительства ПГЗРО и создаваемой “параллельно” с ним ПИЛ (подземной исследовательской лаборатории)» Закон о недрах не обозначен/отсутствует в качестве ориентира «в рамках горизонта планирования 2070 г.» [4]. Как и в препринте «Обоснование долговременной безопасности захоронения ОЯТ и РАО на 10 000 и более лет: методология и современное состояние» [5]. В как бы основополагающем (выпущен позже начала работ и оформления основных разрешений) документе «Стратегия создания пункта глубинного захоронения радиоактивных отходов» Закон о недрах не упоминается (раздел 2), зато объявляется вопреки Закону, что «создаваемые... сооружения ПИЛ ... предназначены для захоронения... РАО классов 1 и 2» (раздел 4) [6]. Закон о недрах, по мнению авторов отчета для Международного научно-технического центра, специалистов стратегического планирования захоронения РАО, ответственного исполнителя геологических работ на участке «Енисейский» и специалистов по проблеме захоронения реакторного графита (Т.А. Гупало, разделы 1.1, 2 [7]; А.А. Ковальчук, слайд 2 [8]; А.Ю. Озерский [9]; [10]), к основе их решений не относится. В условиях действия лицензии Ростехнадзора ГН-01,02-304-3318 (п. 2, [11]) не прописано (по крайней мере, напрямую) обязательное выполнение Закона о недрах. В.А. Караулов (ОАО «Красноярская горно-геологическая компания») в выводах приложения 3 протокола ГКЗ - ФБУ «Государственная комиссия по запасам полезных ископаемых» (с. 36, [12]) не указывает соответствие условий участка «Енисейский» Закону о недрах.

В 2015 г. ФБУ «Институт проблем безопасного развития атомной энергетики» (ИБРАЭ РАН) отмечал ([13], предисловие, с. 7), что до 2011 г. (участок «Енисейский» был уже запущен в работу,- В.К.) в России отсутствовали правовые требования по захоронению РАО. Это не соответствует действительности: уже действовали, например, Закон о недрах (1992 г.), НП-050-03 «Размещение ядерных установок ядерного топливного цикла (ЯУ ЯТЦ). Основные критерии и требования по обеспечению безопасности» (2003 г.) и НП-055-04 «Захоронение радиоактивных отходов. Принципы, критерии и основные требования безопасности» (2004 г.). Неточности про Закон о недрах и федеральные НП, видимо, воспроизведены не один раз ([14]: введение, с. 6; глава 2; разделы 2.1, 2.3; список литературы; трансляция статьи 12 Закона № 190-ФЗ относительно ВАО без важного указания на Закон о недрах, с. 57).

При выборе и экспертизе площадки и района ПГЗРО никем пока не задействованы федеральные нормы и правила НП-050-03, п. 1.1 которых напрямую их применение предписывает для такого случая. Хотя в перечне «Нормативные документы» на сайте ФГУП

«НО РАО» (Национального оператора по обращению с радиоактивными отходами) НП-050-03 присутствуют, а Свидетельством Госкорпорации «Росатом» от 07.03.2012 № ГК-С008 ФГУП «НО РАО» было признано организацией, пригодной эксплуатировать ядерные установки (см. Материалы обоснования лицензии, МОЛ, на размещение и сооружение..., том 1, с. 13 [15]). Если ПГЗРО не является ЯУ ЯТЦ, то какие эксплуатируемые ФГУП «НО РАО» сооружения [16] ими являются? Не известно пока и полновесное применение документа НП-100-17 (Федеральные нормы и правила в области использования атомной энергии «Требования к составу и содержанию отчета по обоснованию безопасности пунктов захоронения радиоактивных отходов»), по смыслу расширенного набора требований, тесно связанному с НП-050-03.

Труднопонимаем лицензируемый вид деятельности лицензии ГН-01,02-304-3318 (которая должна быть документом конкретных и однозначных действий в рамках строго определенной одной стадии пользования недрами, а также строго определенных объемов и типов РАО, а не основанием для опережающих волюнтаристских рассуждений о странных вариантах). Нужно еще доказать, что витиеватая (изобретено комплексное пользование недрами: воедино сведены наука, а также хранение, захоронение и ненормативная «окончательная изоляция» РАО!) формулировка вида деятельности в этой лицензии и МОЛ [11,15] не противоречит терминологии и сути Закона о недрах, НП-055-14 (которые заменили НП-055-04), Закона о лицензировании и НП-050-03. Терминологии МАГАТЭ ([17], ядерная установка nuclear facility, с. 284, п. 3) и устоявшимся представлениям о составе объектов ЯТЦ (см. [1,2]) эта формулировка вряд ли соответствует.

Заявленный вид деятельности есть следствие попытки механистически объединить результаты разных по причинам, обстоятельствам и смыслу работ, выполнявшихся на территории и вблизи ГХК в связи с проблемой захоронения твердых РАО.

Даже в материалах к ФЦП ЯРБ-2 (Федеральная целевая программа «Обеспечение ядерной и радиационной безопасности на 2016 – 2020 годы и на период до 2030 года»), дополнительно к массе аналогичных публикаций в СМИ, представитель ФГУП «НО РАО» излагает историю вопроса и суть лицензируемого вида деятельности, мягко говоря, лукаво [18]. Достаточно сказать, что к 2000 г. (моменту возникновения лишь идеи участка «Енисейский») были не только найдены, но и изучены площадки на Новой Земле и территории ПО «Маяк» (ВНИПИпромтехнологии – с 1970 г., ИГЕМ РАН – с 1992 г. [19]), Кольском полуострове (Горный институт Кольского НЦ РАН), сформировано надежное научное направление поиска площадок такого ранга в пределах урановых месторождений, подкрепленное примерами площадок вблизи Краснокаменска (ИГЕМ РАН), вышло Распоряжение правительства России



№ 1576-р от 27.08.92 (подготовлено Институтом динамики геосфер и Горным институтом Кольского НЦ РАН) о создании ПИЛ на Кольском полуострове.

Выдающийся геолог, организатор науки и государственный деятель Н. П. Лаверов, при поддержке других лидеров ИГЕМ РАН, считал захоронение ВАО и создание подземной исследовательской лаборатории в урановых рудниках Краснокаменска единственно верным путем [20]. А нынешние горняки готовы на практике доказать, что такой ПГЗРО будет надежным, эффективным и выгодным [21]. Думаю, если не будет ненаучного противодействия со стороны администрации Енисейского проекта, то докажут для всех категорий РАО. Вероятно, не только для готовых подземных выработок Стрельцовского уранового поля, но и Печенгского медно-никелевого (см. статьи В. Н. Комлева о гипотетическом Печенгском ПГЗРО, хотя бы с 2016 г.). Оба альтернативных Железногорску и не худших варианта – это удачное географическое/геополитическое положение, детально изученная геология района и площадок рудников, отработанные горные технологии, практически полностью готовая инфраструктура, полная обеспеченность кадрами, избавление центральных регионов страны от значительных объемов опасных перевозок и другие позитивные факторы.

Основные этапы (можно, видимо, выделить три) и главные особенности/цели локальных работ на территории и вблизи ГХК проявляются при анализе **первичных публикаций на основе информации от непосредственных исполнителей и заказчика**. Потому как история ПГЗРО искажена последующими «интерпретациями» вслед за первым (от цеха ГХК к федеральному ПГЗРО) изменением статуса объекта.

Первый этап (1992–2001 годы). Нижнеканский массив гранитов. Сведения об участке «Енисейский» и федеральном ПГЗРО отсутствуют. Локальный ПГЗРО запланирован исключительно для РАО ГХК. Добротный обзор работ 1992–1998 годов - [22]. Приведем некоторые факты из этой публикации. В конце 1992 г. по поручению ГХК был сформирован коллектив специалистов, представлявший около 15 организаций и предприятий. Задача – определить возможность и найти участок для безопасного захоронения ВАО завода РТ-2 (ГХК вряд ли должен был иметь полномочия ставить задачу поиска и обоснования площадки для федерального ПГЗРО). Три научно-исследовательских и проектно-изыскательских темы, комплексная программа от 1994 г., утвержденная зам. министра Н. Н. Егоровым и академиком Н.П. Лаверовым, ФЦП № 1030 от 1995 г. на 1996-2005 годы – внушительное планирование исследований. Надежность информации контролировалась сопоставлением результатов, полученных различными организациями. Всеми группами исследователей независимо друг от друга наиболее перспективными были признаны гранитоиды Нижнеканского массива и участки «Итатский» и «Каменный». В принципе, древнейшие гнейсовые толщи ближайшего окружения рассмотренных (Белогорский, Таракский, Нижнеканский) гранитоидных массивов

не были оставлены без внимания. Но такие гнейсы не вошли в число перспективных структур. Ни в планах «начала пути», ни в описании выполненных работ, ни в планах завершения работ (включая детальную разведку) не упоминаются ни участок «Енисейский», ни гнейсы Атамановского кряжа Саян (вмещающие подземный комплекс ГХК породы), ни федеральный ПГЗРО, ни ПИЛ формата горных выработок. В. В. Жидков – тогдашний гендиректор ГХК: 1992-1999 годы, Нижнеканский гранитоидный массив, только для отверженных ВАО оборонной программы ГХК в связи с отказом от захоронения жидких РАО комбината [23]. В материалах международного семинара 1998 г. по проблемам, касающимся отходов в России [24], информация о работах по федеральному ПГЗРО и любым другим на участке «Енисейский» отсутствует.

Таким образом, этот этап, к сожалению, не является этапом изучения участка «Енисейский» и работ по федеральному ПГЗРО. См. также [25,26].

Второй (2002–2012 г.). Обозначены масштабные (как по поставщикам – вплоть до зарубежных, так и по типам РАО - вплоть до ОЯТ) желания [7]. Работы впервые [7, с. 281; 26] начаты за пределами настоящего Нижнеканского массива (резкий переход от гранитов к породам их западного обрамления), вблизи Енисея, на контактирующих с мощными отложениями юры архейских гнейсах, ПГЗРО с ПИЛ / ПИЛ в составе ПГЗРО, смешанная/неадекватная терминология, искажение истории работ, РАО ГХК уже лишь как частный случай, упоминание НП-055-04 без Закона о недрах, начало оформления (2008 г.) предпроектной документации на базе результатов бурения лишь одной «глубокой» (600 м, пройдена не ранее 2005 г.) скважины 1-Е, «на основании выполненных предпроектных исследований (какая стадия геологического изучения, - В.К.?) определены характеристики массива горных пород в районе площадки строительства объекта, обеспечивающие пригодность массива для окончательной изоляции РАО» [27].

Однако, в 2012 г. существовало и другое авторитетное мнение: «Сравнительный анализ полученных данных показал, что в толще вскрытых пород присутствуют тектонически слабонарушенные низкопроницаемые интервалы. Однако также установлены зоны повышенной трещинной и матричной проницаемости, в которых может осуществляться фильтрация подземных вод и миграция радионуклидов. Учитывая ограниченность исходных данных о геологии и тектоническом состоянии участка «Енисейский», представляется преждевременным принимать решение о его пригодности для подземного захоронения твердых и отверженных радиоактивных отходов» [28]. См. также [29, 30].

Третий (с 2013 г. по настоящее время). Продолжение работ на участке «Енисейский», «стационарные объекты и сооружения, не относящиеся к ядерным установкам, радиационным источникам и предназначенные для хранения радиоактивных веществ, хранения или

захоронения радиоактивных отходов в составе ПИЛ» [11], оформление разрешительных документов, серьезное несоответствие условий участка «Енисейский» международному опыту, требованиям Закона о недрах и ряда других регулирующих документов [3].

Для сравнения и правильного/полного понимания ситуации: в материалах лицензии Роснедр КРР 16117 ЗД от 22.07.16 (со странным сроком действия, по результатам поисковой и оценочной стадий геологического изучения), хотя (вопреки правилам) и не обозначены выдавшие/согласовавшие разрешение на пользование земельным участком органы, а она сама по состоянию на 15.04.21 отсутствует (!) на сайте ФГУП «НО РАО», в части лицензируемого вида деятельности четко и однозначно записано: «захоронение радиоактивных отходов в глубоких горизонтах», участок «Енисейский», никаких других вариантов нет [31].

Для авторов и исполнителей Енисейского проекта Закон о недрах как бы не существует, а большинство лицензий они оформляют у распорядителя недр! При таком оформлении распорядитель недр, похоже, не очень внимателен. Это может привести к ошибочным трактовкам и действиям. Перефразируя мысль христианства и Ф. М. Достоевского, можно сказать: если Закона о недрах нет, то все дозволено.

Общим итогом перечисленных административно-процессуальных нарушений/системных ошибок/тотальной забывчивости/странной ментальности авторов Енисейского проекта можно, видимо, назвать фактическое неприменение (автоматически - невыполнение) статьи 12 (п.2) Закона № 190-ФЗ. Что, одновременно, обусловило несоответствие многих реалий создания ПГЗРО горно-геологическим нормам Закона о недрах и связанных с ним документов.

## **ОГРАНИЧЕНИЯ ПРОМЫШЛЕННОЙ ТЕРРИТОРИИ ГХК**

Вблизи площадки ПГЗРО уже имеются разные, ядерного топливного цикла, объекты долговременного размещения (хранение и захоронение) РАО и ОЯТ, комплекс переработки ОЯТ и другие в составе ядерно-космического кластера. Завершают захоронение промышленных реакторов ГХК по способу «на месте» и эксплуатируют полигон «Северный» (юрские осадочные пласты-коллекторы во впадине скального архейского фундамента, захоронение жидких РАО). Документом НП-050-03 предусмотрен, соответственно этому факту, «учет наличия в районе размещения и на площадке ЯУ ЯТЦ других действующих, сооружаемых и проектируемых объектов использования атомной энергии, зданий, относящихся к категории взрывопожарной и пожарной опасности, объектов, содержащих токсичные и коррозионно-активные вещества, а также транспортных путей, аварии на которых могут оказывать воздействие на ЯУ ЯТЦ» (п. 2.1 и 4.2.1). Предусмотрены также

«ограничения техногенного воздействия на ЯУ ЯТЦ действующих ядерных установок, расположенных в районе размещения и на площадке ЯУ ЯТЦ» (п. 2.5).

Рисунки страниц 27, 29, 30, 45, 47, 50, 194 [32], 13 [27], 3 [28] и публичных МОЛ (2015, 2018, 2020 и 2021 годов) для комплекса соседствующих объектов ГХК и Национального оператора, отчета [7] дают обобщенную (более полную, нежели лишь в МОЛ-2015 только для пункта захоронения РАО) ситуационную картину промышленной территории ГХК, площадки ПГЗРО и сопряженных территорий (административные границы, горный и земельный отводы, геоморфология, геология). Промышленная территория ГХК («гнейсовый полуостров») на земной поверхности зажата между Енисеем и угленосными (и обводненными) образованиями юры (долина притока Енисея Большая Тель – долина Черского). От площадки ПГЗРО (блок 37) до Енисея – 4, 5 км, до блока 38 (юрские отложения в составе долины Черского, по А.Ю. Озерскому [33] - наличие водонасыщенных угленосных месторождений) – 2 км.

Если рассматривать геологическую ситуацию вглубь минимум до целевого интервала ПГЗРО, то картина еще тревожней. «Енисейский» и его соседи ГХК находятся в синем «море-океане» юры. Вмещающая «гнейсовый полуостров» (с.13 [27]) промтерритории ГХК юра принадлежит Западно-Сибирскому артезианскому бассейну. Воды проводящих горизонтов имеют высокий напор. Многие скважины в интересующем районе фонтанируют. Считают (по повышенным показаниям фтора и хлора), что проводящие горизонты запитываются неиссякаемой восходящей глубинной водой по зоне Приенисейского (или Байкало/Саяно-Енисейского) глубинного разлома под долиной Енисея [34]. Восходящие потоки глубинной древней воды не могут быть локальным процессом. С помощью каких-либо технологий с ними вряд ли возможно справиться. Тем более, что они и их поведение уже в покрывающих отложениях юры вблизи «гнейсового полуострова» не изучены. Случайно последствия их присутствия зафиксированы в Енисейске. А где еще ими интересовались?

Кстати, аномальные хлор и углерод фиксировали в скважинах участка «Енисейский». Но тогда этот факт объяснили возможным влиянием ГХК [12, с. 58] (что тоже не может радовать, рассматривая эти элементы как индикатор перемещения подземных вод в гнейсах промышленной территории). Подземные воды «водонепроницаемой» зоны (целевого интервала) в сравнении с водами расположенной выше «относительно водоносной» зоны уже несут в себе заметные примеси (превышения ПДК) ряда микроэлементов [12, с. 46–47] (то есть, отличаются по составу от подземной воды, формируемой, преимущественно, атмосферными осадками). Отметим результаты трассерного опыта в скважине ПР-1: хаотичное изменение индикатора-третия в отбираемых на протяжении почти двух месяцев пробах воды целевого интервала (а не посторонний ли это тритий, например, полигона «Северный», см. Вакуловский С.М. в списке литературы, хаотично перемещающийся в

массиве, искажал результаты опыта?), существенное поступление жидкости извне, нестабильность по химическому составу воды процесса стабильного обводнения, поступление в изолированную зону опробования молодых инфильтрационных вод и их смешение с древними [12, с. 59; 3, см. <https://proza.ru/2020/09/20/903>]. В итоге натурные исследования показали, что механизмы питания-разгрузки целевого интервала вряд ли ясны.

Сложный по структурно-тектоническим характеристикам «гнейсовый полуостров» контактирует по всему интервалу глубин с сотнями метров юрских отложений, содержащих водонасыщенные (возможно, и газонасыщенные из-за известного явления дегазации Земли по глубинным разломам) и водонапорные высокой проницаемости слои. Возможен, дополнительно к воде с земной поверхности (и даже как основной), механизм питания целевого интервала по проводящим зонам трещиноватых гнейсов глубинной водой (газом/метаном). Факт существования в гнейсах участка «Енисейский» восходящего потока подземных вод может получить еще одно обоснование. Предстоящая геологоразведка должна быть дополнена глубоким бурением (не менее 1 км, как было предусмотрено для участка ранее – табл. 3 [7]) не только по гнейсам, но и по юре (причем как вдоль восточной границы пород, так и западной).

Потребность изучать герметичность/проницаемость контакта «гнейсы-юра» на промышленной территории ГХК уже возникала в связи с полигоном ЖРО «Северный». Соответствующие работы были выполнены. Новые изучения контактов в связи с ПГЗРО обусловлены не только возможностью обмена водой между гнейсами и юрой, но и необходимостью прогноза сохранения/изменения флюидного (вода, ЖРО) режима в контуре ПГЗРО – подземный комплекс ГХК – полигон «Северный».

Если контакт юры с «гнейсовым полуостровом» изначально недостаточно герметичен по воде и газу или потеряет/уменьшит герметичность по каким-либо техногенным причинам, то функционирование всех подземных объектов (в том числе, захоронения РАО) на промплощадке ГХК может осложниться. Свойства и потенциал контакта в плане безопасности должны быть надежно изучены до начала горных работ по ПГЗРО.

Эта промтерритория – место существующих наземных и подземных объектов, возможное взаимовлияние которых необходимо учитывать. Ее ресурс для размещения сейчас новых объектов ограничен или вообще исчерпан. Современный славный подземный комплекс ГХК с захороненными навечно реакторами (если говорить о интегральных свойствах горы – зона техногенного разуплотнения гнейсов, гигантские объемы вынутой скальной породы [35]), как ни печально (после вывода из эксплуатации, нет вечных производств), – будущие каналы сбора воды и «естественных» водотоков, которые не улучшат и без того сложную в контексте ПГЗРО гидрогеологию общего массива.

К сожалению, гидрогеологические прогнозы на основе математического моделирования в связи с ПГЗРО выполняются чересчур упрощенно, без достаточной полноты исходных данных, при слабом соответствии модели реальности и ожиданиям – следовательно, прогнозы вряд ли надежны. Сценарии [36; обложка 37] включают лишь сбор и фильтрацию воды с земной поверхности, структура и трещиноватость массива - взгляды до 2015 г. (которые многократно критиковались), не принимаются во внимание (при «горизонтах планирования» сто, тысячи и миллион лет) резервуары воды в массиве на 200-300 м выше целевого интервала захоронения РАО – техногенные пустоты ГХК, которые, скорей всего, заполнятся к тому времени водой. Как не учитывают и техногенные пустоты для резервуаров системы пожаротушения (которые будут заполняться из подземных запасов «ближайшей периферии») [38]. Видимо, при отсутствии детальной разведки экспериментальную базу для качественного и надежного моделирования обеспечит «новый утвержденный облик ПИЛ» [39].

Два крупных подземных объекта (и потревоженный горный массив): не будет ли негативное воздействие друг на друга и на породный целик между ними уже на стадии строительства ПГЗРО? С юга чередой, практически вплитык, – Железногорск, Сосновоборск и Красноярск.

В США, Китае, Швеции и Финляндии целевой горизонт ПГЗРО запланировано вскрывать наклонными спиралеподобными технологическими выработками – туннелями за внешним контуром зоны захоронения РАО [40]. Туннелями вскрывали и подземный комплекс ГХК. В концептуальных проектах Горного института Кольского НЦ РАН для подхода к целевому интервалу предложено использовать принципиально похожую на зарубежный вариант обособленную выработку – многофункциональный уклон (например, Концепция подземного хранилища отработавшего ядерного топлива судовых ядерных энергетических установок на Кольском полуострове). ИГЕМ РАН вблизи Краснокаменска предлагает создавать подземный объект изоляции ОЯТ (возможно, с международным статусом) штольневой типа [19].

А ПГЗРО на промышленной территории ГХК начинают вертикальными технологическими стволами непосредственно в будущую рабочую зону [40]. Не следствие ли это тесноты на гнейсовом «полуострове»? Кроме того, такие стволы на стадии автономного существования ПГЗРО (даже при качественном заполнении их внутреннего свободного/технологического объема, например, бентонитом) могут быть эффективными рукотворными «водосточными трубами/коллекторами» для поступления воды в подземный комплекс с земной поверхности и из массива (скорее всего, так как бетон/тюбинги их стенок без ремонта не сохраняют герметичность и сотню лет - потекут). И никакие памперсы на стенках

ПИЛ по планам подземных исследований не дадут прогноза долговременного флюидного режима в зоне РАО.

Впервые (с помощью стволов «под одной крышей») так предлагали строить ПГЗРО и в пределах санитарно-защитной зоны ПО «Маяк» [41]. Более того, из-за перегруженности промышленной территории наземными объектами и разломными зонами был предложен вариант отказа здесь от ПГЗРО шахтного типа и перехода к захоронению ВАО в скважинах большого диаметра, пробуренных с поверхности [28, рис. 2]. То есть, подход, порождающий тесноту, осознан давно соответственно общему стремлению Росатома, вопреки мировой тенденции (тем более, ее лучшим проявлениям, например, в Германии [2, табл. 3]), создавать федеральные пункты захоронения РАО на пока охраняемых территориях своих крупных уже действующих производственных комплексов (Новоуральск, Озерск, Северск, Железногорск), обрамляя южную часть Западно-Сибирской низменности – нефтегазовой провинции (усиливая потенциальные риски штатного и аварийного ее радиационного загрязнения [42]). Подземного пространства для надежного маневра выработками ПГЗРО в таком назначенном варианте (при горно-геологических осложнениях или желаемом наращивании объемов захоронения РАО/строительстве новых очередей объекта) при этом, похоже, нет.

Информация к размышлению: не полностью раскрытая всего лишь шестидесятилетняя (не миллион лет!) история постепенно разраставшегося ядерного кластера в Сосновом Бору - необходимы новые законодательные нормы и инструменты для обеспечения ядерной и социально-экологической безопасности объектов [43]. И еще. В 2004 г. был подготовлен проект по строительству первого федерального хранилища низко- и среднеактивных ТРО в многолетнемерзлых коренных породах на архипелаге Новая Земля. Консорциум западных фирм (Швеция, Норвегия, Англия, Испания, Германия) выдал положительное заключение об экологической безопасности сооружения предполагаемого объекта. Ряд других западных фирм уже готов был инвестировать свои средства. Проект был одобрен на заседании коллегии Министерства по атомной энергии. Но он не получил утверждения министра А. Ю. Румянцева и не был осуществлен [44].

## **ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ОГРАНИЧЕНИЯ УЧАСТКА И РАЙОНА**

Участок «Енисейский» принадлежит Атамановскому кряжу Саян - тектоническому узлу Западно-Сибирской плиты, Сибирской платформы и Алтае-Саянской орогенической области. Русло и берега Енисея, маркирующего глобальную континентальную неоднородность/глобальный геологический переход, не будут миллион лет безразличными к динамике земной коры, наложенной на динамику реки. В пределах той же промышленной территории комплексно следят за состоянием горного массива объекта-аналога (см. протокол

ГКЗ, В.А. Караулов и А.А. Верчеба [12]). Кстати, до начала строительства подземных объектов ГХК скальный массив в гидрогеологическом отношении был практически не изучен [7].

Массив участка «Енисейский» сложен. Особое внимание при его изучении и эксплуатации должно быть уделено флюидному режиму, влиянию разломно-блоковой структуры земной коры на состояние подземной гидросферы. Важно не только наличие в массиве блоков с относительно низкой водопроницаемостью, но и наличие по их границам зон повышенной водопроницаемости (мощностью 0,2–13 м). В условиях масштабных горных работ и последующего автономного функционирования многозвенного ПГЗРО с прогревом пород и подземных вод до 100-150 градусов [12,45,46], при благоприятных для образования трещин растягивающих напряжениях в горе и ее «потряхивании» отголосками землетрясений в соседних регионах, именно сеть таких границ будет определять безусловное присутствие и динамику воды в массиве и горных выработках с РАО – главный фактор выноса радиоактивности.

На исходную/природную монолитность пород ПГЗРО трудно рассчитывать в принципе, исходя из представлений о процессах в земной коре. Север (Заангарье) и юг (Саяны) региона - провинции месторождений золота и урана, генетически обусловленные геодинамической историей территории. Кроме того, «Грандиозность позднемиоценовых движений можно считать доказанной и надежда, что гнейсы в районе участка «Енисейский» ими не затронуты – явный самообман. К тому же в течение кайнозоя... были новые... подвижки, о чем свидетельствуют разломы... Подновления разломов происходят иногда и сейчас», породы целевого интервала для ПГЗРО выходят на поверхность вне участка «Енисейский» [47]. Они могут быть независимо изучены там. Результатом движений является сброс размером не менее 200 м на глубине 500 м полигона «Северный» (с. 20, поперечный геологический разрез ПГЗ ЖРО полигон «Северный», [48]). Следы разнонаправленных подвижек с потерей консолидации гнейсов на участке «Енисейский» и пример непрекращающегося поступления через целевой интервал воды массива в скважину отмечены в разделе XLI [46].

Для полигона «Северный», вмещающие пласты-коллекторы скальные породы которого и участка «Енисейский» однотипны, не исключена возможность гидрологической связи поверхностных вод с областью разгрузки загрязненных подземных горизонтов [49]. Эти же породы средней трещиноватости, вмещающие один из подземных объектов ГХК, содержат жильные включения, немногочисленные (мощностью до 0,5 м) зоны расланцевания и дробления. Однако имеется и зона дробления мощностью до 40 м, а также мощная зона расланцевания [50]. Утверждают важное обстоятельство: достоверные исторические и современные инструментальные данные о сейсмичности этого района отсутствуют [51].



Анализ изучения участка «Енисейский» выявил целый ряд существенных пробелов и неопределенностей в информации о геологической среде, которая необходима, согласно существующим нормативным документам [52-56]. Например, глубокие скважины были пройдены за пределами структурного тектонического блока, в котором запланировано размещение ПГЗРО. Отсутствует описание керна скважин, нет достоверной геологической карты земной поверхности масштаба 1:2000. Кроме этого, часть экспериментального материала, в частности данных геофизического изучения участка, была утеряна и т.д. [56].

Район участка «Енисейский» относится к зоне активного орогенеза, т. е. процесс его формирования как горного сооружения еще не закончен. Поэтому «подходящие» гидрогеологические условия и характеристики в таком блоке, существующие на момент начала строительства ПГЗРО, не могут гарантироваться на весь проектируемый срок его эксплуатации. За длительный период геодинамические процессы способны кардинально изменить гидрогеологический режим в геологической среде, но наибольшую угрозу представляет вероятность тектонической деструкции структурно-тектонических блоков. Участок «Енисейский» располагается на северо-западной границе Нижнеканского гранитоидного массива и вмещающих его докембрийских толщ гнейсов. Точнее (рис. 2 [54] и рис. 3 [28]) – полностью в гнейсах вблизи границы с гранитами и осадочными породами. Такие зоны экзоконтактов магматических тел, как правило, отличаются повышенной трещиноватостью и структурной неоднородностью.

Тектоническая мотивация выбора участка «Енисейский» до конца не обоснована: разломы на данной территории в настоящее время являются активными, скорости относительных вертикальных движений и зоны динамического влияния активных разломов, слабо изученные, сравнительно с нормами, возможно, велики [52-56]. С точки зрения геодинамики района (как и по ряду многократно рассмотренных нами других причин, - В.К.), включая новые данные о горизонтальных движениях блоков, при обосновании долговременной безопасности захоронения высокоактивных РАО в породах массива нельзя замыкаться на исследованиях только в подземных выработках ПИЛ [57]. Согласно НП-055-14 (п. 53), породный массив должен быть однородной структуры и низкой трещиноватости; целесообразно размещение площадки в районах, не испытывающих интенсивные тектонические движения.

И еще. «На участке выделено два блока - 37 и 38. Но 38-й отвергли из-за наличия водонасыщенных угленосных месторождений» [33]. Впервые применительно к участку «Енисейский» дали повод задуматься о возможном опасном соседстве (природные вода и метан с наложенным радиолизом от РАО?). Пласты угля повышенной водопроницаемости (наряду с другими недостатками) ранее фиксировали вблизи полигона «Северный» [58].

Юрские отложения Западно-Сибирского плитного комплекса вторгаются на сопряженную территорию достаточно близко от площадки ПГЗРО (восточнее) в виде широкой долины Черского (а также юго-западнее, см. с. 13 [27]). К возможности проявлений угля на участке «Енисейский» и в окрестностях (на путях питания/разгрузки подземных вод) с разных позиций (полезные ископаемые, подземные пожары, геомеханика, гидрогеология) необходимо относиться очень внимательно. Это ведь промышленная территория ГХК в контурах Канско-Ачинского угольного бассейна, Приенисейского горнопромышленного района [59]. И соседние с ней районы Красноярского края (Сухобузимский, Березовский, Емельяновский) – часть угленосной (с проявлениями урана) провинции [60, табл. 25 и 27]. А статус ЗАТО вряд ли предполагал проведение здесь ранее изысканий по части полезных ископаемых. Возможно, по этой причине зафиксировано мнение в протоколе ГКЗ [12], что на участке «Енисейский» полезные ископаемые отсутствуют. Механизм появления юрских отложений, с которыми связаны проявления углей, в пределах ЗАТО Железногорск объясняют нам карты МОЛ и статья Р.М. Лобацкой [32,61].

Месторождения угля с водой - весомое основание для отказа от площадки/участка ПГЗРО в целом, а не только от отдельного блока! Даже перспективное захоронение РАО аналогично компании Deep Isolation на горизонтальных интервалах глубоких скважин здесь вряд ли применимо. В протоколе ГКЗ [12] информация об углях не замечена. Необходима, видимо, ревизия представленных на экспертизу геологических данных и дальнейшее изучение участка на стадии детальной разведки до начала горных работ.

В период интереса к настоящему Нижнеканскому массиву (гранитоидов) геологами ООО «Енисейнефтегаз» была выполнена комплексная оценка его южной части на предмет геодинамической активности и монолитности. В том числе, на основе геохимических исследований. В частности, при газовой съемке выявлены устойчивые аномалии повышенных содержаний углекислого газа и (предположительно, глубинных) углеводородов (особенно метана) [62]. Необходима подобная оценка и применительно к гнейсовому «полуострову» ГХК (содержащему участок «Енисейский») с его разнообразными контактами.

Создание российского ПГЗРО и соответствующее пользование недрами позиционируют как абсолютно безопасное дело - «стройка века и на века» [63]. Такая позиция – результат ошибочных взглядов, сформированных ранее: «Главной гарантией является гидрогеологическая характеристика горной породы, которая образовалась в архей-протерозойский период развития Земли (от 2500 до  $541 \pm 1$  млн лет назад). За это время разрушению подверглись только первые 30 метров пород массива (и стали доступны для проникновения поверхностных вод). По прогнозам воды с поверхности попадет в зону размещения отходов не ранее, чем через 15 миллионов лет. Срок потенциальной опасности

объекта оценивается в 2 миллиона лет. Геологическая среда является основным барьером по обеспечению экологической безопасности. Зона размещения объекта находится в горных породах (водонепроницаемых с застойным режимом трещинно-поровых вод). Движение подземных вод носит нисходящий характер и не выходит на поверхность» [64].

Однако, в последние годы представления о геологических условиях участка «Енисейский» и их соответствии существующим нормам, с учетом требований Закона о недрах, коренным образом меняются [45,46,65,66]. Не только у «сторонних» специалистов. Важно, что и у исполнителей работ по ПГЗРО появляется признание справедливости, на примере выбранных ими самостоятельно для рассмотрения фрагментов и с дополнительной аргументацией [9], известной критики Енисейского проекта. С высказанными при этом необходимостью совершенствования нормативных документов и с выводом «Можно ли говорить о том, что решение, принятое на основе несовершенных документов, обеспечит безопасность ПГЗРО в будущем? По-видимому, нет. На данном этапе можно говорить лишь о формальном соответствии изученного участка недр требованиям государственных органов» нельзя не согласиться. Добавим, что и с «формальным соответствием» не все благополучно. Хотелось бы увидеть в дальнейшем честный профессиональный анализ автором [9] ВСЕХ (не двух) имеющих отношение к делу документов и ВСЕГО объема критических замечаний по ПГЗРО на участке «Енисейский».

## **ВЗГЛЯД ЗА ПРЕДЕЛЫ УЧАСТКА «ЕНИСЕЙСКИЙ», ТЕРРИТОРИИ ГХК, РАЙОНА РАБОТ И НАШЕГО ВРЕМЕНИ**

Российский ПГЗРО - природно-техногенная генерирующая энергию геосистема сложного внутриконтинентального перехода, входящая в эффективный водосборный бассейн Енисея. А если это будет прототипом/надеждой для дальнейшего развития идеи (в каком направлении?) за рубежом? В настоящее время сброс жидких РАО Фукусимы в океан все более приобретает черты плановой неизбежной практики. И ураганы самовольно моют территорию. Но здесь ждут и много твердых РАО [67].

При демонтаже/выводе из эксплуатации ядерных объектов Японии, Республики Корея и КНДР (серьезный рынок полного цикла услуг в части ядерных технологий «бэк-энд») где-то будут хоронить значительные объемы образующихся при этом РАО. Где? Если в национальном варианте, то фактически – в еще более сложной переходной зоне «суша-море». Других территорий у этих стран нет. Для такой переходной зоны были и российские предложения: научные и управленческие [68,69]. Этот вариант, конечно, не будет аналогом Балтики, где побережье и дно (граниты) осваивают для ПГЗРО Швеция и Финляндия. И, скорей всего, потребуются обоснование или обоснованный запрет (например, во имя защиты

общего Тихого океана) при, вероятно, внимательном постоянном сравнении с потенцией амбициозного (конкурентные преимущества [6] и возможность предельного повышения статуса ПГЗРО [70]) Енисейского проекта. Правда, в том числе, и при сравнении относительно механизма триггерной активизации «спящих» негативных факторов под воздействием деформационных тектонических волн от удаленных сильных землетрясений [71].

ПГЗРО – вечность в рамках жизни человечества. Но пока концепция его создания и реальные дела вряд ли учитывают нарождающиеся процессы даже ближайших ста лет. Прогнозы долговременной обеспеченности углеводородами (традиционные нефть и газ, неорганические/глубинные нефть и газ, газогидраты), новые энергетические технологии (на основе возобновляемых источников, термоядерные и другие), экологические трудности и риски переработки ОЯТ, принцип нераспространения – все это и, возможно, другое могут достаточно быстро обернуться ненужностью/невозможностью массовой переработки ОЯТ и общемировой потребностью его прямого захоронения (и сейчас уже значимого). Соответственно, необходимость в ПГЗРО и требования к нему резко повысятся.

В контексте вечности создаваемого объекта ЯТЦ необходимо глубокое понимание человека и общества. И учет этого. Например, на базе художественного, религиозного и философского наследия Ф. М. Достоевского и опыта исследователей его творчества. В год 200-летия со дня рождения выдающегося русского писателя не лишне еще раз об этом напомнить. Решению проблемы ПГЗРО не помешает доброжелательная интеллектуальная помощь гуманитарного сообщества для исправления сложившихся однобоких, с чрезмерными геополитическими надеждами и рыночной экспансией, некачественных естественнонаучных и технократических «правил игры» [72-75].

## **ВЫВОДЫ**

При создании ПГЗРО на всех этапах работ безусловным и обязательным является применение и исполнение статьи 12 (п.2) Закона № 190-ФЗ ОБ ОБРАЩЕНИИ С РАО.

Многие аспекты безопасности федерального пункта захоронения радиоактивных отходов нуждаются в дополнительном надежном доказательстве на базе разведочной стадии геологического изучения площадки, а также законодательства, норм и правил в области использования и охраны недр. Эти мысли никем не отрицаются, но и не порождают, к сожалению, адекватного действия по их реализации.

При утверждении «стройка века и на века» [63] геология дела (главный гарант масштабной безопасности) должна быть изучена полно и безупречно. Этот этап работ уж совсем не должен сопровождаться комплексом нарушений, как предшествующий [76]. Ведь в ИБРАЭ РАН (научное руководство Енисейским проектом) не исключают, «что спустя

несколько десятков лет мы вынуждены будем... искать другое место» [77]. Хотя, например, комиссия по экологии Общественного совета Госкорпорации «Росатом» вообще не видит какие-либо работы по Красноярскому ПГЗРО приоритетными в 2021 году [78].

Материалы выбора, изучения и обоснования района и площадки размещения ПГЗРО (геологические задания и проекты на выполнение поисковой и оценочной стадий изучения участка «Енисейский», планируемое геологическое задание на разведочную стадию, геологические отчеты по работам предварительных стадий, протоколы ГКЗ по рассмотрению работ, прежде всего, № 4523 от 03-02-2016), документ «Стратегия создания пункта глубинного захоронения радиоактивных отходов», проект ПГЗРО, лицензии на изучение массива участка «Енисейский» с земной поверхности и изнутри (из ПИЛ), создание ПГЗРО и захоронение РАО, как отражающие все отдельные и важные этапы пользования недрами, должны для повышения безопасности неукоснительно соответствовать ЗАКОНУ О НЕДРАХ (с сопутствующими документами), НП-055-14, ЗАКОНУ О ЛИЦЕНЗИРОВАНИИ и, возможно, НП-050-03, которыми в дело давно введены географо-горно-геологические критерии, по факту недостаточно применявшиеся до сих пор, а также научному подходу к решению проблемы и отобранным временем лучшим образцам международного опыта (см. [3,45,46]).

Целесообразна не только геологическая (как предлагалось в [65,66] и других публикациях), но отдельно и правовая экспертиза (исследование документов, их анализ на соответствие формы и содержания действующему законодательству РФ, как в настоящий момент, так и ретроспективе) всего набора перечисленных выше документов. Возможно, в свете Приказа Генпрокурора РФ И. В. Краснова «Об организации прокурорского надзора за исполнением законодательства в экологической сфере» (письмо № 198 от 15.04.2021).

Гнейсы как таковые, глобальной (плита-платформа) и локальной (древние гнейсы и относительно молодая интрузия гранитов вблизи мощных еще более молодых юрских осадков) переходных зон, находящиеся предположительно в контакте с зоной восходящей разгрузки глубинных напорных вод, ограниченные в размерах, при сложной структуре массива, назначенные без должного для национального ПГЗРО выбора, без детальной разведки, без детальных геохимических исследований территории при съемке по воде и газам, без возможности профессиональной и объективной оценки безопасности, с выявленными негативными инженерно-геологическими, геодинамическими и гидрогеологическими характеристиками, уже нагруженные стратегическими объектами ядерной и космической отраслей, а также хранилищами и могильниками РАО, с эффектом хаотичного изменения содержания индикатора-трития в воде на уровне целевого горизонта, в контуре угольного бассейна/провинции месторождений полезных ископаемых, в центре страны (при сложной схеме транспортировки РАО разных поставщиков), вблизи крупной реки и города-

миллионника/городской агломерации Красноярска (а не в приграничной пустыне, как в США и Китае), не соответствующие по ряду критериев требованиям законодательства и технических норм, международным подходам!

Все это в сочетании с отсутствием у специалистов ИБРАЭ РАН (научный руководитель) и ФГУП «НО РАО» (ответственный исполнитель) убедительного подтверждения на должном уровне системного подхода, а также знания, понимания и умения относительно проблемы ПГЗРО, понимания цивилизационного, естественнонаучного и технического смыслов ПГЗРО. А есть ли вообще подобное в практике выбора площадок для крупных национальных захоронений РАО наивысшей опасности? Автор настоящей статьи не знает таких примеров. Участок «Енисейский» уникален своим несоответствием мировому научно-техническому и социально-гуманитарному опыту.

И еще. Пожалуй, необходимо признать всем причастным к делу важное обстоятельство из сферы регулирующих документов ([79], см. также дополнительно ниже):

I. ПГЗРО НА УЧАСТКЕ «ЕНИСЕЙСКИЙ» ЯВЛЯЕТСЯ ЯДЕРНЫМ ОБЪЕКТОМ (УСТАНОВКОЙ, СООРУЖЕНИЕМ, КОМПЛЕКСОМ) ЯТЦ: 1. Напрямую, соответственно составу объектов ЯТЦ по [1,2]; 2. Напрямую, соответственно п.1.1 НП-050-03; 3. Аналогично статусу всех/других объектов обращения с РАО на промышленной территории ГХК, технологических спутников ГХК, на которые распространяются Нормы и Правила для ЯУ ЯТЦ и для которых оформляются Заключения по ядерной безопасности; 4. Соответственно термину МАГАТЭ в контексте Объединенной конвенции о безопасности обращения с отработавшим топливом и о безопасности обращения с радиоактивными отходами ([17], ядерная установка nuclear facility, с. 284, п. 3); 5. Соответственно комплексному смыслу применяемого политологами/политиками термина «ядерная безопасность» [80];

II. ДЕЙСТВИЕ НП-050-03 НА ПГЗРО участка «Енисейский» РАСПРОСТРАНЯЕТСЯ (как и на другие ядерные объекты промышленной территории ГХК). Этот документ должен быть задействован при анализе безопасности взаимоотношений объектов ГХК между собой и с их соседями.

При этом нетрудно понять, что на миллион лет человек не может исправить недостатки горного массива, если они есть, и скрыть информацию о них.

Полезно, вероятно, выйти из повторяющейся (вспомним планы могильника при ПО «Маяк») ситуации сложной тесноты, отказаться от идеи «под одной крышей», найти для федерального (!) ПГЗРО другую территорию/площадку (без явной негативной уникальности) – разгрузить ЗАТО Железногорск и промышленную территорию ГХК («фундамент»). Наиболее потенциально пригодные районы с готовой горной инфраструктурой известны – Стрельцовское рудное поле в Забайкалье и Кольский полуостров. Не исключены подходящие

площадки, сочетающиеся с потенциалом северо-восточных промышленных территорий НОРНИКЕЛЯ и АЛРОСЫ. Переход на другую/ие площадку/и может быть модернизацией планов ради сохранения главных смыслов идеи надежного ПГЗРО в России и главных подземных стратегических объектов ГХК и АО «Информационные спутниковые системы» имени академика М.Ф. Решетнёва». Тревога за эти объекты вполне обоснована. В июне 2021 г. Ростехнадзор приостановил действие лицензии на эксплуатацию одного из них [81]. Модернизация планов необходима ради, разумеется, также безопасности, как минимум, Красноярского края и Енисея не без техногенных радионуклидов [49,82,83], чтобы не искать деньги и не тратить потом на нечто похожее проекту «Безопасные воды Арктики» (см. [84]), чтобы не множить число ликвидаторов [85].

## ЛИТЕРАТУРА

1. Экономика ядерного топливного цикла. М. 1999. перевод Информ-Атом.
2. Юрген Кройш, Вольфганг Нойманн, Детлеф Аппель и Питер Диль. Ядерный топливный цикл / Heinrich Böll Foundation 2006 г. ([https://atompool.ru/images/data/gallery/1\\_1127\\_nuclear\\_myth3.pdf](https://atompool.ru/images/data/gallery/1_1127_nuclear_myth3.pdf)).
3. Комлев В. Н.: Глубинный ядерный могильник (<https://proza.ru/2020/05/10/812>), Ядерный могильник на Енисее и норвежская Беллона (<https://proza.ru/2018/11/07/898>), Научные эксперты о ядерном могильнике (<https://proza.ru/2020/06/25/1546>), Радиоактивные отходы как повод подумать о вечном (<https://proza.ru/2018/02/13/284>), Закон о недрах и радиационная безопасность страны (<https://proza.ru/2020/09/20/903>).
4. Стратегический мастер-план исследований в обоснование безопасности ПГЗРО в Нижнеканском массиве (<http://www.ibrae.ac.ru/contents/451/>).
5. Обоснование долговременной безопасности захоронения ОЯТ и РАО на 10 000 и более лет: методология и современное состояние (<http://radwaste-journal.ru/docs/116/prepr2019i03.pdf>).
6. Стратегия создания пункта глубинного захоронения радиоактивных отходов ([http://en.ibrae.ac.ru/docs/Radwaste\\_Journal\\_2\(3\)18/114\\_120\\_Strategy.pdf](http://en.ibrae.ac.ru/docs/Radwaste_Journal_2(3)18/114_120_Strategy.pdf)).
7. Гупало Т.А. и др. РАЗРАБОТКА ОБОБЩЕННОГО ПЛАНА ПРОВЕДЕНИЯ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИХ И ПРОЕКТНО-ИЗЫСКАТЕЛЬСКИХ РАБОТ ПО СОЗДАНИЮ ОБЪЕКТА ПОДЗЕМНОЙ ИЗОЛЯЦИИ РАО НА НИЖНЕКАНСКОМ МАССИВЕ. Итоговый отчет (за период 01.05.2002–31.01.2005) по проекту МНТЦ 2377. Москва, 2005 г. (<https://www.osti.gov/servlets/purl/877906-STrTSU/>).
8. Ковальчук А.А. Программа международного научно-практического семинара и технического тура для участников международного научно-практического семинара «Имплементация Соглашения об информационном взаимодействии государств – участников СНГ при перемещении радиоактивных источников», доклад «Национальный оператор по обращению с РАО: основы, планы и реализация деятельности по захоронению РАО» / ФГУП «НО РАО», 5 декабря 2018 г., М. / Комиссия государств – участников Содружества Независимых Государств по использованию атомной энергии в мирных целях (<http://sng-atom.com>).
9. Озерский А.Ю. Оценка требований к геологической среде при выборе участка недр для захоронения радиоактивных отходов в глубокие геологические формации // Радиоактивные отходы. 2021. № 2 (15). С. 90—98.

10. Волков В. Г., Сафронова Н. Н., Морозов Ф. Т., Комаров Е. А., Зимин В. К., Былкин Б. К., Зверков Ю. А., Павлюк А. О., Котляревский С. Г., Кан Р. И. О проблеме заключительного этапа обращения с облученным графитом блоков АЭС с водографитовыми реакторами // Радиоактивные отходы. 2021. № 2 (15). С. 10—20.
11. Лицензия Ростехнадзора ГН-01,02-304-3318. На размещение и сооружение пункта хранения радиоактивных отходов. Объект, на котором и/или в отношении которого проводится заявленная деятельность: стационарные объекты и сооружения, не относящиеся к ядерным установкам, радиационным источникам и предназначенные для хранения радиоактивных веществ, хранения или захоронения радиоактивных отходов в составе подземной исследовательской лаборатории / ФГУП «НО РАО», 27 декабря 2016 г., М ([http://www.gosnadzor.ru/service/list/reestr\\_licences\\_170fz/license.php?licNum=%D0%93%D0%9D-01%2C02-304-3318](http://www.gosnadzor.ru/service/list/reestr_licences_170fz/license.php?licNum=%D0%93%D0%9D-01%2C02-304-3318)).
12. Протокол ГКЗ № 4523 от 03-02-2016 (<https://yadi.sk/i/Nbvvx8zrv58tlQ>).
13. Обзор зарубежных практик захоронения ОЯТ и РАО, М., 2015 (<http://xn---2030-bwe0hj7au5h.xn--p1ai/upload/iblock/d5a/d5a48e55bcd4d5c8df15fe4a91d08723.pdf>).
14. Особые радиоактивные отходы, М., 2015 (<http://xn---2030-bwe0hj7au5h.xn--p1ai/upload/iblock/cc5/cc536086a1af77aab435d88b1581f79a.PDF>).
15. Материалы обоснования лицензии, МОЛ, на размещение и сооружение не относящегося к ядерным установкам пункта хранения РАО, создаваемого в соответствии с проектной документацией на строительство объектов окончательной изоляции РАО (Красноярский край, Нижне-Канский массив) в составе подземной исследовательской лаборатории, том 1 (<http://www.norao.ru/ecology/mol/>).
16. ФГУП «НО РАО». Филиалы и отделение (<http://www.norao.ru/about/affiliates/>).
17. ГЛОССАРИЙ МАГАТЭ ПО ВОПРОСАМ БЕЗОПАСНОСТИ (2007 г.) ([https://www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/IAEASafetyGlossary2007/Glossary/SafetyGlossary\\_2007r.pdf](https://www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/IAEASafetyGlossary2007/Glossary/SafetyGlossary_2007r.pdf)).
18. Красильников Виктор. Мнение эксперта / ФЦП ЯРБ-2: Федеральная целевая программа «Обеспечение ядерной и радиационной безопасности на 2016–2020 годы и на период до 2030 года» (<http://xn---2030-bwe0hj7au5h.xn--p1ai/expertise/expert-opinion/detail.php?ID=2005>; <http://xn---2030-bwe0hj7au5h.xn--p1ai/society/news/v-no-rao-rasskazali-o-spetsifike-sozdaniya-podzemnoy-laboratorii-v-nizhnekanskom-massive/>).
19. Петров В. А., Камнев Е.Н. Опыт многолетней совместной работы ИГЕМ РАН и АО «ВНИИПромтехнологии» // Горный журнал. 2021, № 3. С. 41–45.
20. Марьясов Федор. Единственно верный путь // Сегодняшняя Газета. Красноярск-26, 25.05.2017 (<https://sgzt.com/k26/?module=articles&action=view&id=4235&issue=817>).
21. Кузьмин Е. В., Калакуцкий А.В., Морозов А.А. Технология захоронения радиоактивных отходов в пространстве подземных рудников // Радиоактивные отходы. 2021. № 2 (15). С. 49—62. А также Комлев В. Н.: раздел 6 в <https://proza.ru/2018/02/13/284>; <https://proza.ru/2019/08/15/624>; <https://sgzt.com/k26/?module=articles&action=view&id=3630&theme=3>; <https://sgzt.com/k26/?module=articles&action=view&id=3693&rubric=157>; <https://sgzt.com/k26/?module=articles&action=view&id=4209&theme=3>.
22. Андерсон Е.Б., Даценко В. М., Кирко В.И. и др. Результаты комплексных геологических исследований Нижнеканского массива для обоснования возможности его использования для захоронения отвержденных радиоактивных отходов / Сб.: Исследования гранитоидов Нижнеканского массива для захоронения РАО: Материалы КНТС. СПб. 1999. С. 14–23.



23. Чувашев Юрий. Безуспешные поиски атомной "помойки" под Красноярском // Независимая газета от 30.10.2001 ([http://www.krasrab.com/archive/2001/10/20/05/view\\_article](http://www.krasrab.com/archive/2001/10/20/05/view_article); [https://www.ng.ru/ecology/2001-10-30/11\\_krasnoyarsk.html](https://www.ng.ru/ecology/2001-10-30/11_krasnoyarsk.html)).
24. Семинар по обращению с отходами и их утилизации. Оскаршамн, Швеция, 9–14 ноября 1998 ([https://inis.iaea.org/collection/NCLCollectionStore/\\_Public/33/017/33017280.pdf](https://inis.iaea.org/collection/NCLCollectionStore/_Public/33/017/33017280.pdf)).
25. Андерсон Е.Б. и др. Труды Радиевого института им. В.Г. Хлопина (Том 11).
26. Гупало Т.А. Российские планы по созданию могильника ВАО и ОЯТ на Нижнеканском массиве ([https://inis.iaea.org/collection/NCLCollectionStore/\\_Public/51/038/51038826.pdf](https://inis.iaea.org/collection/NCLCollectionStore/_Public/51/038/51038826.pdf)).
27. Лобанов Н. Ф. Создание подземной исследовательской лаборатории в Нижнеканском массиве скальных пород: выбор участка и современное состояние работ / ФГУП «НО РАО» ([http://www.atomeco.org/mediafiles/u/files/Prezentetion\\_31\\_10\\_2013/Lobanov.pdf](http://www.atomeco.org/mediafiles/u/files/Prezentetion_31_10_2013/Lobanov.pdf)).
28. Лаверов Н. П., Величкин В.И. Радиогеоэкологические проблемы начального и завершающего этапов ядерного топливного цикла (<https://www.atomic-energy.ru/articles/2012/11/29/37520?page=2>).
29. Комлев В. Н. Предыстория одной подземной лаборатории (<https://proza.ru/2020/07/17/220>).
30. Комлев В. Н. Научные эксперты о ядерном могильнике (<https://proza.ru/2020/06/25/1546>).
31. Лицензия Роснедр КРР 16117 ЗД. На захоронение радиоактивных отходов в глубоких горизонтах / ФГУП «НО РАО», 22 июля 2016 г., М (<https://rfgf.ru/license/itemview.php?iid=2717774>).
32. Материалы обоснования лицензии (включая материалы оценки воздействия на окружающую среду) на осуществление деятельности в области использования атомной энергии «Эксплуатация пункта хранения ядерных материалов. Стационарное сооружение, предназначенное для хранения ядерных материалов – водоохлаждаемое хранилище облученных тепловыделяющих сборок ядерных реакторов типа ВВЭР-1000, содержащих отработавшее ядерное топливо» (<https://sibghk.ru/images/services/docpack/2021/05/001.pdf>).
33. В подземной лаборатории пройдет более 150 исследований // Город и горожане. Железногорск, 16 ноября 2017 (<http://www.gig26.ru/news/reklama/nid-11876.html>).
34. Озерский А.Ю., Иванова Т. П. Фтор в подземных водах юрских отложений юго-востока Западно-Сибирского бассейна / Подземная гидросфера. Материалы XXIII Всероссийского совещания по подземным водам востока России. Иркутск. 2021. С. 521–526.
35. Скала / ФГУП «Горно-химический комбинат» (<https://sibghk.ru/images/pdf/skala/skala.pdf>).
36. Неуважаев Г.Д., Озерский Д.А., Расторгуев А. В. и др. Проблемы гидрогеологического моделирования в слабопроницаемых породах / Подземная гидросфера. Материалы XXIII Всероссийского совещания по подземным водам востока России. Иркутск. 2021. С. 516–520.
37. Кочкин Б.Т., Мальковский В.И., Юдинцев С. В. Научные основы оценки безопасности геологической изоляции долгоживущих радиоактивных отходов (Енисейский проект). М., 2017. 384 с.
38. Озерский Д.А., Озерский А.Ю. Оценка возможности использования подземного источника водоснабжения для заполнения пожарных резервуаров площадки строительства подземной исследовательской лаборатории ([http://avpb.sibpsa.ru/avpb\\_2021.pdf](http://avpb.sibpsa.ru/avpb_2021.pdf)).
39. Представители общественности, СМИ и власти обсудили экологические аспекты финальной изоляции РАО (Озерский Д.А., <http://www.norao.ru/press/news/2895/>).
40. Способы строительства ПГЗРО в разных странах: США (<https://www.atomic-energy.ru/news/2020/02/28/101784>), Китае (<http://bezrao.ru/n/4610>; <https://www.atomic-energy.ru/news/2021/06/23/114932>; <https://bezrao.ru/n/4384>), Швеции (<https://bezrao.ru/n/3381>), Финляндии (<https://bezrao.ru/n/72>) и России (<http://bezrao.ru/n/1038>; <https://www.atomic-energy.ru/news/2017/01/11/65022>).

41. Гупало Т.А. Перспективы развития технологий подземной изоляции радиоактивных отходов в России (<https://cyberleninka.ru/article/n/perspektivy-razvitiya-tehnologiy-podzemnoy-izolyatsii-radioaktivnyh-otходов-v-rossii/viewer>).
42. Комлев В. Н. Рецензия на брошюру А. Никитина о подземной исследовательской лаборатории. Вестник ТюмГУ. Экология и природопользование. 2019. Том 5. №1. С. 141–153.
43. SOSновый Бор, ядерный кластер южного берега Финского залива и уроки Чернобыля / <http://decommission.ru/> от 02.05.2021.
44. Шеметов А.И., Камнев Е.Н. Мы проектируем будущее (к 70-летию института «ВНИИПромтехнологии») // Горный журнал. 2021, № 3. С. 5–11.
45. Комлев В. Н. Глубинное захоронение радиоактивных отходов: требования и реальность // Маркшейдерский вестник. 2020, № 6. С. 61.
46. Комлев В. Н. Закон о недрах и радиационная безопасность страны // Горно-геологический журнал. 2020, № 2–3 (62–63). С. 24–33.
47. Васильев Н. Ф. Отзыв о статье // Уральский геологический журнал. 2021. № 1. С. 58–59.
48. Баринов А. С., Ткаченко А.В., Спешиллов С.Л. Глубинная закачка жидких радиоактивных отходов ([http://www.atomeco.org/mediafiles/u/files/Prezentation\\_31\\_10\\_2013/Speshilov.pdf](http://www.atomeco.org/mediafiles/u/files/Prezentation_31_10_2013/Speshilov.pdf)).
49. Вакуловский С.М. Оценка радиационного воздействия Горно-химического комбината на экосистему Енисея // Безопасность Окружающей Среды, №2–2008: Радиационный мониторинг. С. 40–43 (<https://www.atomic-energy.ru/articles/2009/11/16/6205>).
50. Зверев А. Б. Результаты натурных исследований устойчивости камерных сооружений подземной атомной станции. Тезисы докладов международной конференции «Использование подземного пространства страны для повышения безопасности ядерной энергетики». Апатиты. 1992.
51. Дзедобоев Б.А., Гвишиани А.Д., Белов И. О. и др. Распознавание мест возможного возникновения сильных землетрясений на основе алгоритма с единственным чистым классом обучения: I. Алтай–Саяны–Прибайкалье. М  $\geq 6.0$  // Физика Земли. 2019. №4. С. 33–47.
52. Татаринцов В. Н., Морозов В. В., Колесников И. Ю. и др. Устойчивость геологической среды как основа безопасной подземной изоляции радиоактивных отходов и отработавшего ядерного топлива // Надежность и безопасность энергетики, №1–2014. С. 25–29.
53. Колесников И. Ю., Морозов В.Н., Татаринцов В.Н., Татаринцова Т.А. Напряженно-деформированное энергетическое районирование геологической среды для размещения экологических инфраструктурных объектов // Инноватика и экспертиза, 2017, Выпуск 2 (20). С. 77–88.
54. Морозов В. Н., Татаринцов В.Н., Кафтан В.И., Маневич А.И. Подземная исследовательская лаборатория: геодинамические и сейсмотектонические аспекты безопасности // Радиоактивные отходы. 2018. № 3 (4). С. 16–29.
55. Федеральные нормы и правила: Оценка исходной сейсмичности района и площадки размещения объекта использования атомной энергии при инженерных изысканиях и исследованиях. РБ-019-17; Размещение ядерных установок ядерного топливного цикла. Основные критерии и требования по обеспечению безопасности. НП-050-03.
56. Гвишиани А.Д., Татаринцов В. Н. Системная оценка факторов, определяющих устойчивость геологической среды при захоронении высокоактивных радиоактивных отходов // Вестник НЯЦ РК, выпуск 2, июнь 2019. С. 44–50.

57. Татаринов В. Н., Морозов В.Н., Камнев Е.Н., Маневич А.И. Геодинамические аспекты захоронения высокоактивных радиационных отходов (Нижнеканский массив) // Горный журнал. – 2021, № 3. – С. 108–113.
58. Красноярский горнохимический комбинат (ГХК) (<http://www.yabloko.ru/Publ/Atom/atom00016.html>).
59. Клер В. Р. Канско-Ачинский буроугольный бассейн ([http://www.mining-enc.ru/images/k/4/kanskoachinskij\\_ugolnyj\\_bassejn\\_resize.jpg](http://www.mining-enc.ru/images/k/4/kanskoachinskij_ugolnyj_bassejn_resize.jpg)).
60. Схема территориального планирования Красноярского края ([http://minstroy.krskstate.ru/dat/bin/art\\_attach/7633\\_9\\_stp\\_kk\\_tom\\_vi\\_prilojeniy\\_castx\\_1.pdf](http://minstroy.krskstate.ru/dat/bin/art_attach/7633_9_stp_kk_tom_vi_prilojeniy_castx_1.pdf)).
61. Лобацкая Р.М. Разломно-блоковая структура Байкало-Енисейского разлома в районе эксплуатации объектов ядерной энергетики // Геодинамика и тектоника, 2014, 5 (2). С. 547–562.
62. Копылов И. С., Чусов М.В. Результаты зимней геохимической съемки на Нижнеканском гранитоидном массиве для оценки геодинамической активности (<http://www.psu.ru/files/docs/science/books/sborniki/GIGGB-2021.pdf>).
63. Стройка века и на века / ФГУП «НО РАО» (<http://norao.ru/press/multimedia/2495/>).
64. Позин Антон, Распопов Эдуард. Красноярский «могильник»: разговор начистоту (<http://online.newslab.ru/noran>).
65. Комлев В. Н. Геологическое изучение площадки российского пункта глубинного захоронения радиоактивных отходов (Первый шаг – всегда самый сложный) // Маркшейдерский вестник. 2021. № 1. С. 48–54.
66. Комлев В. Н. К обоснованию пункта глубинного захоронения радиоактивных отходов (рецензия на две статьи о геологическом изучении места) // Уральский геологический журнал. 2021. № 1. С. 53–58.
67. Утилизация радиоактивных отходов в Фукусиме обойдется недешево (<http://bezrao.ru/n/4604>; <http://bezrao.ru/n/4296>).
68. Курильский остров Симушир может стать хранилищем радиоактивных отходов (<https://ecosakh.ru/category/glavnaya/raze/simushir/>; <https://sakhalin.info/news/9807>).
69. Радиоактивные отходы превратят в минералы (<https://www.nkj.ru/news/18950/>).
70. Возможность дальнейшего (второй раз: от федерального к международному) изменения статуса ПГЗРО: разделы 1.1, 1.4, 1.5 <https://www.osti.gov/servlets/purl/877906-STrTSU/>, <https://www.atomic-energy.ru/news/2021/07/01/115145>, <https://www.rosatom.ru/journalist/news/ao-tvel-naznacheno-bazovoy-organizatsiy-sng-po-voprosam-likvidatsii-yadernogo-naslediya/>, <https://www.atomic-energy.ru/news/2021/06/08/114625>, <https://www.atomic-energy.ru/news/2021/06/01/114399>, <http://bezrao.ru/n/4437>, <https://www.atomic-energy.ru/news/2021/04/22/113523>, <http://www.atomic-energy.ru/interviews/2017/01/16/71717>, <http://www.atomic-energy.ru/interviews/2018/03/15/84085>.
71. Гарагаш И.А., Лобковский Л.И. Деформационные тектонические волны как возможный триггерный механизм активизации эмиссии метана в Арктике // Арктика: экология и экономика. 2021. Т. 11, № 41. С. 42–50.
72. Комлева Елена. Ядерное человечество и Ф. М. Достоевский (<http://www.mstu.edu.ru/science/actions/conferences/files/gum2011-9.pdf>).
73. Комлева Елена. Ядерная энергия: о мере человечности // Вестник аналитики. 2005. № 2 (20). С. 68–85.
74. Комлева Е. В. Некоторые аспекты хранения и захоронения ядерных материалов // Энергетическая политика. 2012. Выпуск 4. С 45–57.
75. Комлева Е.В. Статьи в журнале «Север промышленный» №№ 5 (10) 2007, 6-7 (11) 2007, 10-11 (26-27) 2008, октябрь 2009, 1 (36) 2011 (<https://helion-ltd.ru/nuclear-children/>), а также на сайтах [http://www.intelros.ru/pdf/veck%20globalizastii/2011\\_2/140-149.pdf](http://www.intelros.ru/pdf/veck%20globalizastii/2011_2/140-149.pdf), <http://www.zpu-journal.ru/e-zpu/2008/1/Komleva/>, <http://www.arcticandnorth.ru/upload/iblock/16d/3.pdf>,

- <http://www.proatom.ru/modules.php?name=News&file=print&sid=6309> и других.
76. Ковач Татьяна. Про пункт захоронения высокоактивных радиоактивных отходов в Железногорске (<https://groups.google.com/g/enwl/c/PcnanPXU55Y>).
77. Представители Российской академии наук ответили на вопросы о подземной лаборатории (<https://www.atomic-energy.ru/news/2020/07/16/105480>).
78. В Москве прошло очередное заседание Общественного совета Росатома (<https://www.atomic-energy.ru/news/2021/03/26/112659>).
79. Комлев В. Н. Российский подземный объект заключительной стадии ядерного топливного цикла: необходимость правовой экспертизы обоснования площадки // Горно-геологический журнал. 2021, № 1–2 (65–66). С. 30–36.
80. Золотухин И.Н., Бобыло А.М. Ядерная безопасность в Юго-Восточной Азии: вызовы и направления сотрудничества // Ойкумена. Регионоведческие исследования. 2020. № 4. С. 137–147.
81. Безобразов Эдуард. НА ГОРНО-ХИМИЧЕСКОМ КОМБИНАТЕ БУДЕТ ОТПРАВЛЕН В ПРОСТОЙ ЗАВОД ФАБРИКАЦИИ ТОПЛИВА (<https://uranbator.ru/64714/>, <https://uranbator.ru/65121/>),
82. Tatiana Zotina, Michail Melgunov, Dmitry Dementyev, Leonid Miroshnichenko, Yuliyana Alexandrova. A comparative study of biota and sediments as monitors of plutonium in the Yenisei River (Siberia, Russia). *Journal of Environmental Radioactivity*, Volume 237, October 2021.
83. Радионуклиды в Енисейском заливе и Енисее. Результаты поиска научных публикаций в русско- и англоязычной сети Интернет.
84. Россия прорабатывает вопрос по обращению с затопленными РАО (<http://bezrao.ru/n/4566>). Утечка дизельного топлива в Норильске (материал из Википедии). Агония на Ангаре (<https://novayagazeta.ru/articles/2021/06/13/agoniia-na-angare>). Черный день «РУСАЛА» (<https://uranbator.ru/64793/>).
85. Атомный штрафбат (<http://rgo-sib.ru/book/articles/206/index.htm>).

**ОПТИМИЗАЦИЯ СХЕМ НАБЛЮДЕНИЯ ЗА ДЕФОРМАЦИЯМИ  
ГЕОДЕЗИЧЕСКИМИ МЕТОДАМИ ПРИ МОНИТОРИНГЕ ЗДАНИЙ И  
СООРУЖЕНИЙ, НЕ ОТНОСЯЩИХСЯ К ОБЪЕКТАМ ПОВЫШЕННОЙ  
ОТВЕТСТВЕННОСТИ**

**А.В. Лабузнов**

*к.ф.-м.н., доцент, Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет, 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д.26, Россия*

**Ключевые слова:** геодезические наблюдения за деформациями зданий, схемы расположения деформационных марок, дискретные процессы в геодезических работах, косвенные методы определения деформаций зданий, оптимизация наблюдений за деформациями, дискретное управление в геодезии, оценка зависимости погрешности от схемы расположения марок

**ВВЕДЕНИЕ**

Наблюдениям за деформациями зданий сооружений (в том числе и уникальных) посвящено очень большое количество статей, например [1,2]. Однако большая часть рассматриваемых вопросов в таких статьях относится к обеспечению требуемой точности наблюдений и к контролю; наблюдения выполняются через стандартные промежутки времени (или на соответствующих этапах). Попытки оптимизировать процесс наблюдений сводится, как правило, либо к оптимизации положения станций наблюдения [3,4], либо к модификации методов обработки результатов измерений [5]. Иногда делаются попытки использования нестандартных для геодезической практики методов, например, в [6] используется регрессионный анализ для уменьшения количества наблюдений в одном цикле за счет использования данных, полученных во всех предыдущих циклах наблюдений. При любых исходных данных задача может быть сведена к изучению и исследованию дискретной модели.

Некоторые проблемы оказываются не решаемыми при дискретном наблюдении за деформациями, но это актуально, в первую очередь, для сооружений с повышенной ответственностью, либо для критических (аварийных) ситуаций [7].

**МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ**

Попытка оценить погрешности определения координат (положение) произвольных точек на деформируемой поверхности по координатам деформационных марок, сделана в работах [8, 9, 10]; полученная оценка говорит о невозможности сильно сократить число марок путем

простого изменения их количества, без изменения общих принципов схем закладки.

Одним из простых способов решения задачи оптимизации является использование методов дискретного управления; будем следовать идее применения методов математического программирования в дискретном управлении, предложенном А.И. Пропоем и изложенном в [11].

Для решения заданной задачи построим функционал

$$J = J [f((x_k, y_k, z_k), u_k)],$$

где  $(x_k, y_k, z_k)$  – фазовые переменные (в данном случае – координаты марок),  $u_k$  – управляющие воздействия,  $f$  и  $g$  – скалярные функции,  $k$  – номер цикла наблюдения. Значение функционала  $J$  позволяет оценивать качество управления.

Без потери общности можно принять, что функционал  $J$  имеет вид

$$J = F (x_k, y_k, z_k) + \sum f (x_k, y_k, z_k, u_k),$$

где суммирование ведется по  $k$  от 0 до  $N-1$ .

Как правило, при оптимизации наблюдений интересует только конечное состояние – оптимальное, промежуточные состояния в итоге интереса не представляют. Таким образом, задача оптимизации наблюдений за деформациями – это задача оптимизации конечного состояния. Поэтому необходимо найти максимум функционала, зависящего только от конечного состояния, т. е. найти траекторию  $\{(x_0, y_0, z_0), (x_1, y_1, z_1), \dots (x_N, y_N, z_N)\}$ , доставляющую максимум выражению

$$J = F (x_N, y_N, z_N)$$

Данная задача является задачей с ограничениями – как на переменные управления, так и состояния. Именно, на координаты  $x_i, y_i, z_i$  наложены условия

$$(x_i, y_i, z_i) \subset U(d_x, d_y, h),$$

где  $U$  – область, ограниченная максимальными размерами объекта по осям ( $d_x$  и  $d_y$ ), и максимальной высотой ( $h$ ), и определяемая как геометрией объекта, так и его конструктивными особенностями. При определении деформаций по результатам наблюдений, согласно ([8]) достаточно использовать линейные аппроксимации, т.е. можно рассматривать линейную дискретную систему с управлениями  $x_{i+1} = L x_i$ . В общем случае на управления могут быть наложены ограничения более общего, уже нелинейного порядка (ограничения допустимых погрешностей, допустимых временных интервалов и т.д.); в данном случае таких ограничений нет. Таким образом, при возможности малых изменений для достижимости множеств разрешенных на данном шаге состояний выбор управлений можно осуществить, согласно ([10]), с помощью обратной связи по состоянию  $u_k = Lx_k$ .

Важно, что если  $F$  и  $f$ , непрерывны, а  $u_k$  принадлежат непустому компакт, то существует единственное оптимальное управление  $u^*$  для любого начального состояния, при этом

показатель качества  $J(u^*)$  конечен ([11], стр. 31). Значит, при данных предположениях, существует оптимальная схема расположения деформационных марок.

Критерий допустимости управления выбирается, исходя из условий конкретной задачи

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В данном случае простейшим решением будет решение методом возможных направлений. Начальной «точкой» может служить существующая сеть (либо проект) либо случайным образом сгенерированная совокупность точек – исходная схема закладки деформационных марок. Выбор допустимого управления осуществляется заданием величины допустимого смещения положения марки относительно исходного по направлению  $s$ , определяемого методом Лагранжа для функции  $(\partial F(x_0)/\partial x, \delta x)$

Дальнейшим развитием данной методики может стать включение в управление не только координат точек (деформационных марок), но и физического времени, а также точности измерений, зависящей от цикла наблюдений.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Нестеренок М.С. обоснование методики и точности геодезических наблюдений за деформациями здания книгохранилища национальной библиотеки Республики Беларусь в период эксплуатации // Вестник Белорусского национального технического университета. 2006. №6. С. 12–15.
2. Simonjan Vladimir, Shendyapina Svetlana. The need for geodetic control to monitor the displacements of buildings and structures, E3S Web of Conferences, 2021. Vol. 284. p. 05006. DOI: 10.1051/e3sconf/202128405006.
3. Хатум Х.М., Мустафин М.Г., Оптимизация места расположения роботизированных станций наблюдений за деформациями зданий и сооружений // Геодезия и картография. 2020. № 9. С. 2–13.
4. Mrówczyńska Maria, Sztubecki Jacek. The use of evolutionary algorithms for designing an optimum structure of a geodesic measurement and control network. MATEC Web of Conferences, 2019. Vol. 262, p. 07008. DOI: 10.1051/matecconf/201926207008
5. Шевченко Г.Г., Гура Д.А. Лобанова Ю.В. Об обработке результатов определения пространственного положения деформационных марок с использованием поискового способа метода наименьших квадратов // Известия Петербургского университета путей сообщения, 2018. Т. 15. №4.– С. 653–665.
6. Muamer Didelija. Regression analysis in function of examining geometrical parameters of the high rise buildings. Geodetski Glasnik, 2019. vol. 53, No. 50, pp. 45 – 70.
7. Хидиров С.Т. Мониторинг напряженно-деформированного состояния оснований зданий и сооружений как фактор обеспечения безопасной эксплуатации, // Инновации и инвестиции, 2020, №1. С. 291–294.
8. Лабузнов А.В. Использование сплайн-функций при наблюдении за деформациями зданий. // Естественные и технические науки, 2020, №4. С. 110–112
9. Labuznov A. Possibility of using local spline functions for estimating displacement values when observing deformations of buildings. // Conf. E3S TRACSEE. 2019. Vol. 164 (2020)
10. Шендяпина С.В., Лабузнов А.В. Использование сплайн-функций двух переменных при наблюдениях за деформациями зданий. // Успехи современной науки и образования. 2017, т. 1, № 5. С. 123–127

11. Пропой А.И. Элементы теории оптимальных дискретных процессов // Наука, М. 1973
12. Муравьева О.В. Робастность динамического дискретного процесса с заданным множеством достижимости. Известия Российской академии наук. Теория и системы управления. 2010. №6. С. 80–85



## ОПАСНЫЕ РЕЛЬЕФООБРАЗУЮЩИЕ ПРОЦЕССЫ НА ОДНОМ ИЗ УЧАСТКОВ СТРОИВШЕГОСЯ ГАЗОПРОВОДА. УСЛОВИЯ, ПОСТАНОВКА, ХОД И РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Е.Ю. Ликотов

*к.г.н., член-корреспондент Российской экологической академии, 107258, Москва, Удальцова ул., д. 44, профессор Российской Академии Естествознания, 101000, г. Москва, а/я 47, Россия*

**Аннотация.** Рассматриваются установленные нами при полевых исследованиях в рамках инженерно-экологических изысканий на одном из участков строившегося газопровода опасные рельефообразующие процессы (в нормативных документах они вследствие ошибки в определении объекта исследований характеризуются как опасные экзогенные геологические процессы). Это не только опасные природные и антропогенные, но и антропогенно инициированные природные рельефообразующие процессы. Они действуют практически повсеместно, с заметной визуальной интенсивностью и нередко – в ассоциациях. По результатам исследований даны практические рекомендации с целью обеспечения безопасной и безаварийной эксплуатации газопровода. Отмечается отсутствие информации об авариях и тем более – о катастрофах на исследованном участке, что определяет верную методологию и методику, высокую степень достоверности и полноты результатов исследований.

**Ключевые слова:** опасные антропогенно инициированные природные рельефообразующие процессы, повсеместное распространение, геоморфосистема-аналог, полевые исследования, ассоциации.

### ВВЕДЕНИЕ

Постоянные взаимодействия человека с рельефом обеспечивают непреходящую актуальность геоморфологических исследований и, в частности, исследований опасных рельефообразующих процессов (далее ОРП). Одно из них, проведенное в рамках инженерно-экологических изысканий в зоне влияния строившегося Северо-Европейского газопровода (далее – СЕГ) (в полосе шириной 3 км – по 1,5 км по обе стороны от его трассы) на участке 319-450 км (от границы Ленинградской и Вологодской областей на востоке до меридиана гор. Тихвин на западе), на территории Бокситогорского и Тихвинского районов Ленобласти, и рассматривается в настоящей работе.

Цель геоморфологических исследований: на их основе - определение набора, пространственного распределения, качественной оценки интенсивности действия ОРП,

выработка прогноза их действия при создании и эксплуатации газопровода и рекомендаций для его безопасной и безаварийной работы. Содержание цели, значительная площадь района исследований, крупный масштаб их и краткие сроки проведения обусловили постановку и выполнение следующих задач: 1) проведение маршрутных исследований и простейших горных работ; 2) натурные экспериментальные исследования; 3) построение карты ОРП; 4) прогнозирование их действия в период создания и эксплуатации газопровода; 5) разработка рекомендаций по результатам исследований; 6) изучение, систематизация, обработка литературных первоисточников.

Рассматриваемые исследования на всех их этапах (от выбора цели, постановки задач, верного выбора методологических подходов, точного, гибкого подбора методов исследований до получения результатов исследований и на их основе – прогноза действия ОРП и выработки практических рекомендаций) вполне применимы для последующих исследований ОРП и рельефообразования в целом при предоставлении возможности их проведения.

## **МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ**

Принятые методологические подходы составляют две группы: общие и специальные.

Общие. 1. Рельеф земной поверхности – узловой компонент природы (ландшафта), зона взаимодействия литосферы, гидросферы, атмосферы, биосферы, ноосферы и других подболочек географической оболочки. 2. Рельеф формируется по своим собственным законам [1, 2]. 3. Рельеф, как и любой природный объект, представляет собой систему. Все формы и элементы рельефа - геоморфологические системы (ниже – ГМС) - состоят из элементов (составных частей) и связей между ними (внутренних) и с другими системами (внешних), по которым в определённых случаях проходят взаимодействия [3]. 4. Все рельефообразующие процессы (далее – РП) по отношению к каждой рассматриваемой ГМС делятся на сингенетичные и асингенетичные. Если сингенетичные процессы создают данную ГМС и способствуют ее устойчивому развитию (обеспечивают его), то асингенетичные процессы – наоборот, не создают, а разрушают данную ГМС или, в наилучших (наиболее безопасных) случаях, снижают устойчивость ее развития [4].

Специальные. 1. Газопровод представляет собой антропогенную ГМС. Прокладка исследуемого участка СЕГ на просеке действующего с 1979 г. газопровода Грязовец-Ленинград дало редкую возможность провести исследования ОРП в условиях 25-летнего (1979-2004 гг.) природного эксперимента, вполне достаточного для получения достоверных результатов: изучение ГМС-аналога: зоны влияния, просеки и трассы действующего газопровода. 2. Сооружение и эксплуатация ГМС газопровода предполагает воздействие на природные ГМС асингенетичных им антропогенных РП. Это вызывает как непосредственные

(и экологически отрицательные) изменения природных ГМС и характера сингенетичных им процессов, так и – начало (или активизацию) действия антропогенно инициированных природных процессов (далее – АИПП) [5, 6]: эрозионных, карста, суффозии, дефляции, ветровала, ветролома, сезонных криогенных, болотообразования, подтопления, вызывающих уменьшение устойчивости развития и разрушение природных систем, и поэтому относящихся к ОРП. Высокая эффективность воздействия природных РП (в частности – АИПП) на газопровод (как и на любое инженерное сооружение) безусловна вследствие постоянства их действия [7].

## **МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ**

1. Полевые морфографические и морфометрические методы исследований форм рельефа, рыхлых образований, процессов и внешних условий формирования рельефа.

2. Геоморфологическое картографирование путем проведения маршрутных наблюдений в режиме поперечного (по отношению к трассе газопровода) и продольного профилирования (вдоль нее) зоны влияния действующего газопровода с учётом результатов анализа топокарт, аэрофото- и космических снимков. Картировались формы и элементы рельефа с определением их генезиса и динамики. Проводились непосредственные наблюдения за состоянием литологических, растительных, гидрологических, гидрогеологических, криолитологических внешних условий формирования рельефа.

3. По результатам изучения форм и элементов рельефа - выявление РП, в том числе и ОРП, особенно - асингенетичных и АИПП - как для природных систем, так и для антропогенных (газопровода и других инженерных сооружений, согласно действующим нормативным документам [СНиП 22-01-95; ГОСТ Р22.1.06-99]).

4. Детальные (крупномасштабные) геоморфологические наблюдения на ключевых участках (на пересечении трассой газопровода рек, ручьев, и в других местах активного действия ОРП (в частности - солифлюкции, оползания).

5. Полуинструментальные (определение координат точек наблюдений с помощью GPS), картографические (использование карт более крупных масштабов (нежели главный: 1:50000) на участки маршрутов и космических снимков) методы, аэровизуальные наблюдения.

## **РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ**

Район исследований субширотного простираения лежит в целом вквостр простираения основных крупных комплексов форм рельефа и неотектонических структур. Абс. высоты - от 35 м (урез р. Шомушка) на крайнем западе до 213 м (в восточной части, близ д. Чудцы, севернее 381-го км трассы газопровода), в среднем – 55-130 м. Относительные высоты

меняются от первых метров (на крайнем востоке (319-334 км) и непосредственно восточнее г. Пикалёво (384-393 км) и, местами довольно резко, до 85 м (юго-западнее г. Пикалёво, в долине р. Рядань, 404 км). Максимальные амплитуды абсолютных (до 178 м) и относительных (до 80 м) высот, таким образом, значительны для равнинных территорий.

Внешние условия формирования рельефа и строение рельефа рассматриваются кратко – лишь в тех чертах, которые способствуют характеристике ОРП.

*Климатические условия* характеризуются западным переносом влажных морских воздушных масс, минимально трансформирующихся, увеличивающих скорость своего движения и приводящих к выпадению обильных осадков и к часто повторяющимся сильным ветрам вплоть до ураганных. Они благоприятствуют развитию солифлюкции, болотообразования, флювиальных, водноэрозионных, эоловых процессов.

*Тектонические условия.* В целом району исследований свойственно сочетание дифференцированных поднятий и опусканий (умеренно или слабо интенсивных) [8]. Вдоль трассы СЕГ нами выявлены 9 тектонических ступеней: с запада на восток – 5 восходящих и 4 нисходящих, что создаёт экологическую напряжённость.

Наиболее опасные участки для сооружения и эксплуатации газопровода в тектоническом аспекте: участок пересечения зоны Бокситогорского регионального разлома и трассы газопровода (на 417-413 км, непосредственно восточнее оз. Бабкинское, где газопровод пересекается еще и с железной дорогой Санкт-Петербург-Вологда) и зоны перехода от одной гипсометрической ступени к другой. К одной из них, западнее руч. Корец (403-404 км, ЮЗ г. Пикалёво), где увеличение абс. высоты происходит наиболее резко: на 80 м на 9 км трассы, приурочено место уже произошедшей аварии на газопроводе.

*Литологические условия.* Сложена равнина ледниковыми рыхлыми образованиями (ниже – РО). Существенно песчаные РО распространены в западной части района работ до долины р. Тихвинка (450-425 км) и в восточной: 1) на 364-338-й км; 2) 334-319 км. Существенно суглинистые РО слагают остальные участки, в том числе и моренные холмы и гряды. Протяженность распространения существенно песчаных РО по трассе газопровода – 76 км, несколько больше, чем существенно суглинистых (55 км).

*Растительные условия.* Естественная поверхность сплошь задернована и почти сплошь залесена – за исключением современных размываемых эрозионных уступов. Наибольшие незадернованные площади – на участках развития антропогенного рельефа, в том числе и на просеке газопровода, благоприятны для активного развития асингенетичных ОРП - АИПП: линейной и плоскостной эрозии, суффозии, дефляции – и для ускорения действия некоторых сингенетичных ОРП: карста, оползания (оползнеобразования).

*Хронологические условия.* Геоморфологический этап развития территории (в понимании И.П. Герасимова и Ю.А. Мещерякова [9]) охватывает короткое: послевалдайское время, т.е. голоцен. С учетом резкой смены доминирующих РП в его начале (с ледниковых на денудационные (склоновые), флювиальные и биогенные) это служит важным фактором повышенной интенсивности их действия.

В районе исследований выявлен рельеф денудационного, флювиального, эрозионного, криогенного, эолового, суффозионного, карстового, биогенного, антропогенного генетических типов и формирующие их одноимённые РП.

### ***Опасные рельефообразующие процессы***

Установлены, проанализированы (на предмет характера, содержания и направлений опасности) и закартографированы следующие ОРП и их ассоциации.

1. Склоновые процессы: оползнеобразование (оползание) и наиболее опасные: солифлюкция [5] (движение РО вязко-текучей и жидко-текучей консистенции с максимальными скоростями: 25-250 мм/год и 3000-10000 мм/год (соответственно) [10]), солифлюкция во взаимодействии с дефлюкцией (наиболее распространенный ОРП. Сильная и частая изменчивость консистенции грунтов: от липко-пластичной до вязко-текучей и жидко-текучей обеспечивает величайшую изменчивость скоростей движения РО: от 2-20 мм/год на дефлюкционных участках до 25-250 мм/год, местами до 3000-10000 мм/год – на солифлюкционных участках (по данным С.С. Воскресенского [10]).

2. Флювиальные процессы: русловая (донная) эрозия (с формированием рукотворных плотин из труб ГПВ на его переходах через реки - предпосылок аварий), размыв берегов, формирование заломов (скоплений стволов деревьев и их частей) [11], подпруживание рек дорожными насыпями, переходами мостов и газопровода, антропогенно инициированное врезание водотоков (ниже препятствий: дорожных насыпей и трассы газопровода).

3. Водноэрозионные процессы: линейная эрозия и плоскостная эрозия (чаще всего развиваются совместно (в ассоциациях) при микроструйчатом стоке воды – плоскостная и при его концентрации – линейная).

4. Эоловые процессы: дефляция, ветровал (формирует искори – микроформы рельефа и не создает более крупных), ветролом (ветром ломаются стволы старых и ослабленных (перестоявших) деревьев).

5. Суффозия. Установленные нами скорости уменьшения высоты поверхности под её действием: от 2,6-3,1мм/год до 200-320 мм/год [5]. Ускоряет действие других ОРП (в частности, линейной эрозии).

6. Карст – карбонатный (известняковый) – как по трещиноватым скальным породам (почти исключительно – известнякам), так и по РО (существенно карбонатным в их алевритоглинистой составляющей). Нередко – открытый; значит, гораздо чаще – покрытый.

7. Криогенные процессы в районе исследований, расположенном вне зоны развития многолетнемерзлых пород [12] – сезонные: процессы сезонного промерзания и протаивания пород. Их наибольшая активность приходится на переходные сезоны года. Выявлены криогенные РП: а) в рельефе: формирование полигональных грунтов во взаимодействии с пучением (с формированием бугров пучения (полигонов) и компенсационных (межполигональных) ложбинообразных понижений между ними); б) в строении РО: 1) разбиение РО одного горизонта на глыбообразные массивы; 2) диффузионные взаимодействия РО соседних горизонтов с образованием между ними горизонта переходного; 3) криогенная дифференциация РО с формированием крупнообломочной отмостки; 4) формирование мерзлотных клиньев; 5) криогенное растрескивание крупных обломков; 6) формирование зубцеобразных контактов между отдельными горизонтами РО; 7) формирование резких обрывов отдельных горизонтов РО по их простиранию (вместо обычного постепенного выклинивания).

Высочайшая опасность криогенных процессов состоит, с одной стороны, в невозможности противостоять их непосредственному воздействию, как и других процессов, связанных с движением воды, в том числе – и с изменениями ее агрегатных состояний. С другой стороны, криогенные процессы, подобно тротиловой взрывчатке, наиболее интенсивно воздействуют на наиболее крупные по объему и по массе тела в толще РО. В районе исследований к таким объектам относится в первую очередь газопровод.

8. Биогенные процессы. 8.1. Зоогенные (устройство нор млекопитающими). 8.2. Болотообразование - вместе с взаимодействующими солифлюкцией и дефлюкцией - наиболее широко распространённый ОРП: включает в себя три взаимодействующих более частных процесса: 1) концентрация природных вод; 2) водообмен; 3) торфонакопление. Первый – причина прямой опасности РП. Действие второго обеспечивает выполнение болотами водорегулирующей функции, которая временами (местами) перерастает в функцию поддержания (интенсификации) развития других ОРП: солифлюкции, солифлюкции во взаимодействии с дефлюкцией, криогенных, карста. Третий процесс – во взаимосвязи с двумя первыми – составляет основу болотообразования, его результирующий частный процесс.

Необходимо отметить и экологически положительную роль болотообразования, далеко не всегда учтенную, например, при гидромелиоративных работах. Оно, само по себе относясь к ОРП, защищает поверхность от эрозии (линейной, плоскостной, ветровой (дефляции)).

Опасность воздействий болотообразования и инженерных сооружений друг на друга – действительно двусторонняя. И вполне возможно, что болота испытывают воздействие от инженерных сооружений большее, чем оказывают на них. Более того, воздействие болотообразования на инженерные сооружения, в частности, на газопровод – реакция на нарушение им хода естественного развития болот, особенно – их водорегулирующей деятельности.

9. Антропогенные процессы, главный из которых – подтопление, отличаются не только прямыми опасными воздействиями на рельеф и на другие компоненты природы. Главная их опасность в том, что они вызывают к действию ВСЕ асингенетичные (АИПП) ОРП, оказывающие большую часть экологически отрицательных воздействий (в режиме действия обратных отрицательных связей) и на природные системы, и на антропогенные, в том числе – и на газопровод. Следовательно, антропогенные ГМС и в частности – газопровод не только испытывают (автоматически и пассивно) воздействие ОРП, а сами формируют это воздействие. Активность антропогенных ГМС в этом направлении велика, о чем свидетельствует безусловное преобладание асингенетичных процессов среди ОРП.

**Ассоциации** ОРП в абсолютном большинстве развиты вдоль линейных объектов.

1. Солифлюкция и болотообразование (или – подтопление) (усиленная солифлюкция).
2. Линейная и плоскостная эрозия.
3. Линейная эрозия, плоскостная эрозия, сведение лесов.
4. Плоскостная эрозия и линейная эрозия.
5. Плоскостная эрозия, линейная эрозия и дефляция.
6. Плоскостная эрозия и суффозия.
7. Линейная эрозия, плоскостная эрозия, подтопление (или болотообразование).
8. Линейная эрозия, подтопление (или болотообразование), суффозия.
9. Линейная эрозия, плоскостная эрозия, оползание, суффозия.
10. Суффозия и дефляция.
11. Суффозия, плоскостная эрозия, подтопление (или болотообразование), биогенные процессы.
12. Линейная эрозия, плоскостная эрозия, солифлюкция, подтопление (или болотообразование). Исключительно высокая опасность процессов данной ассоциации (примерно такая же – у процессов 9-й ассоциации) состоит в тесном пространственном и динамическом взаимодействии солифлюкции и линейной и плоскостной эрозии.
13. Дефляция, линейная эрозия, плоскостная эрозия, биогенные процессы, суффозия, подтопление (или болотообразование) – вторая по сложности из всех ассоциаций ОРП и самая сложная из распространенных на трассе газопровода

14. Процессы в населенных пунктах: антропогенные (строительство, распашка, проходка канав) и антропогенно инициированные природные процессы (линейная эрозия, плоскостная эрозия, суффозия, дефляция, сезонные криогенные процессы).

Отличительные особенности ассоциаций ОРП – переменное преобладание каждого из ОРП (в отличие от парагенезов РП, где всегда есть ведущий [13]) и взаимное ускорение действия ОРП [14].

## **ВЫВОДЫ И РЕКОМЕНДАЦИИ**

Результаты исследований ОРП показывают, что, при отсутствии катастрофических процессов и явлений, они развиты в районе исследований почти повсеместно на абсолютно большей части территории и, по существу, определяют характер и ход рельефообразования в ее пределах.

Одной частью ОРП были развиты и до строительства первой линии газопровода и сингенетичны современному ненарушенному естественному рельефу. Это - склоновые: солифлюкция, солифлюкция во взаимодействии с дефлюкцией, оползание; флювиальные: русловая эрозия, размыв берегов, формирование заломов (частично); эоловые: ветровал и ветролом; карст; криогенные; биогенные: болотообразование и зоогенные.

Другой, большей частью ОРП были вызваны к развитию строительством инженерных сооружений (формированием антропогенного рельефа) и являются асингенетичными (не свойственными) современному ненарушенному естественному рельефу АИПП.

Состояние, строение, взаимодействия ОРП своими сложностью, разнообразием и действенностью делают необходимым проведение дальнейших геоморфологических исследований: специализированных, мониторинга и стационарных.

Даны практические рекомендации для безопасной и безаварийной работы СЕГ.

Большинство ОРП связано с деятельностью воды. Поэтому большинство рекомендаций имеют целью восстановить водорегулирующие функции природных систем (рек, болот и др.) с учетом наличия двух линий газопровода. В целях защиты от подтопления, широко (а вдоль трассы – почти повсеместно) развитого в районе исследований, предлагаются следующие мероприятия.

1. По обе стороны просеки газопровода, на всем протяжении участков подтопления и на участках между болотами, проложить открытые дренажные каналы, отводящие воду в существующие водотоки (согласно п. 3.19. СНиП 2.06.15-85).

1.1. Дренажные каналы суть искусственные русла. Исследованиями их формирования установлено, что они ведут себя так же, как русла естественные – в частности, формируют излучины [15]. Максимальная для района исследований ширина пояса меандрирования – 400



м. Для соблюдения принципов подобия канавы прокладываются на таком же расстоянии от края просеки газопровода.

1.2. Для соблюдения принципов подобия (не только геометрического, но и динамического) выдержать морфометрию канав такой, какова она у малых водотоков со средней эрозионной активностью: ширина 3-5 м, глубина 2,5-3 м (с учетом высоты эрозионных уступов от поймы к руслу, равной 2 м, уклон продольного профиля - около 5 м/1 км (согласно п. 5.13. СНиП 2.06.15-85) (несколько больший, чем у естественных водотоков; в ходе эрозионной деятельности потоков по канавам он по мере необходимости будет ими уменьшен).

2. На участках распространения болот в непосредственной близости от просеки газопровода предусмотреть ее обвалование. Высота валов должна быть не менее 0,5 м над наивысшим уровнем стояния воды. С внешних (по отношению к просеке газопровода) сторон валов целесообразно проложить дренажные канавы (характеристики – в п. 1.2.).

3. Для защиты от подтопления собственно газопровода – как СЕГ (непрерывно), так и предшествующего (по возможности) применять защитные фильтрующие призмы, выполненные крупным щебнем однородного механического состава (согласно п.1 Примечания СНиП 2-06.15-85).

4. На участках развития криогенных процессов и карста провести (в том числе – и на прогнозируемом) частичные осушительные мелиорации (чтобы и избавиться от переувлажнения, и не вызвать действие других ОРП – в частности, вплоть до плоскостной и ветровой эрозии).

5. На участках неудовлетворительного стабильного состояния переходов: на участках или всплывших (переходы через реки Рыбежка, Соминка и Лидь), или лежащих над основной поверхностью (переход через ручей Лепуй) труб построить над водотоками железобетонные или металлические эстакады и на них уложить (переложить) трубы газопровода в защитной (от перепадов температуры и механических повреждений) изоляции.

Укладка труб на эстакадах позволит (полностью или во многом) избежать воздействия целой серии ОРП: флювиальных, водноэрозионных, криогенных. По данным наблюдений, ориентировочные протяженность и высота (над межженным урезом реки) эстакад составит (соответственно) на переходах: через ручей Лепуй – около 150 м и 2 м, через реку Рыбежка – около 100 м и 5 м, через реку Лидь – около 100 м и 4-5 м.

6. На всем протяжении трассы действующего газопровода произвести вертикальную планировку (выравнивание) грядово-ложбинного микрорельефа путем отсыпки равномерно крупнообломочным материалом (щебнем) с сохранением естественных уклонов поверхности.

Цель этой рекомендации: предотвращение действия всех ОРП на трассе действующего газопровода.

7. Для исключения (предотвращения) действия линейной эрозии и плоскостной эрозии на участках их развития в зоне влияния газопровода (не только на просеке) произвести следующие работы.

7.1. Восстановить почвенный покров на участках смытых и антропогенно нарушенных почв с одновременным проведением мероприятий по защите уже восстановленных почв от смыва и ветровой эрозии.

7.2. Для улучшения качества почв проводить их известкование и внесение комплекса минеральных удобрений [16].

7.3. Сплошь засеять участки многолетними травами – провести биологическую рекультивацию нарушенного рельефа.

7.3.1. Факторы выбора агротехники посева и выращивания многолетних трав: 1) состояние конкретных природных и технических условий; 2) степень и площадь нарушений [16].

7.3.2. Время посева трав, рекомендуемое и для более суровых климатических Севера Западной Сибири: 1) июнь (после протаивания почвенных горизонтов); 2) сентябрь (свежесобранные семена высеваются под зиму) [16].

7.3.3. Наиболее перспективные для посева многолетние травы: злаки местных популяций. Для районов и с более холодным климатом рекомендуются следующие их виды: мятлик луговой, лисохвост луговой, бекмания обыкновенная, регнерия изменчивая, волоснец сибирский, овсяница овечья [16].

8. Для организации системы мониторинга в зоне влияния СЕГ (шириной 3 км) предлагается разместить посты на расстоянии 4–7 км бревенчатые дома, от каждого из которых в обе стороны работает по одному специалисту-наблюдателю ОРП по единой разработанной программе и методике. Всего на исследованном участке потребуется 14 постов и 27 специалистов.

## **ЛИТЕРАТУРА**

1. Проблемы теоретической геоморфологии / Ю.Г. Симонов, Д.А. Тимофеев, Г.Ф. Уфимцев и др. М.: Наука, 1988. 256 с.
2. Ликатов Е.Ю. Самостоятельность рельефообразующих процессов (о несводимости их к процессам развития других форм движения материи) // Отечественная геоморфология: прошлое, настоящее, будущее: Материалы XXX Пленума Геоморфологической комиссии РАН. Санкт-Петербург, СПбГУ, 15–20 сент. 2008 г. СПб: СПбГУ, 2008. С. 371–372.

3. Ликутов Е.Ю. Связи и взаимодействия как участники рельефообразования // Вестник Тюменского государственного университета. Серия Науки о Земле. 2012. №7. С.113-121.
4. Ликутов Е.Ю. Соотношение генезиса и динамики рельефа. Сингенетичные и асингенетичные рельефообразующие процессы // Генезис рельефа / Г.Ф. Уфимцев, Д.А. Тимофеев, Ю.Г. Симонов и др. Новосибирск: Наука. Сибирское предприятие РАН, 1998. С.30-35.
5. Ликутов Е.Ю. Скорости антропогенно инициированных природных процессов и особенности их действия на севере Русской равнины // Земная поверхность, ярусный рельеф и скорость рельефообразования: материалы Иркутского геоморфологического семинара, чтений памяти Н.А. Флоренсова (Иркутск, 9-14 сент. 2007 г.) Иркутск: ИЗК СО РАН, 2007. С.130-132.
6. Ликутов Е.Ю. Антропогенно инициированные природные процессы на путях ливневого стока вследствие неучёта строения и формирования рельефа при их строительстве и эксплуатации (на примере территории гор. Калуги) // Антропогенная геоморфология: наука и практика: материалы XXXII Пленума Геоморфологической комиссии РАН (г.Белгород, 25–29 сент. 2012 г.). М.; Белгород: ИД «Белгород», 2012. С.267-271.
7. Ликутов Е.Ю. Закон наибольшей геоморфологической результативности постоянно действующих рельефообразующих процессов // V Международная конференция "Новые идеи в науках о Земле": Тезисы докладов. Т. 1. Москва: МГРА, 2001. С. 70.
8. Карта геоморфолого-неотектонического районирования нечерноземной зоны РСФСР. Масштаб 1:1500000 / Под общей редакцией Е.М.Сергеева. М.: ГУГК, 1984.
9. Герасимов И.П., Мещеряков Ю.А. Геоморфологический этап в развитии Земли // Новые пути в геоморфологии и палеогеографии. М.: Наука, 1976. С. 245–256.
10. Воскресенский С.С. Динамическая геоморфология. Формирование склонов. М.: Изд-во МГУ, 1971. 228 с.
11. Ликутов Е.Ю. Заломы в речных долинах и их геоморфодинамические функции // Рельеф и экзогенные процессы гор / Материалы Всероссийской научной конференции с международным участием, посвящённой 100-летию со дня рождения доктора географических наук, профессора Л.Н. Ивановского (Иркутск, 25-28 окт. 2011 г.). Иркутск: Изд-во Института географии им. В.Б. Сочавы СО РАН, 2011. Т.2. С.94-96.
12. Ликутов Е.Ю. Криогенные рельефообразующие процессы южнее зоны распространения многолетнемерзлых пород // Геоморфологические процессы и их прикладные аспекты. VI Щукинские чтения. Труды (коллектив авторов). М.: Географический факультет МГУ, 2010. С.158-160.
13. Ивановский Л.Н. Экзогенная литодинамика горных стран. Новосибирск: Наука, 1993. 160 с.
14. Ликутов, Е.Ю. Ассоциации рельефообразующих процессов и их геоморфодинамические свойства (общие и феноменальные) // Успехи современного естествознания. 2016. №12 (часть 2). С 423–427.
15. Аннаев С.А. Русловые процессы в крупных каналах. Ашхабад: Ылым, 1986. 164 с.
16. Камышев А.П. Методы и технология мониторинга природно-технических систем Севера Западной Сибири / Под ред. А.Л. Ревзона. М.: ВНИПИГАЗДОБЫЧА, 1999. 230 с.

## ПАРНИКОВЫЕ ГАЗЫ И СТРОЙИНДУСТРИЯ

Н. В. Озерова \*, Д. Х. Мамина \*\*, М. М. Рукавишников \*\*\*

*\*к.т.н., доцент, Национальный исследовательский университет «МЭИ», 111250, Москва, Красноказарменная, 14, Россия*

*\*\*к.т.н., доцент, Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет, 129337, Москва, Ярославское шоссе, 26, Россия*

*\*\*\* магистрант, Национальный исследовательский университет «МЭИ», 111250, Москва, Красноказарменная, 14, Россия*

**Аннотация.** В данной статье была рассмотрена проблема количественного определения выбросов парниковых газов от некоторых производств минеральных строительных материалов. Для этого осуществлялся литературный обзор источников информации, посвященных методам расчета. На основе статистической информации, был сделан предварительный расчет объема выброса углекислого газа.

**Ключевые слова:** выбросы углекислого газа, декарбонизация, цементное производство, производство минеральных строительных материалов.

### ВВЕДЕНИЕ

По предварительным данным Международной Метеорологической Организации (ВМО) последние семь лет могут стать самыми теплыми за всю историю наблюдений, а уровень мирового океана поднялся до нового максимума [1]. Также ВМО отмечает, что уровень двуокси углерода (CO<sub>2</sub>) достиг рекордной отметки, поднявшись с 410,7 миллионных долей (ppm) в 2019 году до 413,2 части на миллион. Этот показатель соответствует 149 % по сравнению с доиндустриальным периодом. Рост концентрации (CO<sub>2</sub>) продолжается и в 2021 году [2].

В России, ратифицирующей «Парижское соглашение», в этом году принят ряд нормативно-правовых документов, создающих имидж климатически ответственной страны. Так, в декабре 2021 года вступает в силу Федеральный закон «Об ограничении выбросов парниковых газов» [3].

Предприятия, в том числе и относящиеся к стройиндустрии, деятельность которых сопровождается выбросами парниковых газов, масса которых эквивалентна 150 и более тысячам тонн углекислого газа в год, с 1 января 2023 года будут обязаны контролировать свои выбросы парниковых газов и предоставлять отчеты об их количественных показателях.

К таким предприятиям относятся цементные и кирпичные заводы, производства извести, стекла и керамики.

## МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ

Производство минеральных строительных материалов является источников выбросов CO<sub>2</sub>.

Например, производство цемента относится к очень энергоемким областям промышленности, потребляя большое количество ископаемых энергетических ресурсов, сырья и электроэнергии при том, что сегодняшние условия рынка энергоресурсов способствуют росту цен на них, в том числе и из-за повышения стоимость платы за выбросы, и ужесточению экологических требований к предприятию [4].

Кроме того, Евросоюз с 2023 года планирует ввести углеродный налог на импорт продукции из тех стран, где превышены выбросы парниковых газов. Это может отразиться и на поставках цемента за границу. Практический интерес представляет вопрос о том, каков вклад промышленности минеральных строительных материалов в рост концентрации CO<sub>2</sub>.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Нами были проведены расчеты количества выбросов углекислого газа, согласно действующим методическим рекомендациям по проведению добровольной инвентаризации объема выбросов парниковых газов [5]. При расчетах, была принята плотность строительного стекла 2,5 г/см<sup>3</sup> и усредненная толщина 1 см.

**Таблица 1.** Расчет выбросов CO<sub>2</sub> от производства минеральных строительных материалов и использования карбонатов (составлено авторами на основе данных) [5, 6]

№ п/п	Категории источников	Произведено в год	Коэффициент выбросов	Количество CO <sub>2</sub>	Данные о деятельности для расчета выбросов CO <sub>2</sub>
1	Производство цемента	55984,7	0,526 т CO <sub>2</sub> /т произведенного клинкера	29447,95 тыс. т	CO <sub>2</sub> образуется в процессе получения клинкера - промежуточного продукта при производстве цемента. В процессе производства клинкера известняк, который преимущественно состоит из карбоната (CaCO <sub>3</sub> ), нагревают (или кальцинируют) и получают известь (CaO) и побочный продукт CO <sub>2</sub>
2	Производство извести	11305 тыс. т	0,75	8478,75	Сбор данных от промышленных предприятий может привести к

№ п/п	Категории источников	Произведен о в год	Коэффициент выбросов	Количество СО <sub>2</sub>	Данные о деятельности для расчета выбросов СО <sub>2</sub>
			т СО <sub>2</sub> /т произведенной извести		недоучету объемов производства извести в регионе, т.к. известь может производиться на многих предприятиях, в том числе для внутреннего потребления на самих предприятиях в качестве сырья для дальнейшей переработки.
3	Производство стекла	260,3 млн. м <sup>2</sup>	0,1  т СО <sub>2</sub> /т выплавленного стекла	650 тыс. т	В российской статистике данные о производстве листового строительного стекла представлены в квадратных метрах.
4	Производство керамики	197 тыс. т	0,05  т СО <sub>2</sub> /т произведенных керамических изделий	9,85 тыс. т	Керамика включает производство керамических кирпичей (производство силикатных кирпичей не приводит к выбросам СО <sub>2</sub> ) и кровельной черепицы, керамических труб, огнеупорных и керамзитовых изделий, напольной и стеновой плитки, керамической сантехники. Выбросы от процесса производства керамики происходят в результате кальцинирования карбонатов глины.

В соответствии с ратифицированным Парижским соглашением Россия взяла на себя обязательство сократить объем парниковых газов к 2030 году на 25-30 % от уровня 1990 года с учетом поглощающей способности лесов [1]. Совокупные выбросы парниковых газов за 2019 год составляют 2119,4 млн тонн, в том числе углекислого газа 1679,4 млн тонн [8].

## ВЫВОДЫ

Из вышеизложенного материала, можно сделать вывод, что предприятия по производству минеральных строительных материалов производят выбросов 38,6 млн т углекислого газа в год, что составляет примерно 2,3% от общего объема выброса углекислого газа РФ.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Климатический провал. Ученые говорят о неизбежности глобальной катастрофы. URL <https://ria.ru/20211029/klimat-1756667880.html> (дата обращения 05.11.2021).
2. Состояние-климата-в-2021-году—экстремальные-явления-и-масштабные-воздействия URL <https://public.wmo.int/ru/media/пресс-релизы/> (дата обращения 05.11.2021).
3. Федеральный закон 02.07.2021 № 296-ФЗ «Об ограничении выбросов парниковых газов»
4. Рукавишников М.М., Озерова Н.В., Мамина Д.Х. Энергетическая утилизация различных видов отходов в цементных печах // В сборнике: ДНИ СТУДЕНЧЕСКОЙ НАУКИ. Сборник докладов научно-технической конференции по итогам научно-исследовательских работ студентов института гидротехнического и энергетического строительства НИУ МГСУ. Москва, 2021. С. 328–338.
5. Распоряжение Минприроды России от 16.04.2015 N 15-р «Об утверждении методических рекомендаций по проведению добровольной инвентаризации объема выбросов парниковых газов в субъектах Российской Федерации»
6. Строительство в России. 2020: Стат. сб. / Росстат. М., С863. 2020. 113 с
7. Основные показатели охраны окружающей среды. Статистический бюллетень // М.: Федеральная служба государственной статистики (Росстат). 2021. с. 12.
8. Бюллетень о текущих тенденциях российской экономики № 66 // Экология и экономика: тенденция к декарбонизации. URL [https://ac.gov.ru/uploads/2-Publications/BRE/\\_%D0%BE%D0%BA%D1%82%D1%8F%D0%B1%D1%80%D1%8C\\_web.pdf](https://ac.gov.ru/uploads/2-Publications/BRE/_%D0%BE%D0%BA%D1%82%D1%8F%D0%B1%D1%80%D1%8C_web.pdf)

## ПРИЗНАКИ ПРОНИКНОВЕНИЯ МОРСКИХ ВОД В ПРИБРЕЖНЫЕ ВОДОНОСНЫЕ ГОРИЗОНТЫ (НА ПРИМЕРЕ ЧЕРНОГО МОРЯ)

С. Г. Миронюк

*к.г.-м.н., старший научный сотрудник, Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, 119234, Москва, ул. Ленинские горы, д. 1, Россия*

**Аннотация.** Рассматриваются свидетельства интрузии морских вод в береговой зоне Черного моря. Обзор литературы показал, что этот опасный природный процесс формируется под действием природных и антропогенных факторов и имеет практически глобальный характер в связи с повышением уровня Мирового океана и усилением урбанизации приморских территорий. Обозначены наиболее уязвимые в отношении развития интрузии участки береговой зоны, отражены экологические аспекты проблемы. На примере береговых примыканий трубопроводов в Черном море с использованием, в основном, электротомографического метода, показаны признаки внедрения морских вод в водоносные горизонты пресных вод в пределах отдельных участков побережья РФ и Болгарии.

**Ключевые слова:** Черное море, береговые примыкания, интрузия морской воды, электротомография, водоносный горизонт

### ВВЕДЕНИЕ

Под интрузией, по определению Де Уист Р.Д. [1] понимают «внедрение клина соленых морских вод в прибрежные напорные или безнапорные водоносные горизонты». Этот процесс достаточно хорошо изучен как в естественных, так и в нарушенных условиях [2]. Интрузия (внедрение) морских (океанических) вод в прибрежные водоносные горизонты и водные объекты суши сложный по механизму многофакторный процесс, формирующийся под действием природных и антропогенных факторов. Практически для всех стран, обладающих протяженной береговой линией, предотвращение негативных последствий интрузии стало особенно актуальной проблемой в последние десятилетия [3-6]. В России интрузия отмечена в прибрежных районах Балтийского, Черного, Азовского, Каспийского, дальневосточных морей [7-10]. В частности, в Черном море в период активизации штормовых процессов в пределах Имеретинской низменности наблюдалась интрузия морских вод на расстояние до 200 м вглубь суши [11]. Аналогичные явления при штормовых нагонах отмечаются в районе Сочи, в Черноморском и части Раздольненского районов Крыма. Превышения ПДК по минерализации, хлоридам и жесткости в некоторых скважинах территории г. Севастополя [6],



береговой зоны полуостровов Малый и Большой Утриш [12] также может быть связаны с интрузией морских вод.

## **МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ**

В большинстве работ по проблеме интрузии морской воды признается, что наиболее эффективными полевыми методами исследования этого процесса, помимо геохимических, являются геофизические методы и, прежде всего, методы электроразведки (сопротивлений). Они позволяют идентифицировать и локализовать в водоносных горизонтах зоны повышенной солености вод. Чтобы оценить приближенно распределение соленой, солоноватой и пресной воды используют вертикальное электрическое зондирование (ВЭЗ), электропрофилирование (ЭП), электротомографию (ЭТ) и электрокаротаж-каротаж сопротивлений (КС).

Ниже представленный материал является результатом анализа материалов инженерно-геологических изысканий, в том числе геофизических исследований, которые выполнялись в период с 2002 по 2014 годы на участках береговых примыканий газопроводов «Джубга-Лазаревское-Сочи» и «Южный поток». Участки исследований были расположены вблизи населенных пунктов Кудепста, Туапсе (Скала Киселева), Новомихайловский, Джубга, Сукко и Варна. Изучались глубина залегания подземных вод в скважинах, их химический состав вод, минерализация, агрессивность по отношению к бетону (цементному камню) и к металлам, а также пространственное распределение отдельных типов подземных вод с различной степенью минерализации (в основном методом ЭТ).

## **РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ**

Согласно [13] на Черноморское побережье Кавказа на участке от Анапы до Сочи в отложениях нижнего мела распространены воды хлоридно-натриевого типа, а в четвертичных – хлоридные натриево-магниевые, пресные и с повышенной минерализацией. Гидрогеологические исследования, выполненные в районе указанных населенных пунктов, показали следующее.

**Кудепста.** Гидрогеологические условия характеризуются спорадическим развитием подземных вод, приуроченных к различным генетическим типам грунтов. Питание их осуществляется, в основном, за счет инфильтрации атмосферных осадков. В процессе изысканий установлено наличие следующих водоносных горизонтов:

а) в пляжевой зоне развит водоносный горизонт, приуроченный к галечниковым грунтам современной морской террасы. Надводная часть пляжа шириной около 30 м находится под периодическим воздействием штормов. Установившийся уровень зафиксирован на глубине 2,1-2,4 м. По химическому составу подземные воды - гидрокарбонатно-хлоридные магниевые-

натриево-калиевые с минерализацией 3,4-14,5 г/л. Химический состав и высокое содержание солей в грунтовых водах указывает на их гидравлическую связь с морскими водами. Эти воды прослеживаются на расстояние около 50 м от береговой линии.

б) к наиболее проницаемым отложениям олигоцена приурочены грунтовые воды трещинно-пластового типа. Этот горизонт вскрыт в интервале 14-51 м. Глубина установившегося уровня изменяется в пределах 1,5-14,1 м. По химическому составу воды описываемого горизонта-сульфатно-гидрокарбонатные магниевые-кальциевые с минерализацией 0,6-1,5 г/л.

**Туапсе (Скала Киселева).** Участок берегового примыкания в районе г. Туапсе приурочен к прибрежно-морской абразионно-аккумулятивной террасе. Гидрогеологический режим исследованной территории характеризуется наличием одного горизонта подземных вод. Они вскрыты в двух скважинах на глубине 41,3 м и на глубине 20,2 м и установились на глубине 39,0 м и 18,5 м соответственно. Водоносный горизонт приурочен к трещиноватой зоне коренных пород терригенно-карбонатного флиша верхнего мела. Подземные воды трещинного типа, имеют один гидравлический уровень. Режим подземных вод безнапорный. Разгрузка водоносного горизонта происходит непосредственно в Черное море. По химическому составу подземные воды хлоридно-сульфатно-натриево-магниевые. Общее содержание солей 0,9 г/л. Признаков интрузии морской воды не обнаружено.

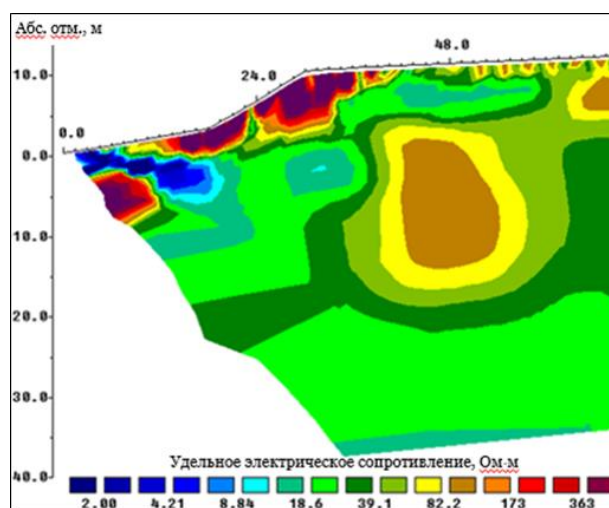
**Новомихайловский.** От уреза моря трасса газопровода проходит в пределах узкого, каменистого пляжа и конуса выноса балки Рубцовая щель. Далее трасса пересекает абразионный береговой уступ, карангатскую, узунларскую и древнечаудинскую морские террасы. Подземные воды в границах террас вскрыты двумя скважинами и установились на глубине 18,0 м и 26,0 м соответственно. При этом одна из скважин глубиной 50 м (ее забой находился на глубине 20 м ниже уровня моря) была расположена в 35 м от береговой линии вблизи уступа террасы. Водоносный горизонт распространен в коренных породах терригенно-карбонатного флиша верхнего мела. Подземные воды трещинного типа, их питание происходит за счет фильтрации атмосферных осадков и в период интенсивного снеготаяния. Разгрузка подземных вод осуществляется непосредственно в Черное море. Также наблюдается их высачивание в бортах балок и берегового уступа (клифа). По химическому составу подземные воды сульфатно-хлоридно-натриевые. Общее содержание солей 1,6 г/л. В пляжевой зоне грунтовые воды приурочены к трещинам напластования флишевых отложений (переслаивание мергеля с песчаниками и алевролитами) и представлены инфильтрующейся по этим трещинам морской водой. Подземный и поверхностный сток по днищу балки в период обильных атмосферных осадков, образует временный горизонт пресных вод, смешивающихся с морскими водами.

**Джубга.** Подземные воды распространены в аллювиальных, аллювиально-пролювиальных, пролювиальных, делювиальных, оползневых и элювиальных отложениях побережья. Глубина залегания уровней подземных вод четвертичных отложений в этой области колеблется от 1,5 до 5 м. В элювии коренных пород, представленном выветрелыми мергелями, известняками, песчаниками и др. они находятся на глубине более 10 м. По химическому составу подземные воды гидрокарбонатно-кальциевые, натриевые, либо гидрокарбонатно-сульфатно-кальциевые с минерализацией от 0,1 до 0,8 г/л (пресные). Пляж шириной 5-6 м, сложен обломочным материалом, представленным крупной галькой, щебнем и глыбами (более 1м) песчаника. Мощность осадков колеблется в пределах от 0,5-1,0 м. Клиф высотой около 7м, крутизной 50-60°. По данным КС скважины, пройденной в пределах пляжа, сопротивление обводненной толщ составляет 12-16 Ом\*м (солончатые воды).

**Сукко.** На участке берегового примыкания вблизи пос. Сукко выделено два водоносных горизонта. Первый от поверхности водоносный горизонт вскрыт на глубинах 0,8-34,1 м, приурочен к аллювиально-делювиальным песчано-глинистым отложениям (долина р. Шингарь), элювиально-делювиальным отложениям склонов вдольберегового хребта, и к подстилающим их трещиноватым коренным отложениям флишевой толщи. Воды преимущественно безнапорные, однако на отдельных участках имеется локальный напор высотой до 1,2 м. Питание горизонта осуществляется за счет инфильтрации атмосферных осадков, разгрузка происходит вниз по склонам в р. Шингарь и Черное море, а также путем инфильтрации в нижележащий основной водоносный горизонт. По химическому составу подземные воды характеризуются в основном как гидрокарбонатные кальциевые. Воды пресные, общая минерализация до 1 г/л. Ниже по разрезу залегает основной водоносный горизонт, приуроченный к трещиноватым коренным отложениям. Подземные воды безнапорные, распространены повсеместно, и вскрыты на глубинах до 132,5 м. В районе бассейна р. Шингарь (область питания) по химическому составу подземные воды характеризуются как гидрокарбонатные кальциево-натриевые, гидрокарбонатные кальциевые, реже хлоридно-гидрокарбонатные кальциевые, пресные, с общей минерализацией до 1 г/л. В пляжевой зоне по химическому составу воды характеризуются как хлоридные магниевонатриевые, с общей минерализацией до 4,6-13,4 г/л. Пляж, примыкающий к подножью берегового обрыва - неполного профиля, шириной до 10-15 м. Глубина залегания грунтовых вод 1,3-2,0 м. По данным ЭТ диапазон УЭС в верхней части водовмещающих пород (трещиноватые мергели, известняки, песчаники) изменяется приблизительно от 3 до 15 Ом\*м (соленые и солончатые воды).

**Варна (Паша Дере).** Береговое примыкание газопровода в районе г. Варна протяженностью 2 км включает пляж шириной 25-30 м, примыкающий к крутому

абразионному уступу высотой 6-8м и пологий склон плато. Участок работ характеризуется широким развитием песчаных отложений, которое прослеживаются по данным бурения до глубины 40 м. Берег абразионно-аккумулятивного типа. Грунтовые воды вскрыты двумя скважинами в пляжевой зоне на глубине 2, 6 – 2, 9 м, а на склоне водораздела на глубине 10,0 -28,7 м. Гидростатический уровень воды находится почти на уровне моря. Химические анализы проб воды, отобранных в одной из скважин пройденной в пляжевой зоне, показал, что грунтовые воды по содержанию хлоридов (2,9 г/л) имеют смешанный характер. В остальных скважинах преобладают пресные воды. В целом, по классификации О. А. Алекина (1970) по преобладающему аниону, воды относятся к классу гидрокарбонатных и хлоридных, по преобладающему катиону это кальциевые и натриевые воды. О признаках интрузии морской воды в прибрежные водоносные горизонты свидетельствуют также данные ЭТ (рис.1).



**Рисунок 1.** Электротомографический разрез побережья Черного моря в районе г. Варны.

Как видно на рисунке, в изученном разрезе берегового примыкания, наблюдается низкоомный участок (УЭС до 10 Ом·м) в форме клина («языка»), что свидетельствует о проникновении морских вод в прибрежную полосу суши.

## ВЫВОДЫ

В ходе изысканий на участках береговых примыканий газопроводов были выявлены зоны вторжения морской воды в прибрежные массивы пород. Об этом свидетельствуют данные химического анализа подземных вод и электроразведочных работ. В силу ряда причин (особенности горного рельефа, геологического строения, слабая проницаемость пород береговой зоны и др.) масштабы этого явления на черноморском побережье Западного Кавказа, за исключением Имеретинской низменности, невелики. Наиболее значительные проявления интрузии зафиксированы на побережье Болгарии в районе Варны благодаря преобладанию существенно песчаных отложений в разрезе прибрежной зоны.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Де Уист, Р.Д. Гидрогеология с основами гидрологии суши. Мир. 1965. Том 1. 312 с.
2. Seawater Intrusion in Coastal Aquifers: Concepts, Methods and Practices. Bear, J., Cheng, AH-D., Sorek, S., Ouazar, D., Herrera, I. (Eds.) Springer Science+Business Media Dordrecht. 1999. 627 p.
3. Гольдберг В. М., Газда С. Гидрогеологические основы охраны подземных вод от загрязнения. М.: Недра. 1984. 262 с.
4. Шестаков В.М. Гидрогеодинамика. Изд-во МГУ. 1995. 368 с.
5. Зекцер И.С. Подземные воды как компонент окружающей среды. М.: Научный мир. 2001. 328 с.
6. Расторгуев А.В., Левицкая Е.В. Интрузии морских вод к прибрежным водозаборам//Инновации в геологии, геофизике и географии – 2019. Сборник материалов 4-й Международной научно-практической конференции. М.: «Перо». 2019. С. 113–115.
7. Гольдберг В.М. Интрузия морских вод в горизонты пресных подземных вод // Гидрологические исследования за рубежом. М.: Недра. 1982. С. 74–88.
8. Khublaryan M.G., Frolov A.P., Yushmanov I.O. Seawater intrusion into coastal aquifers// Water Resources. 2008. Т. 35. № 3. С. 274–286.
9. Михневич Г. С., Кречик В. А., Крек А. В., Данченков А. Р. Взаимодействие морских и подземных вод в прибрежной зоне Юго-Восточной Балтики и его экологические последствия//Балтийский морской форум: материалы VII Междунар. Балтийского морского форума. Калининград, 2019. Т. 3.: VII Международная научная конференция «Водные биоресурсы, аквакультура и экология водоемов». С. 369–380.
10. Семенчук А. В. Условия формирования подземных вод Балтийской косы (Калининградская область): автореф. дис. канд. геол.-минерал. наук.С.-Петерб. гос. гор. ун-т. Санкт-Петербург. 2018. 19 с.
11. Антошкина Е. В. Инженерно-геологические условия Имеретинской низменности// Географические исследования Краснодарского края: сб. науч. тр. Вып. 5. Краснодар: Кубан. гос. ун-т. 2010. С. 42–46.
12. Кухарев И. Л., Шереметьев А. В. Гидрогеологическое строение// Государственный природный заповедник «Утриш». Атлас. Научные труды. Том. 2. Анапа. 2013 г. С. 20–23.
13. Гидрогеология СССР. Том 9. Северный Кавказ. Редактор(ы): Григорьев Н. А., Погорельский Н. С. М.: Недра. 1968. 488 с.

**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДА АМПЛИТУДНЫХ СПЕКТРОВ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПОЛОЖЕНИЯ ЛИТОЛОГИЧЕСКИХ КОНТАКТОВ И СЕЙСМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ГРУНТОВ НА ПРИМЕРЕ ОПОЛЗНЕВЫХ УЧАСТКОВ КОЛОМЕНСКОЕ И МОСКВОРЕЧЬЕ-САБУРОВО В Г. МОСКВА**

**А.А. Прасолов<sup>\*</sup>, Н.А. Орлова<sup>\*\*</sup>**

*\*инженер-геолог ООО «Инженерная Геология и Геотехника», 119331, г. Москва, Проспект Вернадского, 29, аспирант, Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет, 129337, г. Москва, Ярославское ш., д. 26, Россия*

*\*\*инженер-геолог АО «Центральное ПГО», 115191, г. Москва, 2-я Рощинская 10; аспирант, Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет, 129337, г. Москва, Ярославское ш., д. 26, Россия*

**Аннотация.** В настоящее время в крупных городах увеличивается освоение территорий со сложными инженерно-геологическими условиями, в том числе оползнеопасных. Проведение инженерных изысканий на таких территориях осложняется трудностью использования тяжёлой техники на крутых склонах, что приводит к большему использованию косвенных методов. Одним из таких является сейсмометрический метод амплитудных спектров, основанный на выявлении резонансных частот слоёв и неоднородностей геологического строения. Он используется как для определения литологических контактов, в том числе ослабленных зон, по которым могут происходить оползневые подвижки, так и сейсмических свойств грунтов. На примерах оползневых участков Коломенское и Москворечье-Сабурово в г. Москва показана хорошая сходимость геологического строения, полученных этим методом с бурением, так и определения сейсмических свойств грунтов в сравнении с более изученным участком Воробьёвы горы.

**Ключевые слова:** метод амплитудных спектров, литологические контакты, сейсмические свойства грунтов, оползни, участки Коломенское и Москворечье-Сабурово.

## **ВВЕДЕНИЕ**

В настоящий момент в крупных мегаполисах необходимо осваивать новые территории, зачастую характеризующиеся сложными инженерно-геологическими условиями, к которым относятся и оползневые участки. Развитие сейсмометрических методов, в частности метода амплитудных спектров, возможно для наиболее тяжёлых участков, где, практически нецелесообразно проходить инженерно-геологические выработки. При этом в данном случае

метод амплитудных спектров позволит определить и литологические контакты, и сейсмические свойства грунтов.

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Основным методом изучения являлся сейсмометрический, основанный на определении амплитудных спектров, при неизменном положении сейсмоприёмника и возбуждении колебаний на двух ортогональных линиях [1]. Для определения положения слоёв в геологическом разрезе проводится анализ сигнала в переменном временном интервале с определением резонансной частоты для данного слоя. Таким образом, при получении резонансной частоты при преобразовании формул [1] можно получить формулу скорости поперечных (сдвиговых) волн (S-волн) при длине профиля в 50 м:

$$v_s = 6hfp/n,$$

где  $h$  – глубина исследований в м,  $fp$  – резонансная частота данного слоя в Гц и  $n$  – количество перемещений сейсмогенерирующего источника для данного профиля. Полученные показатели позволяют определить литологические контакты и мощности геологических слоёв. Кроме того предполагаемый способ позволяет по безразмерному параметру отношения амплитудных спектров оценить степень неоднородности грунтов, которая, как правило, будет выражаться, в трещиноватости и дополнительной обводнённости, что характерно в верхних слоях для смещаемого оползневого блока.

**Участок Коломенское** располагается на правом берегу реки Москвы в пределах юго-восточного округа города Москвы, восточнее проспекта Андропова. На этом участке небольшая мощность четвертичных отложений, а также высокое положение кровли дочетвертичных образований, поэтому глубокие оползни захватывают келловейские глины средней юры, а не оксфордские (за исключением юго-восточной части третьего оползневого амфитеатра), в результате чего явно преобладающим механизмом для данных оползней является скольжение с образованием инсеквентных оползней. Кровля каменноугольных отложений неровная, имеет падение в сторону реки, породы представлены известняками, реже доломитами.

Кровля скального основания на оползневом **участке Москворечье-Сабурово** установлена по геофизическим данным, повторяет силуэт поверхности – резкий перепад от плато к подошве склона и далее следует плавное снижение к реке. В русле реки выявлены многочисленные локальные понижения, самое значимое из которых имеет глубину порядка 19 м, предположительно карстового происхождения. Геологическое строение схоже с оползевым участком «Коломенское».

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В результате проведённых геофизических работ на участке Коломенское по профилям были отмечены дополнительные границы в келловейских отложениях по профилям 3 и 4, что может свидетельствовать о прохождении поверхности скольжения по этим образованиям. Тем самым, можно предположить, что в нижней части склона третьего оползневого амфитеатра участка Коломенское переход ОДГ от келловейских глин к оксфордским происходит примерно в 100-150 м к северо-западу от забора, отделяющего завод Полиметаллов от парка Коломенское. Дополнительным доводом данной гипотезы служат значения скоростей сдвиговых волн, полученных при проведении геофизических работ, и их сравнение с аналогичными параметрами для участка Воробьёвы горы (табл. 1).

**Таблица 1.** Сейсмические свойства грунтов для участка Коломенское и сравнение с участком Воробьёвы горы

Индекс	Мощность средняя, м	$v_s$ , м/с (Коломенское)	$v_s$ , м/с (Воробьёвы горы)
dIII-IV	4,8	210	180-260
J <sub>3ox-tt</sub> (+смещ.)	8,2	298	310-320
J <sub>2k</sub> (смещ.)	8,8	291	320-330
J <sub>2k</sub>	9,2 и более	313	320-330
C <sub>2</sub>	С глубины 24 м	720	640-700

Также для профиля 2 была выделена единственная чётко выраженная граница между юрскими и каменноугольными отложениями (примерно на 3-4 м выше обычного), под ней были определены скорости каменноугольных известняков. В целом их скорость достаточно низкая, как и для участка Воробьёвы горы. Это подтверждается также и оценкой их физико-механических свойств полученных по таблице Г.4 СП 446.1325800.2019 (по В.И. Бондареву), что может свидетельствовать о сильном выветривании каменноугольных известняков у их кровли.

Повышенная мощность юрских отложений и более низкое положение кровли каменноугольных известняков были подтверждены геофизическими методами. Так же, как и для участка Коломенское, кровля известняков была достигнута только одним профилем 7, при этом отмеченная глубина каменноугольных известняков уже достигла 37 м. Отмечаются более низкие значения для четвертичных отложений и на границе юры-мела, что может вызываться развитием вторичных оползней в этих отложениях (табл. 2).



**Таблица 2.** Сейсмические свойства грунтов для участка Москворечье-Сабурово и сравнение с участком Воробьёвы горы

Индекс	Мощность сред., м	$v_s$ , м/с (Москворечье-Сабурово)	$v_s$ , м/с (Воробьёвы горы)
dIII-IV	4,0	199	180-260
J <sub>3tt</sub> -K <sub>1</sub>	5,5	263	260-315
J <sub>3ox</sub> (смещ.)	8,8	311	310-320
J <sub>2k</sub>	9,7 и более	339	320-330
C <sub>2</sub>	С глубины 37 м	830	640-700

Это отражается и в соответствующей оценке физико-механических свойств грунтов, в частности, каменноугольные известняки у кровли на участке Москворечье-Сабурово уже могут быть классифицированы как скальные с  $R_c > 5$  МПа, в то время как аналогичные для участков Коломенское и Воробьёвы горы являются полускальными.

## ВЫВОДЫ

Таким образом, в ходе данных исследований были:

- 1) проведены геофизические исследования с использованием метода амплитудных спектров для выделения границ грунтов по амплитудному спектру и определением сейсмических свойств грунтов методом резонансных частот;
- 2) обработаны результаты исследований и проведена сравнительная характеристика геологического строения оползневых участков Коломенское и Москворечье-Сабурово;
- 3) проведена оценка физико-механических свойств грунтов по полученным методом амплитудных спектров сейсмическим свойствам и корреляций СП 446.1325800.2019, по ней возможно корректировать дальнейшее изучение свойств грунтов на последующих этапах проведения инженерно-геологических и инженерно-геотехнических изысканий.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Колчин Г.И., Белоусов В.И., Гликман А.Г., Бунчиков В.Н. Патент SU 18021190 A1 от 25.12.1990. Способ определения положения ослабленных контактов в массиве горных пород. ГМНИИ по безопасности работ в горной промышленности, 1990. – 9 с.

## ОСОБЕННОСТИ ОРГАНИЗАЦИИ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА ГОРОДСКИХ ТЕРРИТОРИЙ

П.М. Савельев\*, В.Н. Экзарьян\*\*

\* аспирант, Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе (МГРИ)

\*\* д.г.-м.н., профессор, Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе (МГРИ)

**Аннотация:** В современном мире просматривается тенденция урбанизация. Города становятся экономическими и научными центрами. Однако, в связи с этим на городские территории часто оказывается повышенное антропогенное воздействие. Это имеет ряд последствий, в том числе в виде активизации опасных геологических процессов, загрязнения атмосферного воздуха, ухудшения качества поверхностных и подземных вод, повышенного радиационного фона и других экологических проблем. Развитие экологического мониторинга позволяет принимать какие-либо управляющие решения с учетом экологического аспекта. Необходимость осуществления государственного экологического мониторинга закреплено статьей 63 Федерального закона №7-ФЗ «Об охране окружающей среды» от 10.01.2002. В мировой практике нормативно-правовое место экологического мониторинга закреплено и регламентировано более четко. Система экологического мониторинга России начала развиваться с 1990-х, затем претерпела некоторые изменения. Сейчас вся система представляет собой совокупность разрозненных ведомственных систем мониторинга. Муниципальный экологический мониторинг фактически прекратил свое развитие после реформ. Однако вопрос обеспечения местных органов власти и населения оперативной и достоверной информацией о состоянии окружающей среды имеет высокую значимость. Развитие эффективных систем экологического мониторинга, позволяющих обеспечивать экологическую безопасность городов, в условиях бурного роста уровня урбанизации является актуальным. В Российской Федерации приоритетность развития систем экологического мониторинга возрастает в связи со спецификой градообразующих факторов – большая часть городов приурочены к крупным промышленным объектам. Кроме того, развитие системы муниципального экологического мониторинга и предоставление информации о состоянии окружающей среды населению повысит уровень доверия и экологического просвещения на территории городов. Проведенное исследование показало важность и возможности развития муниципального экологического мониторинга. Рассмотренные особенности формирования сети экологического мониторинга

малых городов могут стать основами формирования муниципальных сетей мониторинга.

**Ключевые слова:** экологический мониторинг, урбанизация, экология, малые города, экологическая безопасность.

## **ВВЕДЕНИЕ**

В условиях высокого уровня урбанизации система государственного экологического мониторинга должна включать в себя муниципальный экологический мониторинг. Около 35% городского населения России проживает на городских территориях, где не осуществлялась оценка первостепенной характеристики состояния окружающей среды – состояния атмосферного воздуха.

Для обеспечения экологической безопасности на городских территориях и для принятия управленческих решений с учетом экологического аспекта муниципальными органами властями в рамках природоохранных полномочий должны быть приняты специальные нормативно-правовые акты, закрепляющие систему муниципального экологического мониторинга. В рамках этих актов также должна быть установлена программа муниципального экологического мониторинга.

Оптимизация системы муниципального экологического мониторинга и интеграция с существующими сетями должна строиться на научно-обоснованных методах. В рамках работ должны быть учтены особенности городской территории, особенности хозяйствующих объектов. В основу оптимизации должны войти доступные и достоверные методы такие, как анкетирование населения, анализ функциональной организации территории, моделирование изменения состояния окружающей среды. Дополнительно в рамках улучшения системы должны быть применены современные технологии сбора, обработки, передачи и хранения данных, например на основе «Интернета вещей», а также простимулирован общественный добровольный муниципальный экологический мониторинг.

## **МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ**

Нормативно-правовая база в сфере охраны окружающей среды, экологического мониторинга, труды отечественных и зарубежных авторов в области экологического мониторинга, комплекс документов области исследования. В ходе исследования использовался ряд общенаучных методов исследования как теоретических (анализ, обобщение и др.), так и практических (анкетирование, сравнение и др.). Выбранные методы отвечают основным требованиям разработки схемы сети муниципального мониторинга - достоверность, оперативность, повторяемость, простота и экономическая целесообразность.

## **РЕЗУЛЬТАТЫ**

В ходе исследования были определены основные направления научно-правового положения муниципального экологического мониторинга. В ходе анализа осуществляемого экологического мониторинга был выявлен ряд недостатков, которые не позволяют полноценно реализовать возможную эффективность муниципального мониторинга. Проведенные анкетирование и анализ функционального районирования территории г. Подольск позволили выявить зоны приоритетной организации муниципального экологического мониторинга на территории г. Подольск, среди которых отмечены около 70% территории всего округа.

## **ВЫВОДЫ**

Исследование доказало важность организации муниципального экологического мониторинга во избежание несвоевременного информирования органов власти и населения о состоянии окружающей среды, а также принятия управленческих решений без учета экологического аспекта. В современных реалиях одним из ключевых направлений деятельности на территории города должно быть обеспечение экологической безопасности, что возможно только на основе развитой системы экологического мониторинга.

В ходе исследования были определены основные направления научно-правового положения муниципального экологического мониторинга. Из-за особенностей законодательства в области экологического мониторинга сегодня система экологического мониторинга состоит из разрозненных ведомственных мониторинговых сетей. Позиция муниципального экологического мониторинга не обозначена, однако его организация необходима в рамках реализации природоохранных полномочий органов местной власти. В ходе анализа осуществляемого экологического мониторинга г. Подольск был выявлен ряд недостатков, которые не позволяют полноценно реализовать возможную эффективность муниципального мониторинга. Требуется меры по оптимизации системы. Предложена предварительная оптимальная схема.

Предложенные варианты повышения эффективности должны обеспечить низко затратное и оперативное разворачивание системы муниципального экологического мониторинга. Варианты предложены с учетом современных тенденций развития телекоммуникационных технологий, а также повышения важности экологического просвещения населения. Проведенные анкетирование и анализ функционального районирования территории позволили выявить зоны приоритетной организации муниципального экологического мониторинга на территории г. Подольск, среди которых отмечены около 70% территории всего округа.

## **ЛИТЕРАТУРА**

1. Миронов А.Н., Копылова А.В., Фирсов А.О., Ахметшина А.Б. [ИОТ платформа экологического мониторинга] – Москва, 2018.
2. Наталия Кичата [Анализ оценки экологического состояния городской территории] – Киев, 2019.
3. Экологический паспорт городского округа Подольск – Подольск, 2018.
4. Экологический мониторинг и нормирование [Электронный ресурс] – Открытый доступ:  
[http://oche.kai.ru/files/2009/11/posobie\\_ecomonitiring.pdf](http://oche.kai.ru/files/2009/11/posobie_ecomonitiring.pdf)

## СОЗДАНИЕ ОПОРНОЙ ГЕОДЕЗИЧЕСКОЙ СЕТИ НА ОПОЛЗНЕВЫХ СКЛОНАХ В ВИДЕ ЗАМКНУТЫХ ПОЛИГОНОМЕТРИЧЕСКИХ ЧЕТЫРЕХУГОЛЬНИКОВ

**В.В. Симонян\*, В.И. Волков\*\***

\* *к.т.н., доцент, Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет, 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, 26, Россия*

\*\* *д.т.н., профессор, Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет», 190005, г. Санкт-Петербург, 2-я Красноармейская, 4, Россия*

**Аннотация.** Проведен анализ опорной геодезической сети виде замкнутого полигонометрического четырехугольника, созданного на Карамышевском оползневом склоне в г. Москва для проведения повторных геодезических наблюдений за смещениями оползня. Цель - показать, что построение опорной геодезической сети на оползневых склонах в виде замкнутых полигонометрических четырехугольников может иметь место наряду с другими линейно-угловыми методами.

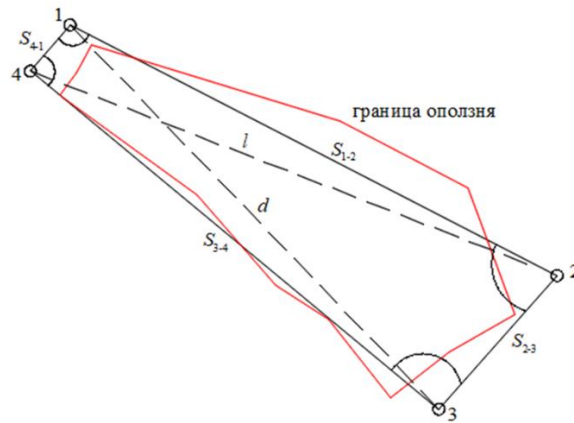
**Ключевые слова:** оползневой склон, опорная сеть, уравнивание, коррелата.

### ВВЕДЕНИЕ

Среди способов построения геодезических сетей наибольшую точность обеспечивают линейно-угловые сети, т. е. оптимальным решением по созданию опорной геодезической сети на оползневых склонах шириной до пятисот метров являются замкнутые полигонометрические четырехугольники [1,2]. Эти опорные сети должны обеспечить наблюдения за деформационной оползневой сетью [3]. Отсюда вытекают задачи, которые требуют своего разрешения: типовая схема построения опорной сети; предрасчет точности определения положения пунктов опорной сети; методика полевых работ; полевые измерения; уравнивание сети; оценка точности сети [4].

### МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Полевые измерения выполняются точными, либо высокоточными электронными тахеометрами «Leica», «Sokkia», «Topcon» и др. При этом подлежат измерению все четыре угла и все четыре стороны (рис. 1).



**Рисунок 1.** Опорная сеть с не измеряемыми диагоналями  $l$  и  $d$  на оползневом склоне Карамышевской набережной (1○, 2○, 3○, 4○ - пункты опорной сети)

В данном полигоне полигонометрии имеются три избыточных измерения, что позволяет надежно контролировать качество полевых работ. Уравнивание этого полигона целесообразно выполнять коррелятным способом метода наименьших квадратов по двум причинам. Во-первых, для вычисления допустимых невязок необходимо составить соответствующее условное уравнение, т.е. выполнить самую важную и трудоемкую часть алгоритма коррелятного способа. Во-вторых, коррелятный способ позволяет получать в ходе реализации алгоритма обратные веса уравненных измерений, сравнение которых с обратными весами неуравненных измерений дает наглядное представление о качестве геометрии запроектированной сети.

При коррелятном способе три условных уравнения поправок в измерения (одно углов и два диагоналей) имеют вид (1):

$$\sum_1^4 v_{\beta} + W_{\beta} = 0; \quad v_{l_1} - v_{l_2} = 0; \quad v_{d_1} - v_{d_2} = 0. \quad (1)$$

Угловая невязка вычисляется по формуле (2)

$$W_{\beta} = \sum_1^4 \beta_i - 360^{\circ}, \quad (2)$$

а допустимое значение угловой невязки (3)

$$W_{\beta_{\text{доп}}} = 2m_{\beta} \sqrt{n}. \quad (3)$$

Линейные (диагональные) невязки равны (7)

$$W_l = l_1 - l_2; \quad W_d = d_1 - d_2, \quad (4)$$

а допустимое значение линейной невязки (5)

$$W_{\text{доп}} = 2\mu \sqrt{\sum R_i^2}, \quad (5)$$

где  $l_1, l_2, d_1, d_2$  – длины диагоналей, вычисленные из соответствующих противолежащих треугольников;  $\mu = m_S$  – СКП единицы веса, которая при априорной оценке точности берется

по паспортным данным тахеометра (в данном случае равна 2 мм);  $R_i$  – коэффициенты соответствующего условного уравнения поправок в измерения.

Система коррелятных уравнений поправок выглядит следующим образом (6):

$$V_{81} = R_{83}^T k_{31}. \quad (6)$$

где  $R_{83}^T$  - транспонированная матрица коэффициентов условных уравнений,  $k_{31}$  – коррелата.

В системе уравнений (6) восемь неизвестных поправок и три неизвестных коррелаты, а число уравнений в системе равно восьми. В связи с этим система имеет бесчисленное множество решений. Для однозначного решения системы на искомые поправки наложим дополнительное условие  $[pV^2] = \min$ , которое позволяет получить уравненные значения измеренных величин с максимально возможным весом [Беликов А.Б., Симонян В.В. Математическая обработка результатов геодезических измерений : учебное пособие // М-во образования и науки Рос. Федерации, Нац. исследоват. Моск. гос. строит. ун-т. 2-е изд. Москва : НИУ МГСУ, 2016. 432 с.]. Поскольку за «единицу веса» приняли равномерно измеренные стороны ( $P_S = 1$ ), то веса измеренных углов  $\beta_i$ , вычисляемые по формуле (7)

$$P_{\beta_{\text{изм}}} = \left( \frac{m_S (\text{мм})}{m_{\beta_{\text{изм}}} (\text{сек})} \right)^2 \quad (7)$$

будут равны  $P_{\beta} = 1$  мм/сек. Тогда, соответственно, обратные веса  $Q_S = \frac{1}{P_S}$  и  $Q_{\beta} = \frac{1}{P_{\beta} (\text{мм/сек})}$ .

Уравненные значения измеренных величин рассчитаем по формуле (8)

$$\bar{\lambda}_i = \lambda_i + V_i. \quad (8)$$

Перейдем к апостериорной оценке точности и вычислим СКП единицы веса  $\mu$  и ее надежность  $m_{\mu}$  по формулам (9):

$$\mu = \sqrt{\frac{[pV^2]}{r}}; \quad m_{\mu} = \frac{\mu}{\sqrt{2r}}, \quad (9)$$

где  $r$  – число избыточных измерений ( $r = 3$ ).

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Для вычисления весов функций уравненных значений измеренных величин и вычисления среднеквадратических погрешностей функций уравненных значений измеренных величин необходимо по уравненным значениям получить координаты пунктов опорной сети. Значения уравненных координат пунктов приведены в табл. 1.

**Таблица 1.** Уравненные координаты пунктов опорной сети

Пункты	X, м	Y, м
--------	------	------



1	+12329,713	-2871,100
2	+12158,594	-2536,812
3	+12066,226	-2617,746
4	+12297,596	-2898,416

Оценка точности опорной сети  $m_F$  выполнена по формуле (10)

$$m_F = \mu \sqrt{Q_F}, \quad (10)$$

где  $\mu$  – СКП единицы веса;  $Q_F$  – обратный вес функции.

Обратный вес функции вычислен по формуле (11)

$$Q_F = f Q_{yp} f^T = \begin{pmatrix} Q_X & Q_{XY} \\ Q_{XY} & Q_Y \end{pmatrix}, \quad (11)$$

где  $f$  – вектор коэффициентов заданной функции (выраженный в линейной форме);  $Q_{yp}$  – матрица обратных весов уравненных измерений;  $f^T$  – транспонированный вектор  $f$ .

Наиболее удаленным пунктом сети от исходного является пункт 3. Матрица  $f$  коэффициентов оцениваемых функций – координат  $X, Y$  пункта 3 (относительно исходного пункта 1 и исходного направления 1-2. За исходное направление 1-2 всегда следует выбирать наиболее длинную сторону четырехугольника) (12):

$$\begin{aligned} F_X &= S_{1-2} \cos \alpha_{1-2} + S_{2-3} \cos(\alpha_{1-2} + 180^\circ - \beta_2); \\ F_Y &= S_{1-2} \sin \alpha_{1-2} + S_{2-3} \sin(\alpha_{1-2} + 180^\circ - \beta_2). \end{aligned} \quad (12)$$

Линеаризуем функции (12) разложением их в ряд Тейлора, ограничиваясь при этом первыми членами разложения. Получим в числовом виде матрицу коэффициентов весовых функций

$$f_{28} = \begin{pmatrix} 0 & -0,577 & 0 & 0 & -0,456 & -0,752 & 0 & 0 \\ 0 & -0,145 & 0 & 0 & +0,890 & -0,659 & 0 & 0 \end{pmatrix}.$$

Весовая матрица результатов измерений (измерения равноточные) равна

$$Q_F = \begin{pmatrix} +1,533 & +0,262 \\ +0,262 & +0,384 \end{pmatrix}.$$

По главной диагонали стоят значения обратных весов координат  $X, Y$  пункта 3 ( $Q_X = 1,5333$  и  $Q_Y = 0,384$ ). Не диагональные элементы - корреляционные отношения координат пункта 3.

Выполним оценку точности сети. Найдем среднеквадратические погрешности координат  $m_X$  и  $m_Y$  пункта 3:

$$m_X = \mu \sqrt{Q_X} = 1,0 \text{ мм} \sqrt{1,533} = 1,2 \text{ мм}; \quad m_Y = \mu \sqrt{Q_Y} = 1,0 \text{ мм} \sqrt{0,384} = 0,6 \text{ мм}.$$

Точечная оценка положения пункта 3 будет

$$M_3 = \sqrt{m_x^2 + m_y^2 - 2m_x m_y} = \sqrt{1,2^2 + 0,6^2 - 2 \cdot 1,2 \cdot 0,6} = 0,6 \text{ мм.}$$

## **ВЫВОДЫ**

Математическая обработка результатов геодезических измерений опорной сети в виде замкнутых полигонометрических четырехугольников по методу наименьших квадратов довольно сложна и требует применения компьютерной техники и соответствующего программного обеспечения. Но при ее наличии задача решается однозначно и, главное, с высокой точностью. Построение опорных геодезических сетей в виде замкнутых полигонометрических четырехугольников для наблюдений за смещениями оползней можно рекомендовать и для других оползневых склонов.

## **ЛИТЕРАТУРА**

1. Зайцев А.К. Трилатерация: монография // 2-е изд., М.: 2018. - 224 с.
2. Зайцев А.К. Научные труды: избранное // М.: 2018. - 376 с.
3. Симонян В.В. Изучение оползневых процессов геодезическими методами: монография // 2-е изд. М-во образования и науки Рос. Федерации, Моск. гос. строит. ун-т. М.: МГСУ, 2015. – 176 с.
4. Симонян В.В., Шмелин Н.А., Зайцев А.К. Геодезический мониторинг зданий и сооружений как основа контроля за безопасностью при строительстве и эксплуатации инженерных сооружений: монография //; под общ. ред. канд. техн. наук, доц. В.В. Симоняна // М-во образования и науки Рос. Федерации, Нац. исслед. Моск. гос. строит. ун-т. 2-е изд. Москва: НИУ МГСУ, 2016. – 144 с.

**ОСНОВНЫЕ ПРИНЦИПЫ АДАПТАЦИИ ТЕХНОЛОГИЙ УТИЛИЗАЦИИ  
ОТХОДОВ БУРЕНИЯ ДЛЯ ЛИКВИДАЦИИ НАКОПИТЕЛЕЙ  
НЕФТЕСОДЕРЖАЩИХ ОТХОДОВ**

**К.С. Ваганова\***, **А.И. Машкова\*\***, **Д.В. Смородин\*\*\***, **О.В. Тупицына\*\*\*\***,  
**В.Н. Пыстин\*\*\*\*\***

*\*магистрант, Самарский государственный технический университет, 443100, Самара, ул. Молодогвардейская, 244, Россия*

*\*\* аспирант, Самарский государственный технический университет, 443100, Самара, ул. Молодогвардейская, 244, Россия*

*\*\*\* соискатель, Самарский государственный технический университет, 443100, Самара, ул. Молодогвардейская, 244, Россия*

*\*\*\*\*д.т.н., профессор, заведующая кафедрой «Химическая технология и промышленная экология», старший научный сотрудник научно-аналитического центра промышленной экологии, Самарский государственный технический университет, 443100, Самара, ул. Молодогвардейская, 244, Россия*

*\*\*\*\*\*к.т.н., доцент, Самарский государственный технический университет, 443100, Самара, ул. Молодогвардейская, 244, Россия*

**Аннотация.** Нефтешлам является сложным по составу и наиболее крупнотоннажным отходом предприятий нефтяного комплекса. Его значительная часть накапливается на протяжении многих лет, так как проблема переработки нефтешламов остается нерешенной. В данной работе предлагается решить проблему с помощью адаптации существующих технологий по утилизации отходов бурения под работу с нефтешламами, для ликвидации образовавшихся за многие годы накопителей.

В настоящее время на территории РФ функционируют около 30 крупных нефтеперерабатывающих завода (НПЗ) общей мощностью свыше 300 млн.т/год. Из-за образования на предприятиях нефтяной промышленности большого количества гетерофазных отходов они занимают одно из лидирующих мест по уровню воздействия на окружающую среду [1].

Наиболее крупнотоннажным отходом нефтедобывающих и нефтеперерабатывающих предприятий – является нефтешлам. Это сложная по химическому составу система, состоящая

из высокомолекулярных соединений нефти, воды и минеральных частиц, которая постоянно трансформируется.

Нефтешламы составляют около 1,5% от мировой нефтедобычи. На предприятиях нефтеперерабатывающего комплекса уже накоплено более 95 млн. т отходов. Значительная часть образовавшегося нефтешлама не перерабатывается, а отправляется в накопители, которые уже занимают территорию свыше 4 млн. м<sup>2</sup> [2].

Нефтешламы собираются и накапливаются в прудах-шламонакопителях. Как правило, все известные шламонакопители пребывают в естественных условиях длительное время. В результате происходит расслоение структуры на слои.

Верхний слой – трудноразделимая вязкообразная эмульсия с содержанием нефтепродуктов от 50 до 75–80%.

Донный слой – осадок, который представлен вязкой однородной смесью с большим содержанием механических примесей (глины, песка, продуктов коррозии резервуаров, ила. Содержание нефтепродуктов в донном слое ниже, по сравнению с верхним слоем. Это обусловлено процессом битуминизации. Из-за длительного нахождения нефтепродуктов в накопителях она окисляются даже при естественных условиях. В результате процесса битуминизации получаются тяжелые углеводороды, которые идентифицируются не как нефтепродукты, а как смолы. Содержание нефтепродуктов в донном слое от 17 до 30%, но при этом очень высокое содержание механических примесей [3].

Шламонакопители обычно открытые, и накопление в них огромного количества жидких и пастообразных нефтешламов, приводит к постоянному загрязнению окружающей природной среды – почвы, поверхностных и подземных вод, а также атмосферного воздуха углеводородами, сероводородом и другими выбросами за счет испарения легких фракций.

Нефтешлам из открытых накопителей может смываться дождевыми и талыми водами, а также в паводок вода может размывать обваловку накопителей и загрязнитель попадет в водные объекты [4].

На отечественных предприятиях проблема переработки нефтешламов остается нерешенной из-за нехватки соответствующих технологий и оборудования. Таким образом, существует острая необходимость разработки методов очистки нефтешламов [5].

В данной работе предлагается решить проблему с помощью адаптации существующих технологий по утилизации отходов бурения под работу с нефтешламами, для ликвидации образовавшихся за многие годы накопителей.

В настоящее время существует достаточно большое количество технологий утилизации отходов бурения. Основные их особенности:

- Временный, краткосрочный период работ (бурение и эксплуатация скважин) при котором образуются буровые отходы;

- Высокое содержание механических примесей, высока влажность до 80-90% и низкое содержание нефтепродуктов 5-7%;

- Образуются чаще всего в удаленных районах, из которых их практически невозможно транспортировать на специализированные объекты [6].

В последней особенности и заключается технологическая общность работы с отходами бурения и работы с застарелыми ило- и шламакопителями. Можно сделать вывод, что способы утилизации накопленных шламакопителей имеют технологическую индифферентность со способами утилизации буровых растворов и для ликвидации рассматриваемых объектов и утилизации накопленных там отходов возможно применение схожих методов.

При работе в удаленных районах лимитирующим фактором является отсутствие инженерной инфраструктуры. В случае с отходами бурения данная ситуация наблюдается как при бурении в удаленных районах, так и при создании новых накопителей для хранения образовавшихся отходов бурения на период пока на территории еще не создана необходима инфраструктура.

При работе с существующими накопителями нефтешламов, которые исторически сформировались на определенных территориях отсутствие инженерной инфраструктуры обусловлено тем, что хозяйственная деятельность на данных объектах велась давно и сейчас единственными свидетелями этих работ являются оставшиеся на данной территории накопители.

Указанный лимитирующий фактор определяет состав технологических операций при проведении работ по обезвреживанию отходов и последующем получении продукта на их основе.

Совокупно все известные технологии утилизации отходов бурения включают следующие этапы:

1 этап - обезвоживание,

2 этап - смешение и агломерация.

Агломерация – процесс смешения, при котором в смесь вводят агенты (цемент, вяжущие на основе гипса, песка), которые создают центры локализации, чтобы смесь проявляла псевдосыпучие свойства. За счет полученных агломератов начинают формировать материал заданных требований [7].

При работе с отходами бурения усреднение состава обеспечивается первым этапом – обезвоживанием, а при работе с накопленными отходами из ило- и шламакопителей для

усреднения состава первым этапом необходимо проводить перемешивание. Это обусловлено естественным расслоением отхода за счет длительного хранения. Если этого не сделать, то в разных слоях будут формироваться разные материалы в разном объеме и не получится их привести к требуемой форме.

Получаем, что технология ликвидации накопителей нефтесодержащих отходов состоит из следующих этапов:

1 этап – усреднение состава и свойств.

Этап возможно проводить разными методами, такими как: использование специализированной техникой; перемешивания методом барботирования и др. Метод подбирается с учетом технологических особенностей расположения накопителя, наличия инфраструктуры (сети автодорог, электроснабжения, водоотведения) с учетом экономической целесообразности.

2 этап - смешение и агломерация.

Во втором этапе, так же, как и с буровым раствором необходимо внесение вяжущих агентов (гипс, цемент, песок и т.п.). Они способствуют созданию центров консолидации структуры последующего продукта. При переработке буровых раствором этим продуктом являются грунты, а из нефтешламов за счет высокого содержания нефтепродуктов можно получить такие продукты как:

- горячий асфальтобетон [8];
- холодный асфальтобетон [8];
- полимербетон [8].

Представленные этапы адаптации технологии утилизации отходов бурения, применительно к объектам хранения нефтесодержащих отходов, были апробированы в условиях существующих нефтешламонакопителей нефтегазовой компании.

Работы проводились с двумя накопителями, которые в настоящее время не эксплуатируются. Первый накопитель был введен в эксплуатацию в 1967 году, а второй в 1965 году. Средняя глубина техногенного образования у первого накопителя 2,4 м, а второго 1,6 м. Строение этих накопителей схожее, защитные экраны были выполнены из слоя глинистого грунта, площадки сооружений обвалованы, имеются ограждения.

Данные объекты являются историческим наследием, оставшимся от прошлой производственной деятельности, в них размещаются жидкие, твердые, и пастообразные отходы 3–5 класса опасности, образованные в результате добычи и первичной подготовки нефти.

На рассматриваемых объектах были проведены геодезические, геологические и экологические исследования.

Геодезические исследования выполнялись с целью получения топографического плана для определения фактической площади загрязнения.

При выполнении инженерно-геодезических работ на объекте использовались спутниковая геодезическая система "Triumph-1" 08463, "Triumph-1" 09138, "Triumph-1 03824".

Топографическая съёмка выполнялась с использованием двухчастотных спутниковых геодезических приемников Javad Triumph-1 и полевых портативных компьютеров (контроллеров) Victor, в режиме RTK относительных спутниковых наблюдений, способом Stop&Go. Топографо-геодезические работы выполнены в соответствии с требованиями СНиП 11-02-96, СП 11-104-97, ГКИНП-02-033-82.

Общая площадь съемки составила 2,5058 га. Масштаб 1:500, в система координат МСК СНГ и Балтийская система высот.

В результате геологических исследований были получены характеристики грунтов на исследуемой площадке и выделены инженерно-геологические слои. Первый слой – почвенно-растительный, второй – нефтешлам, третий - Суглинок коричневого цвета тугопластичной консистенции, с запахом и следами загрязнения нефтепродуктов. Дальнейшие выявленные слои были без признаков загрязнения нефтепродуктами.

Подземные воды на площадке вскрыты на глубинах 5.0–5.5 м, установившийся уровень отмечен на глубинах 2.5-3.0 м.

Гидрогеологические условия проектируемой территории характеризуются значительной сложностью, обусловленной особенностями геологического строения, тектоники, условий питания и разгрузки водоносных горизонтов, а также влиянием многочисленных техногенных факторов.

В границах проектирования выделяют следующие водоносные горизонты и комплексы:

- четвертичный аллювиальный водоносный комплекс, состоящий из современного и верхнечетвертичного горизонтов;
- акчагыльский комплекс;
- татарский водоносный комплекс, состоящий из ряда горизонтов, приуроченных к вятским и северодвинским отложениям.

Экологические исследования включали в себя оценку состояния подземных вод.

Для оценки фактического подземных вод в районе нефтяного амбара были отобраны 3 пробы подземной воды в границах земляного отвода накопителя и две фоновые пробы. Были получены следующие результаты:

Содержание общего железа в пробе из скважины № 1 составляет 0,8 мг/л, что составляет 2,67 ПДК (ПДК – 0,3 мг/л), в пробе из скважины № 2–0,85 мг/л, в пробе из скважины № 3 – 0,7 мг/л что так же превышает нормативное значение (2,83 и 2,33 ПДК соответственно).

Содержание нефтепродуктов в пробах (скважины № 2, 3) превышает нормативное значение (ПДК – 0,3 мг/л) и составляет 1,46 мг/л (4,87 ПДК) и 1,12 мг/л (3,73 ПДК) соответственно.

В соответствии с протоколами количественного химического анализа, превышения по содержанию остальных вредных веществ в подземной воде не выявлены. Однако качественное состояние подземных вод верхнеплиоцен-верхнечетвертичного аллювиального комплекса не соответствует требованиям ГН 2.1.5.1315-03 "Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в воде водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования".

На объекте исследования с целью создания достоверного прототипа, учитывая значительные геометрические размеры исходного массива была устроена разрезная дамба трапециевидного сечения с габаритными размерами по гребню - 4-5 м для удобства маневрирования техники. Усреднение состава и свойств накопителя осуществлялось перемешиванием специализированной техникой всей толщи объекта исследования.

По окончанию усреднения состава и свойств смесь может быть использована во втором этапе ликвидации.

Рядом с накопителем построена площадка с гидроизолированным основанием, по периметру площадки сделана обваловка. Эта площадка используется для проведения второго этапа – смешения и агломерации. На площадку выгружается 10 м<sup>3</sup> нефтешлама и в соотношении 1:1 он перемешивается с доломитовой мукой.

В результате обезвреживания нефтешлама необходимо получить продукт стабильный при естественных условиях. При предлагаемой обработке получился сухой, сыпучий материал, который не трансформируется и остается стабильным.

В дальнейшем при добавлении разных компонентов можно получить разные продукты.

При добавлении горячего битума, при температуре 110 °С, потенциально возможно получить горячий асфальтобетон для последующего использования в дорожном строительстве.

При добавлении холодного битума, которым он является при естественных условиях, без подогрева, потенциально возможно получить холодный асфальтобетон. Существуют ограничения использования данного материала для автодорожного строительства категорированных транспортных магистралей, однако при добавлении в полученную сыпучую смесь отходов корса (кубовые остатки ректификации стирола), либо отходов полимеров (вспененная крошка, пенополиуретан), возможно получение полимербетона.

Доводы, представленные в настоящей статье, были подтверждены результатами, полученными в ходе лабораторных и опытно-промышленных исследований.



В ходе опытно промышленных исследований подтвержден довод о возможности применения основных этапов технологии утилизации отходов бурения в части этапа предподготовки, связанного с обезвоживанием и последующим смешением для агломерации обрабатываемых отходов смеси с различными наполнителями, с целью получения продуктов заданных свойств применительно к технологиям ликвидации накопителей нефтесодержащих отходов. Подтверждение основных принципов адаптации технологий позволило разработать принципиальные технические решения по ликвидации накопителей нефтесодержащих отходов длительного срока пребывания в естественных условиях гетерофазной структуры.

В результате процесса ликвидации накопителя предусмотрено получение продукта заданных свойств. В частности, холодного битума, а также возможность получения минерального грунтового материала для устройства подстилающих дорог низко категорируемых и не категорируемых дорожных объектов.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Разработка способа экологической реабилитации шламонакопителей нефтесодержащих отходов / Г. Г. Попова, А.С. Каськов, Я.Ю. Моисеева, М. А. Яценко // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2012. № S4-19. С. 3–19.
2. НЕФТЕШЛАМЫ КАК ВТОРИЧНОЕ СЫРЬЁ. Журнал «Neftegaz.RU» (№3,5, Апрель 2020). Режим доступа: <https://magazine.neftegaz.ru/articles/pererabotka/543315-nefteshlamy-kak-vtorichnoe-syrye/> (дата обращения: 20.07.2021).
3. Самарина, О. А. Система ликвидации шламонакопителей с использованием группы очистных сооружений крупного промышленного узла / О. А. Самарина, О. И. Кондратьев, А. Н. Сухонослова // Проблемы управления и моделирования в сложных системах: Труды XXI Международной конференции. В 2-х томах, Самара, 03–06 сентября 2019 года / Под редакцией С. А. Никитова, Д.Е. Быкова, С.Ю. Боровика, Ю.Э. Плешивцевой. – Самара: Общество с ограниченной ответственностью "Офорт", 2019. С. 471–474.
4. Горленко Н.В., Шевченко Е.И ПРОБЛЕМЫ УТИЛИЗАЦИИ ОТХОДОВ НЕФТЕДОБЫЧИ НА ПРИМЕРЕ ИРКУТСКОЙ ОБЛАСТИ // XXI век. Техносферная безопасность. 2019. №4 (16). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/problemy-utilizatsii-othodov-neftedobychi-na-primere-irkutskoy-oblasti> (дата обращения: 20.07.2021).
5. Минигазимов, Н. С. Инвестиционная привлекательность методов утилизации нефтесодержащих отходов и ликвидации амбаров-накопителей / Н. С. Минигазимов, Н. Н. Алябьева, Р. Ш. Минигазимов // Башкирский экологический вестник. 2011. № 2(27). С. 54–59.
6. Шорникова Е.А. Некоторые возможные способы утилизации отходов бурения и нефтедобычи <https://neftegaz.ru/science/economy/332591-nekotorye-vozmozhnye-sposoby-utilizatsii-otkhodov-bureniya-i-neftedobychi/>
7. Литвинова Т.А. Современные способы обезвреживания и утилизации нефтесодержащих отходов для ликвидации загрязнения окружающей среды // Научный журнал КубГАУ. 2016. №123. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/sovremennye-sposoby-obezvrezhivaniya-i-utilizatsii-neftesoderzhaschih-othodov-dlya-likvidatsii-zagryazneniya-okruzhayuschey-sredy> (дата обращения: 20.07.2021).

8. Ильина, О. Н. Нефтяной шлам - отход во вторичное сырье для дорожного строительства / О. Н. Ильина, В. В. Силкин // Журнал экологии и промышленной безопасности. 2014. № 1–2. С. 106–107.

## ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ГРАДОСТРОИТЕЛЬСТВА НА ПРИМЕРЕ Г. МОСКВЫ

С.В. Шендяпина\*, К.А. Брехунец\*\*

*\*К.т.н., доцент, Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет), 129337 г. Москва, Ярославское шоссе, 26, Россия*

*\*\*магистрант, Национальный исследовательский Московский строительный государственный университет, 129337 г. Москва, Ярославское шоссе, 26, Россия*

**Аннотация.** В статье особое внимание уделяется экологическим проблемам города, где основным видом антропогенного загрязнения атмосферы является транспортно-дорожный комплекс.

**Ключевые слова:** источник антропогенного загрязнения, экология, транспортно-дорожный комплекс.

### ВВЕДЕНИЕ

На сегодняшний день столица лидирует в решении глобальных и локальных экологических проблем при условии интенсивного развития и экономического роста. Основная задача – сохранение баланса между поддержанием и сохранением природного комплекса Москвы и социально-экономическим развитие города.

Одним из основных источников антропогенного загрязнения природной среды является дорожно-транспортный комплекс. Главными загрязнителями, на долю которых приходится 98% общих объемов вредных выбросов, являются: оксиды углерода, диоксиды серы, оксиды азота и твердые частицы. Именно эти загрязняющие вещества чаще всего превышают допустимые уровни в городских условиях.

Годовой выхлоп одной машины составляет 800 кг оксида углерода, 40 кг оксидов азота и более 200 кг различных углеводов.

Особо опасным компонентом выхлопных газов являются канцерогенные углеводороды, которые в основном встречаются на перекрестках возле светофоров (до 6,4 мкг / 100 м3, что в 3 раза больше, чем в середине квартала).

Уровень загазованности автомобильных дорог и прилегающих территорий зависит от интенсивности движения, ширины и топографии улиц, скорости ветра, доли грузовых автомобилей и автобусов в общем трафике и других факторов.

При интенсивности движения 500 транспортных единиц в час концентрация угарного газа на открытой местности на расстоянии 30–40 м от дороги снижается в 3 раза и достигает нормы. Проблемы с распределением выхлопных газов автомобиля на узких улицах. В результате практически все жители города испытывают на себе вредное воздействие загрязненного воздуха.

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Для оценки количества выбросов вредных веществ в атмосферный воздух от автотранспорта, был выбран участок Ярославского шоссе (дублер) Ярославского района СВАО г. Москвы. На выбранном участке постоянно наблюдается оживленное движение автотранспорта, т. к. это одна из основных крупных трасс в данном районе.

Для расчета количества вредных выбросов был выбран участок, от светофора на пересечении с ул. Малыгинский проезд до светофора перед съездом на Федоскинскую улицу. Расстояние видимого обзора составило примерно 540 м.

Определение количества и типа автотранспорта проводилось 23.05.2021 с 13.30 до 13.50 по Московскому времени. Данные отражены в таблице 1.

Воспользовавшись методикой расчета выброса загрязняющих веществ от автотранспорта, определили объем выделившихся вредных составляющих при нормальных условиях по каждому виду топлива и количество сжигаемого топлива разного вида

Результаты, полученные при расчёте занесли в таблицу 1.

**Таблица 1.** Объем выделившихся вредных веществ

Вид топлива	Количество сжигаемого топлива Q, л	Значение эмпирического коэффициента (K)			Количество вредных веществ, л		
		CO	C <sub>6</sub> H <sub>6</sub>	NO <sub>2</sub>	Угарный газ (CO)	Углеводороды (C <sub>6</sub> H <sub>6</sub> )	Диоксид азота (NO <sub>2</sub> )
Бензин	23,936	0,6	0,1	0,04	14,36	2,39	0,95
Дизельное топливо	2,673	0,1	0,03	0,04	0,26	0,08	0,11
Всего					14,62	2,47	1,06

По объему выделившихся вредных веществ и молекулярной массе вещества рассчитали массу выделившихся вредных веществ (таблица 2)

**Таблица 2. Масса выделившихся вредных веществ**

Вид вредного вещества	Количество вредных веществ, л (объем)	Масса, г	Количество воздуха для разбавления, м <sup>3</sup>	ПДК, мг/м <sup>3</sup>
Бензиновый двигатель				
CO	14,36	23,2	5986,67	3,0
C <sub>6</sub> H <sub>6</sub>	2,39	9,95	308	25,0
NO <sub>2</sub>	0,957	4,43	49000	0,04
			Σ=55294,67	
Дизельный двигатель				
CO	0,27	0,21	113,3	3,0
C <sub>6</sub> H <sub>6</sub>	0,08	0,16	10,4	25,0
NO <sub>2</sub>	0,11	0,14	5500	0,04
			Σ=5623,7	

В итоге общее количество необходимого воздуха для разбавления вредных веществ составило 60918,37 м<sup>3</sup>.

## ВЫВОДЫ

В ходе проведенного исследования установлено, что в наибольшем количестве в атмосферу поступает угарный газ. Остальные элементы имеют средние, но немаловажные по степени опасности показатели. Таким образом, Ярославское шоссе является существенным источником загрязнения атмосферы Ярославского района г. Москвы.

В целях уменьшения загрязнения воздушного бассейна загрязняющими веществами от автотранспорта, предлагаются следующие мероприятия:

- снижение удельных пробеговых выбросов автотранспорта за счет оптимизации режима движения (снижение количества заторов путем увеличения пропускной способности дорог) и т. д.;
- сдерживание темпов роста перевозок на личном транспорте путем повышения комфортности и скорости общественного транспорта;
- улучшение экологических характеристик находящегося в эксплуатации автомобильного транспорта;
- обеспечение высокого качества моторного топлива (бензинов и дизельного топлива)

## ЛИТЕРАТУРА

1. Евсик М.С. Экологические аспекты градостроительства// Молодежь, наука, творчество/Ставрополь, ООО «СЕКВОЯ» 2018. С.70-71.
2. Воробьев А.Е., Сарбаев В.И., Дьяченко В.В., Шилкова О.С. Транспортные магистрали как источник загрязнения окружающей среды. /М.МГИУ.2000.52с

3. Волгин А.В., Волгин Д.А. Загрязнение атмосферы Московского региона транспортом. Международной конференции. "Геоэкологические проблемы современности". Владимир, 2010. С. 63–65.
4. Сафронов Э.А., Хомич В.А., Плешакова О.В. Влияние автотранспортного комплекса на экологию городской среды // Известия вузов. Строительство. – 2001. -№ 2–3. -С.124-129.
5. Методическое пособие по расчету, нормированию и контролю выбросов вредных (загрязняющих) веществ в атмосферный воздух (дополненное и переработанное) Санкт-Петербург, ОАО «НИИ Атмосфера», 2012 г.

## ОБОСНОВАНИЕ ПРИРОДООХРАННЫХ МЕРОПРИЯТИЙ И ТЕХНОЛОГИЙ ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ НЕФТЕГАЗОВЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

**Н. С. Рогова**

*к.т.н., доцент, Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет, 129337 г. Москва, Ярославское шоссе, д.26, Россия*

Площадь нефтезагрязненных земель на территории Ханты-Мансийского автономного округа – Югра на начала 2015 г. составляла 3445 га. За последние годы наметилась тенденция сокращения образования новых нефтезагрязненных участков и ликвидации старых путем повышения надежности работы нефтепромыслового оборудования и возросших темпов рекультивации. В настоящее время применяемые технологии рекультивации не в полном объеме учитывают особенности конкретного участка, вследствие чего проводимые природоохранные мероприятия малоэффективны. Сложившаяся ситуация может быть разрешена путем более глубокого изучения особенностей участка загрязнения, что позволит более детально приспособить существующие технологии рекультивации или предложить новые разработки в этой области.

Сибирский нефтегазоносный бассейн - крупнейший нефтегазоносный бассейн мира, расположенный в пределах Западной Сибирской равнины, на территории которого добывается до 70% российской нефти. Но, несмотря на положительное влияние нефтегазового комплекса на развитие и благосостояние страны, существуют его отрицательные стороны. В первую очередь негативные последствия проявляются в отрицательном воздействии на окружающую природную среду. В настоящее время в этом направлении проводится много работы, но остаются слабые места при освоении месторождений, связанных с возникновением аварийных ситуаций на нефтепроводах и выбросом нефтесодержащих продуктов в окружающую природную среду.

При возникновении аварийной ситуации нефтесодержащие продукты попадают на почву, в реки и водоемы и загрязнению подвергается среда обитания животного и растительного мира. Зона негативного воздействия оказывается значительно шире участка загрязнения.

Для контроля изменения состояния окружающей природной среды при проектировании разрабатывается программа производственного экологического мониторинга как на период строительства, так и на период эксплуатации месторождения. Программа мониторинга предусматривает и возможное возникновения аварийных ситуаций,

классифицируя их по уровню негативного воздействия на окружающую среду. К таким авариям относятся аварии, связанные с разливом нефтепродуктов на склонах и водных объектах, так как в этих случаях нефть может мигрировать на значительные расстояния.

В зависимости от масштаба аварии, физико-географических условий, времени года, распространения разлившихся нефтепродуктов их попадания в водные объекты и т. д. применяются различные технологии ликвидации их последствий. В первую очередь проводятся работы по локализации разлива нефтепродуктов, их распространения по рельефу или водной поверхности озера, реки, болота. Согласно действующих нормативов, время локализации разлива нефти и нефтепродуктов не должно превышать 4 часов на воде и 6 часов на грунте.

Одновременно с восстановлением нефтепромыслового оборудования производится аварийный сбор локализованной нефтесодержащей воды.

После восстановления работы трубопровода и аварийного сбора разлившихся нефтепродуктов проводятся полевые геодезические работы по определению площади загрязнения, глубины проникновения нефтепродуктов в грунтах, дается характеристика растительности, подвергшейся загрязнению и т. д. На основании полевых работ разрабатывается проект рекультивации нефтезагрязненного участка.

После восстановления работы нефтепромыслового оборудования и сбора разлитых нефтепродуктов (все что можно было собрать по горячим следам) проводится полевой обследование загрязненного участка, оценка масштабов и степени загрязнения на основании чего разрабатывается проект рекультивации данного участка. Обобщенная блок-схема основных этапов устранения аварийного разлива нефтепродуктов приведена на рис. 1.

Аварийные ситуации, приведшие к разливу нефтепродуктов и их попаданию на рельеф и водные объекты, требуют проведения рекультивации и восстановления продуктивности природной среды. Выделяют следующие этапы рекультивации:

- *подготовительный* связан с разработкой проекта рекультивации на основе инженерных изысканий и соответствующий требованиям природоохранного законодательства;

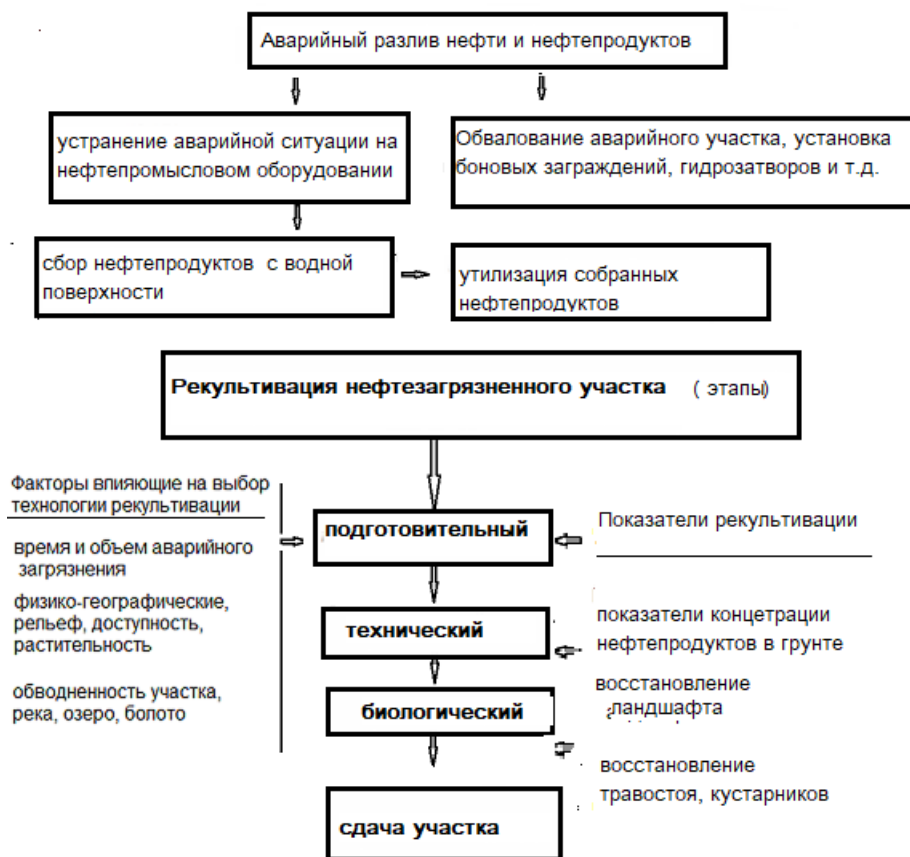
- *технический*, связан с ликвидацией последствий аварийной ситуации: сбором и утилизацией нефтепродуктов, восстановлением и функционированием нарушенной геосистемы;

- *биологический* – завершающая часть проекта рекультивации, которая включает биологическую очистку почв, направленную на восстановление процессов почвообразования и завершение формирования ландшафта озеленения.

Особо негативное воздействие на окружающую природную среду проявляется при загрязнение водных объектов. Локализация, сбор и удаление нефти и нефтепродуктов с



водной поверхности на практике является сложным и трудоёмким процессом вследствие высокой скорости её распространения в особенности при попадании их в ручьи или реки.



**Рисунок 1.** Блок-схема проводимых природоохранных мероприятий при аварийном разливе нефтепродуктов.

Технология сбора нефти с поверхности воды абсорбирующими материалами довольно проста. Абсорбирующий материал разбрасывают в сыпучем виде. Он впитывает нефть и образует «густое» нефтяное пятно на поверхности воды. В качестве абсорбентов применяют пенополиуретан, торф, торфяной мох, опилки, солому и другие вещества, обладающие избирательной абсорбирующей способностью к нефти и нефтепродуктам.

Особые трудности встречаются при очистке водоёмов с малыми глубинами, особенно на болотах. В этих случаях пятно нефти обычно обваловывают и стараются всеми мерами не допустить дальнейшего распространения. Применяют все возможные способы сбора, вплоть до ручных с применением ограниченного числа видов техники, специально предназначенных для работ на болотах. Иногда пятно нефти можно отвести на место, удобное для сбора, прорыв траншеею или котлован.

Метод выжигания нефти («быстрое окисление») не только опасен в пожарном отношении, но часто невозможен из-за позднего обнаружения пятна, когда нефть уже смешалась с водой.

Очень прогрессивным является способ ликвидации загрязнений с помощью бактериальных препаратов, пригодный для очистки как водных поверхностей, так и почвы. Однако в условиях Западной Сибири с коротким летним периодом применение бактериальных препаратов малоэффективно.

Проанализированные в статье технологии устранения аварийных разливов нефтесодержащих продуктов, приведшие к загрязнению природной среды, как на этапе возникновения аварии, так и на этапе проведения рекультивации можно: сделать вывод, что существующие технологии еще далеки от совершенства. Основная проблема при этом заключается в том, что они не в полном объеме учитывают природные условия региона, но и особенности непосредственно загрязненного участка. Загрязнение произошедшее зимой или в летний период значительно отличаются по воздействию на окружающую природную среду. Загрязнение, затронувшее суходол или болото, невозможно оценить однозначно, так как природа значительно многообразней. При всем этом следует четко представлять, что устранение аварийной ситуации и аварийный сбор нефти не является рекультивацией, а лишь ей предшествуют.

## МЕТОДОЛОГИЯ ОЦЕНКИ РИСКОВ ПРИРОДНО-ТЕХНОГЕННЫХ СИСТЕМ ОБЪЕКТОВ НЕЗАВЕРШЕННОГО СТРОИТЕЛЬСТВА

**И.Ю. Яковлева**

*старший преподаватель, Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет, 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д.26, Россия*

**Аннотация.** В статье рассмотрены механизмы образования природно-техногенных систем на объектах незавершённого строительства. Разработана классификация объектов незавершенного строительства по степени их геоэкологической деградации.

**Ключевые слова:** незавершённое строительство, геоэкологическая деградация, остановка строительства.

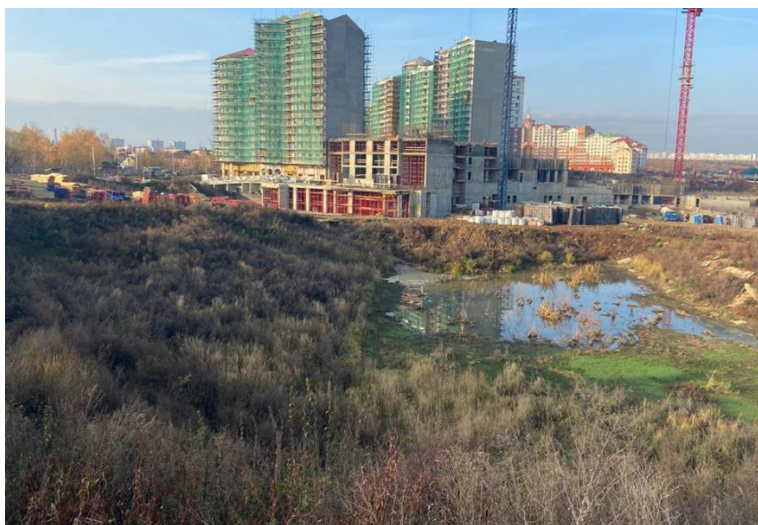
### **ВВЕДЕНИЕ**

Согласно определению, данному в Градостроительном кодексе РФ от 29.12.2004 №190-ФЗ (статья 1, пункт 10), к объектам незавершенного строительства относят как объекты строящиеся, так и те объекты, строительство которых остановлено. Под «природно-техногенной системой (ПТС) следует понимать «совокупность природных, природно-техногенных и техногенных объектов, условия существования которых взаимозависимы и взаимозависимы» [1].

Существует два основных механизма образования ПТС – это «техногенезный» и «инвазионный» [2, 3]. В первом случае во время строительства идет внедрение технических объектов и постепенное преобразование окружающей среды (изначально существующих экосистем) за счет их взаимодействия с этим объектом, вследствие чего возникает ПТС. Во втором случае, при инвазионном механизме образования ПТС, после остановки строительства живые организмы проникают в конструкции и механизмы, тем самым разрушая их и нанося материальный вред. Таким образом, объект незавершенного строительства - это ПТС, которая в процессе строительства или его остановки на срок до 6 месяцев может считаться управляемой системой, после 6 месяцев система переходит в условно управляемую и неуправляемую. В результате этого перехода происходит постепенная геоэкологическая деградация объекта незавершенного строительства. Возникает необходимость в классифицировании объектов незавершенного строительства по степени их геоэкологической деградации и деградации их территории.

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Рассмотрим некоторые объекты незавершенного строительства (рис. 1-4).



**Рисунок 1.** Общий вид объекта №1. (фото автора на 01.08.2020)

**Объект незавершенного строительства №1** расположен в Московской области. В 2016 году была выполнена инженерная подготовка территории строительства, был удален непригодный для строительства грунт, и фактически оставлен котлован, который застраивается постепенно. На 01.08.2020 имеются сданные объекты 1-ой очереди, достраиваются объекты 2-ой очереди и планируется приступить к 3-ей очереди (рис.1). При этом подготовленная территория за 4 года сильно изменилась. Грунт основания – глина полутвердая, практически не пропускает воду, подвержен водной эрозии, вследствие которой происходит постоянное сползание грунта в котлован. На верхней бровке котлована установлен бытовой городок. Основой для которого служат железобетонные плиты на песчаном основании. Наблюдается, вымыв песка из-под плит. Вследствие отсутствия водопроницаемости грунтов, на дне котлована образовалось скопление техногенных вод.

**Объект незавершенного строительства №2.** Жилой восемнадцатипятиэтажный дом с подземной стоянкой расположен в г. Москве (рис. 2 и 3). Строительство начато в 2004 г. остановлено в 2008 г., а с 2014 г. было вновь продолжено и вновь остановлено. На моменты осмотров (август 2020 г. и апрель 2021 г.) строительные работы не проводились, строительство остановлено на высокой стадии. Здание возведено, выполнены фасадные работы. При осмотре видно, что металлические конструкции ржавеют и приходят в негодность, на фасаде присутствуют высолы, в некоторых местах фасад поврежден и разбиты окна. Благоустройство территории выполнено не было. Присутствует поросль деревьев. На большей части территории имеется строительно-бытовые отходы. На территории оставлено

лифтовое оборудование, также в подвешенном состоянии оставлены люльки, которые ранее использовались для монтажа фасада. По границе объекта имеется шпунтовое ограждение. Из-за не засыпанных пазух за шпунтовым ограждением, (за территорией строительства) происходит сползание грунта, на земле видны характерные трещины. По территории объекта вдоль ограждения проходит канава, в которой скапливаются техногенные воды.



**Рисунок 2.** Общий вид объекта № 2 (фото автора 12.04.2021г)



**Рисунок 3.** Территория объекта № 2 (фото автора 12.04.2021г)

*Строительство объекта №3* остановлено на средней стадии (рис. 4). Это недостроенное здание в три этажа с одним подъездом, стены которого выполнены из кирпича, перекрытия – железобетонные плиты. Объект должен был быть сдан в эксплуатацию в 2018 г. На момент обследования (11 августа 2020 г.) простой работ составлял примерно 6 лет. Кирпичная кладка имеет высолы раствора, который вымывается из швов, имеется пустошовка, кирпичная часть фундамента разрушается. Кровля не устроена, верхнее перекрытие разрушается и покрыто травянистой растительностью. Уровень воды в подвале совпадает с уровнем поверхности земли. Территория вокруг заболочена и имеет характерную растительность (ивы, осоки, рогозы и др.), в большом количестве присутствуют лягушки, комары и пр. Строительная площадка объекта полностью не огорожена – через нее ведет тропа от жилых кварталов к магазину. На территории объекта складированы плиты перекрытия, содержится бытовой и строительный мусор. В момент осмотра на верхнем этаже недостроенного объекта находилось дети 8-11 лет. Многочисленные граффити свидетельствуют о регулярном присутствии здесь детей и подростков, а в газете «Вестник



Белоусово» № 5(39) 2019 есть сообщение о несчастном случае, произошедшем с ребенком на данном объекте.



**Рисунок 4.** Общий вид объекта №3 (фото автора).

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

На основе обобщенного анализа объектов незавершенного строительства, расположенных в Москве, Московской и Калужской областях, была разработана их классификация, по степени геоэкологической деградации ПТС, которая позволила осуществить системный анализ большого информационного массива различных объектов незавершенного строительства. В соответствии с разработанной классификацией можно выделить пять типов деградации ПТС:

1. *Нулевая степень деградации ПТС*, как правило, это строящиеся и временно остановленные здания и сооружения (на срок до 6мес). Каких-либо признаков нарушения целостности конструкций не отмечается. Окружающая территория находится под постоянным контролем, целью которого является предотвращение: подтопления территории, распространения нежелательных растений и животных, возникновения бесконтрольных свалок (управляемая ПТС).

2. *Слабая степень деградации ПТС* – здания и сооружения с остановленным строительством (ориентировочно на срок до 3лет), на которых появляются первые признаки разрушения целостности конструкции в виде небольших деформаций, не требующие капитального ремонта, а также появляются локальные места скопления техногенных вод (в любой момент ПТС может стать управляемой).

3. *Средняя степень деградации ПТС* – здания и сооружения с остановленным строительством (на срок до 5 лет), на которых имеются разрушения целостности конструкции, для восстановления которых требуется проведение капитального ремонта. Наблюдаются незначительные подтопления зданий, сооружений и территории, появление нежелательных растений и насекомых, возникновение неконтролируемых свалок (начало формирования неуправляемой ПТС)

4. *Сильная степень деградации ПТС* - здания и сооружения с остановленным строительством (на срок до 25 лет), на которых имеются разрушения отдельных частей конструкций. Значительное подтопление зданий, сооружений и территории. Устойчивое распространение нежелательных растений и животных (кровососущих насекомых, ворон, крыс, бродячих собак). Образование неконтролируемых свалок. Возможно наличие активных геодинамических процессов, таких как эрозии, суффозии и др. (активное формирование неуправляемая ПТС).

5. *Очень сильная степень деградации ПТС*. Здания и сооружения с остановленным строительством (на срок свыше 25 лет). Значительные разрушения всей конструкции или ее крупных частей (возможно частичное или полное руинирование). Здания и сооружения подтоплены, окружающая территория заболочена; распространены растения и животные, характерные для болот: камыши, осоки, ивы, лягушки, змеи и др. Проживание на объекте диких и бездомных животных; появление патогенных организмов и их переносчиков, опасных для жизни людей; загрязнение почв слежавшимся мусором разного генезиса. Наличие активных геодинамических процессов, таких как эрозии, суффозии, «микро-оползни» и др., в результате деятельности которых оказывается негативное воздействие на прилегающие участки окружающей среды (новая неуправляемая ПТС).

Определения степени геоэкологической деградации для каждого объекта незавершенного строительства предлагается рассмотреть через оценку рисков физического, экономического и социального. При этом необходимо отметить, что величина рисков будет зависеть от стадии строительства, наличия на объекте определенных конструкций, временных и постоянных сооружений, а также состояния окружающей территории.

## **ЛИТЕРАТУРА**

1. Суздалева А.Л. Создание управляемых природно-технических систем. М.: ИД ЭНЕРГИЯ, 2015. 160 с.
2. Горюнова С.В., Суздалева А.Л. Создание управляемых природно-технических систем как один из путей сохранения биоразнообразия // Вестник МГПУ. Серия «Естественные науки». 2019. №2 (34) С. 22–30. DOI: 10.25688/2076–9091.2019.34.2.2
3. Суздалева А.Л., Безносков В.Н., Горюнова С.В. Биологические инвазии в природно-технических системах// Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Политология. 2015. № 3. С. 34–39.

## АКТУАЛЬНОСТЬ СОЗДАНИЯ ВОДНЫХ ДЕПОЗИТАРИЕВ В РОССИИ

А.Л. Суздалева

*д.б.н., профессор, Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет, 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д.26, Россия*

**Аннотация.** Строительство водных депозитариев в России обусловлено необходимостью защиты от наводнений, которые наносят значительный экономический ущерб, так и ущерб окружающей среде. Их создание обеспечит, на основе межбассейнового перераспределения вод, преодоление водного дефицита, возникшего в ряде регионов, а также участие России в международном рынке водных ресурсов.

**Ключевые слова:** наводнения, водные депозитарии, гидрогегемон, мобильные водные ресурсы.

### ВВЕДЕНИЕ

Водные депозитарии – это совокупность наземных и подземных резервуаров, основным предназначением которых является накопление и хранение значительных объемов воды. Подобные гидротехнические сооружения возводились, начиная с древнейших времен. Их основным предназначением был запас вод, который расходовался в засушливый сезон. Примером могут служить огромные подземные резервуары под Константинополем, которые после реставрации стали одним из туристических объектов. В настоящее время настоятельная необходимость строительства водных депозитариев обусловлена другими причинами. Первая из них – защита от наводнений, которые наносят значительный экономический ущерб. В России, главным образом, это затраты на восстановление разрушенных объектов капитального строительства и инфраструктуры. Ущерб, наносимый наводнениями окружающей среде подсчитать затруднительно, но он, скорее всего, еще более высок. Так, обводненные почвы иногда на несколько лет становятся непригодными для возделывания сельскохозяйственных культур. Этот же фактор способен вызвать необратимое заболачивание и деградацию природных лесных экосистем на огромных территориях. Строительство водных депозитариев способно значительно снизить вредное воздействие паводковых вод.

Вместе с тем, в современном мире целесообразность строительства водных депозитариев все в большей степени обуславливается развитием мирового кризиса водопотребления. Формально начало его возникновения представляется как точка пересечения графиков: роста общего объема водопотребления и сокращения объема запасов доступных



водных ресурсов. По прогнозам мировой кризис водопотребления возникнет в ближайшие пять - десять лет [1, 2]. Следует отметить, что это положение сугубо теоретическое и не отражает существующих реалий. Уже десятки лет существуют регионы, испытывающие все более острую нехватку водных ресурсов. Эти явления обозначают как региональные кризисы водопотребления. Ситуация в них в большинстве случаев ухудшается в связи с происходящими глобальными климатическими изменениями. Иногда это приводит к трагическим последствиям. Мало известен тот факт, что при подсчете количества жертв различных стихийных бедствий на первое место в XX веке вышли не землетрясения и ураганы, а засухи. Только в 1970-1974 гг. в странах Восточной Африки в результате нехватки воды и голода, вызванного хронической засухой, погибло более 1 млн. человек. Если бы подобные события происходили бы в Западной Европе, то они воспринимались бы как трагедия, потрясая весь мир.

Региональные кризисы водопотребления постепенно охватывают все большие территории и затрагивают все большее количество людей. К 2030 г. проживающее на этих территориях население будет составлять более 40% человечества. На современном этапе употребление недоброкачественной питьевой воды ежегодно становится причиной смерти около 3 миллионов людей. Низкое качество жизни в регионах водного дефицита стимулирует массовую нелегальную миграцию в экономически благополучные страны, которые таким образом косвенно все больше ощущают последствия водного и тесно связанного с ним продовольственного кризиса.

## **РЕАЛЬНЫЕ ПУТИ РЕШЕНИЯ ПРОБЛЕМЫ**

Преодоление острого водного дефицита, возникшего в ряде регионов, возможно только на основе межбассейнового перераспределения водных ресурсов. Оно реализуется в форме бурного развития *международного рынка водных ресурсов*. Экономическая выгода от импорта пресной воды уже сейчас является значимой статьёй пополнения бюджета некоторых стран. Примером может служить Австрия, ежегодный доход которой в этой сфере международной торговли составляет 500 млн долларов. Подобная деятельность развивается и во многих других странах. В настоящее время разработаны многочисленные проекты крупномасштабного перемещения водных ресурсов. Если все они будут введены в эксплуатацию, что, скорее всего, произойдет на протяжении ближайших нескольких лет, ежегодно транспортируемый по ним объем вод будет более чем в 26 раз больше среднегодового стока р. Рейн. А их суммарная протяженность более чем в 2 раза превысит длину экватора Земли.

Страны, контролирующие эти гидротехнические системы, которые можно назвать

*трассами водноресурсной логистики*, значительно укрепят свои геополитические позиции, т.е. станут так называемыми *гидрогегемонами* [3]. Государства, не уделяющие внимание их развитию, напротив, утратят часть своего влияния. Поэтому, вполне объяснимо, что лидирующие позиции в данной сфере занимают США и Китай. В России же большие средства расходуются для того, чтобы избавиться от паводковых вод путем их ускоренного отвода в Мировой океан. Причиной неучастия нашей страны в международном рынке водных ресурсов является устойчивый стереотип о недопустимости их импорта. Этот стереотип сформировался полвека назад, в ходе борьбы с проектом переброски части стока сибирских рек в среднеазиатский регион. Следует вспомнить, что данный проект подразумевал транспортировку лишь избыточных паводковых вод, т. е. мобильных водных ресурсов (МВР). Его реализация не могла ухудшить биоэкологические и геоэкологические условия в бассейнах рек-доноров [4]. Вместе с тем отказ от этого проекта лишил современную Россию действенного инструмента геополитического влияния в обширном регионе, в котором складывающаяся экономическая и социально-политическая ситуация весьма важна для нашей страны.

Возвращаясь к вопросу *о целесообразности возведения водных депозитариев*, следует обратить внимание на два аспекта их функционирования. Во-первых, только наличие водных депозитариев может обеспечить непрерывную поставку вод вне зависимости от сезонных флуктуаций гидрометеорологических условий. Во-вторых, следует вспомнить, что механизм формирования водных запасов страны принципиально иной, чем у других природных ресурсов. Леса, плодородные почвы, полезные ископаемые возникли и постоянно существуют в пределах ее территории. В отличие от этого запасы пресной воды, которыми располагает государство, представляют собой часть планетарного круговорота. Особенно это касается речного стока. Так, молекулы воды, включившиеся в состав одной из сибирских рек, всего несколькими месяцами ранее могли, например, испариться с поверхности Атлантического океана. Следовательно, запасы поверхностных вод страны определяются емкостью котловин ее озер, водохранилищ и русел рек. С этой точки зрения строительство водных депозитариев – это искусственное увеличение объема весьма ценного ресурса страны. Одновременно данную деятельность можно рассматривать и как практическое решение еще одной важной задачи в области геоэкологии (помимо средозащитной роли водных депозитариев), которая заключается в управляемой стабилизации круговорота воды, предотвращения его негативных изменений под влиянием техногенеза биосферы.

*Создание водных депозитариев* может осуществляться как на основе модификации существующих водохранилищ различного предназначения, так и путем создания объектов, предназначенных для этой цели. В обоих случаях эти водоемы должны удовлетворять

следующим требованиям:

- большой вместимостью, позволяющей обеспечивать отведения в них всего объема мобильных водных ресурсов;
- способностью сохранять в течение длительного периода времени приемлемое качество накопленных вод или улучшать его (для выполнения этой задачи в них могут функционировать аэраторы и системы искусственной циркуляции, стимулирующие процессы самоочищения вод);
- возможностью сработки максимально большей части своего объема, т.е. минимальным уровнем мертвого объема (УМО);
- защитой от загрязнения из внешних источников;
- минимальным уровнем потерь воды за счет испарения и фильтрации.

## **УЧАСТИЕ РОССИИ В МЕЖДУНАРОДНОМ РЫНКЕ ВОДНЫХ РЕСУРСОВ**

Неуклонный рост спроса всегда рождает предложение. Поэтому рано или поздно Россия неизбежно станет участником международного рынка водных ресурсов. Но это может произойти по двум различным сценариям. Первый из них, это до определенного времени маскируемое освоение наших водных ресурсов другими государствами, например, путем создания совместных организаций с зарубежными партнерами. Формально провозглашаемой целью их деятельности может, например, быть снижение риска наводнений. Основным доводом целесообразности подобного подхода, скорее всего, будет являться отсутствие у отечественных специалистов опыта созданию систем межрегиональной транспортировки вод. В подобной ситуации интересы страны-донора водных ресурсов отодвигаются на второй план. Создание водных депозитариев и накопление в них мобильных водных ресурсов становится необязательным. Забор воды может осуществляться хищнически с нарушением объема и режима стока рек и действительно сопровождаться широкомасштабным негативным воздействием на окружающую среду. Второй сценарий – это активное вхождение нашей страны в международный рынок водных ресурсов, предполагающий создания собственной инфраструктуры, необходимой для импорта избыточных водных ресурсов.

## **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

Таким образом, строительство водных депозитариев в регионах повторяющихся аномальных паводков дает возможность Российской Федерации одновременно решить две проблемы: минимизировать затопление территорий и создать базовые элементы инфраструктуры международного рынка водных ресурсов. Это позволит стране войти в число основных гидрогегемонов в период кульминации глобального водного кризиса, момент

которого неотвратимо приближается.

## **ЛИТЕРАТУРА**

1. Данилов-Данильян В.И., Демин А.П., Пряжинская В.Г., Покидышева И.В. Рынки воды и водохозяйственных услуг в мире и Российской Федерации. Ч. II // Водные ресурсы. 2015. Т. 42. №3. С. 329–342.
2. Румянцев В.А. Еще раз об участии России в мировом рынке воды // Общество. Среда. Развитие. 2013. №3. С.237-246.
3. Суздалева А.Л. Водноресурсная логистика: международные аспекты // Мировая экономика и международные отношения. 2017. Т.61. №11. С.5-12.
4. Суздалева А.Л., Горюнова С.В. Экологические основы формирования международного рынка ресурсов пресной воды // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия экология и безопасность жизнедеятельности. 2014. №4. С.92-105.

## МЕТОДИКА ОЦЕНКИ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО РИСКА ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПОЧВЫ ПРИ ОСВОЕНИИ УГЛЕВОДОРОДНЫХ РЕСУРСОВ ЧЕРНОМОРСКО-КАСПИЙСКОГО РЕГИОНА

**В.В. Рукавицын\***, **В.Н. Экзарьян\*\***

*\*к.г.-м.н., доцент, Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе (МГРИ), 11799, г. Москва ул. Миклухо-Маклая д.23, Россия*

*\*\*д.г.-м.н., профессор, заведующий кафедрой Экологии и природопользования, Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе (МГРИ), 117997, г. Москва ул. Миклухо-Маклая д.23, Россия*

**Аннотация.** Черноморско-Каспийский регион находится в юрисдикции 6 государств, что рождает ряд сложностей в анализе загрязнения почвы (земель) от добычи углеводородов. Эти сложности могут быть решены при использовании общего универсального подхода, приемлемого для всех участников процесса добычи углеводородного сырья. Для выбора оптимального подхода к рекультивации и нормированию почвы был проведен анализ зарубежного опыта. Исходя из этого анализа, был сделан вывод, что наиболее оптимальным подходом для принятия административных решений относительно загрязнения почвы является оценка экологических рисков. В статье предложена методика оценки рисков загрязнения почвы на этапе проектирования сооружений для освоения углеводородов. Оценка рисков включает предварительную идентификацию загрязнения в зависимости от показателя вредности вещества, определение мест загрязнения и концентрации загрязняющих веществ. Сочетая оценку показателя вредности и вид использования земель можно максимально полно и правильно учесть влияние углеводородного загрязнения почвы на человека, что позволит принимать наиболее эффективные административные решения. Оценка рисков при этом поможет сконцентрировать усилия по рекультивации в тех местах, где она наиболее необходима, без распыления финансовых ресурсов государств.

**Ключевые слова:** рекультивация, загрязнение почвы, оценка рисков

### ВВЕДЕНИЕ

Ключевыми моментами при рекультивации почвы являются устранение последствий загрязнения и приведение территории в состояние, пригодное для его использования в соответствии с целевым назначением. Основой для эффективной реализации природоохранных мероприятий становится оценка опасности уровня загрязнения почвы. Если

рассматривать Черноморско-Каспийский регион и влияние добычи углеводородов в нем на почвенные экосистемы, то важно понимать, что использованием природно-ресурсного потенциала этого региона занимаются сразу несколько государств, это требует разработки универсального подхода к оценке опасности загрязнения почвы при выборе дальнейшего направления ее рекультивации.

## **МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ**

Для выбора оптимального подхода к рекультивации и нормированию почвы был проведен анализ зарубежного опыта. Так как больше всего вопрос нормирования почвы проработан в странах Европейского союза, были проанализированы нормативные документы по оценке качества почвы именно этих стран. На их основе был сформирован результирующий подход, который учитывал бы и Российское законодательство, а также объективные факторы негативного воздействия.

На территории РФ оценка опасности загрязнения почвы основывается на:

- 1) Типе хозяйственного использования территории (почвы населенных пунктов, сельскохозяйственные угодья, рекреационные зоны и т. д.)
- 2) Определении наиболее значимых для данной территории путей воздействия загрязнения почвы на человека.

В соответствии с МУ 2.1.7.730–99 земли делятся на 3 категории:

- 1) Приусадебные хозяйства, огороды, места, примыкающие к водоемам питьевого назначения, детские и лечебные учреждения.
- 2) Сельскохозяйственные угодья, зоны рекреаций, леса.
- 3) Бросовые земли, крупные промышленные объекты, городские зоны промышленной застройки.

При этом категории земель по факту не предполагают особых различий в качестве их оценки, особенно по химическим показателям. В большей степени различие определяется в количестве контролируемых веществ и их допустимом содержании.

Для оценки качества почвы принято сравнение концентрации загрязняющих веществ с фоном или с предельно допустимой концентрацией (ПДК).

Исходя из подходов, принятых в Российском законодательстве, можно сделать следующие выводы:

- 1) ПДК не приемлемы для оценки загрязнения почв участков с целью разработки планов реабилитации земельных отводов на урбанизированных территориях, (несельскохозяйственного назначения). Необходимы другие дополнительные критерии оценки.

2) Нормативы качества почв должны быть различны в зависимости от вида планируемого использования территории.

3) Показатель  $Z_c$  может быть использован только для прогноза влияния почв на состояние здоровья населения, но не для принятия административных решений.

Встает вопрос о создании иных подходов к нормированию качества почвы для выбора способа обращения с ней. Особенно в случае загрязнения урбанизированных территорий.

В европейском законодательстве земли также делятся на категории. Однако деление на категории предполагает и различные значения ПДК для каждой. Это и является основой применения рискованной оценки состояния почвы. Однако европейское законодательство в вопросе загрязнения почвы микроорганизмами и радионуклидами разработано намного слабее российского.

В случае загрязнения почвы микроорганизмами и радионуклидами для оценки опасности загрязнения также необходимо определять пути поступления каждого конкретного загрязнителя в организм человека. При этом по МУ 2.1.7.730–99 микробиологическое загрязнение по-разному нормируется для 3-х категорий земель.

## **РЕЗУЛЬТАТЫ**

Исходя из рассмотренных вариантов нормирования, можно сделать вывод, что заключение о санитарном состоянии почв обследуемой территории должно даваться на основании результатов проведенных комплексных исследований с учетом:

1. Санитарно-эпидемиологической ситуации в районе обследования;
2. Требований, предъявляемых к уровням загрязнения почв в зависимости от их хозяйственного использования;
3. Общих закономерностей, определяющих поведение химических, элементов и соединений - загрязнителей в почве.

Для того, чтобы все эти требования свести в единый параметр, позволяющий принимать административные решения и производить зонирование территории предлагается производить оценку экологических рисков. Процессы оценки рисков и оценки воздействия на окружающую среду имеют общую основу. Оба инструмента работы являются в высшей степени междисциплинарными. ОВОС и оценка рисков основаны на очень похожей концепции и в целом имеют те же цели.

Предложенная методика оценки экологического риска на этапе проектирования во многом сопряжена с оценкой воздействия на окружающую среду.

Основная суть методики состоит в том, чтобы выявить и оценить факторы, которые являются значимыми с точки зрения их воздействия на окружающую среду. Для этого

используется универсальный матричный метод. Основным принцип его работы заключается в расчете индекса риска, выводящийся из бальной оценки. Он может быть количественно оценен на основе расчета индивидуального риска для каждого выявленного негативного воздействия на окружающую среду. Спецификация таких влияний основана на предложении авторов. Для каждого из выбранных факторов были выбраны критерии его оценки с точки зрения негативного воздействия и с точки зрения вероятности наступления такого события, т. е. риска.

В качестве негативных факторов в случае определения загрязнения почвы предлагается использовать показатели, характеризующие химическое, микробиологическое и радиоактивное загрязнение.

Вероятность оценивалась, как возможность неблагоприятного воздействия вследствие аварии или нарушения правил безопасного для окружающей среды освоения углеводородов. Для оценки значимости вероятности она была разделена на четыре уровня.

Последствие возникает после того, как негативный фактор воздействует на окружающую среду. Последствия неблагоприятного воздействия необходимо исследовать на разных уровнях. Например, ущерб здоровью человека рассматривается на индивидуальном уровне, а экологический ущерб обычно рассматривается на уровне популяций, видов или сообществ.

Для определения самого негативного воздействия и перевода его в бальную оценку его влияние было также условно разделено на 4 уровня (0,25; 0,5; 0,75; 1). Для определения негативного воздействия каждого фактора и учета всех описанных выше особенностей предлагается использовать специальный комплексный показатель [4].

Так как оценка рисков прежде всего используется на этапе определения инвестиций для обоснования тех или иных проектных решений, лучше было бы приводить ее к финансовым показателям. Т. е. итоговая оценка должна в денежном выражении показывать, к каким финансовым потерям в отношении к окружающей среды приведет освоение углеводородов в той или иной местности.

Но здесь возникает следующий вопрос. Так как нормирование происходит по санитарным показателям, отталкивается оно от влияния загрязнения на здоровье человека. Но как можно в финансовых показателях оценить влияние на здоровье? Такая нормативная база в РФ пока отсутствует. Однако имеется судебная практика. Так в 2018 году было проведено масштабное исследование, посвященное практике назначения судами сумм компенсации морального вреда при причинении вреда жизни и здоровью граждан [3].

Исходя из результатов исследования, можно привести стоимость вреда здоровью человека в денежное выражение.



Зная денежное выражение вреда здоровью, можно оценить ущерб от загрязнения почвы, используя санитарно-эпидемиологические критерии.

Исходя из этого подхода для оценки ущерба загрязнения почвы здоровью людей необходимо учитывать следующие показатели:

- 1) Средняя стоимость причинения тяжкого вреда здоровью, равная по 192986,52 руб./чел.
- 2) Площадь загрязненных почв (земель) каждым показателем.
- 3) Количество людей, проживающих в зоне воздействия загрязнения.
- 4) Коэффициент пересчета в зависимости от степени загрязнения. Для определения этого коэффициента должны быть учтены:
  - a. хозяйственное использование территории;
  - b. наиболее значимые для данного вещества пути воздействия загрязнения почвы на человека;
  - c. уровень загрязнения исходя из влияния на здоровье человека кратности превышения ПДК для каждого показателя;
  - d. вид загрязнения (химическое, микробиологическое, радиоактивное).
- 5) Коэффициент пересчета в зависимости от периода времени по восстановлению загрязненных сельскохозяйственных земель. Варьируется от 0,9 при восстановлении в течение 1 года до 10,0 при восстановлении более 31 года [1].
- 6) Коэффициент экологической ситуации и экологической значимости территории. Варьируется от 1,1 до 2,0 [1].
- 7) Коэффициент пересчета в зависимости от глубины и степени загрязнения земель. Варьируется от 1,0 при загрязнении 0–20 см, до 2,0 при загрязнении более 150 см [1].

Далее размеру платы за ущерб присваивается балльная оценка в зависимости от конкретного воздействия, после чего возможно осуществить оценку экологических рисков. С учетом того, что вероятность возникновения негативного события и сам ущерб выражаются в баллах от 0,25 до 1,0. Матрица рисков представлена в таблице 1.

**Таблица 1.** Матрица анализа экологического риска загрязнения почвы.

		Ущерб			
		Незначительный 0,25	Низкий 0,5	Средний 0,75	Высокий 1
Вероятность	Крайне маловероятно 0,25	0,0625	0,125	0,1875	0,25
	Маловероятно 0,5	0,125	0,25	0,375	0,5

Вероятно 0,75	0,1875	0,375	0,5625	0,75
Очень вероятно 1	0,25	0,5	0,75	1

Исходя из матрицы рисков (табл.1.), риск ниже 0.25 оценивается как незначительный, от 0,25 до 0,75 – как умеренный, выше 0,75 – как неприемлемый (опасный). В итоге в случае незначительного риска можно использовать почвы (земли) без ограничений, в случае умеренного риска – необходимо разработать комплекс защитных мероприятий, в случае неприемлемого риска освоение возможно только в случае масштабных инфраструктурных мероприятий по нейтрализации негативных воздействий.

Оценка рисков, помимо зонирования территории, позволяет проводить менеджмент загрязненных углеводородных участков. Управление загрязненными участками должно проходить по следующей схеме: регистрация загрязнения → оценка риска загрязнения → рекультивация территорий, где риск превышает пороговое значение → мониторинг за ходом рекультивации.

## **ОБСУЖДЕНИЕ И ВЫВОДЫ**

Черноморско-Каспийский регион находится в юрисдикции 6 государств, что рождает ряд сложностей в анализе загрязнения почвы (земель) от добычи углеводородов. Эти сложности могут быть решены при использовании общего универсального подхода, приемлемого для всех участников процесса добычи углеводородного сырья. Таким подходом может стать оценка рисков загрязнения почвы при предварительной идентификации загрязнения в зависимости от показателя вредности вещества, места загрязнения и его концентрации. Сочетая оценку показателя вредности и вид использования земель можно максимально полно и правильно учесть влияние углеводородного загрязнения почвы на человека, что позволит принимать наиболее эффективные административные решения. Оценка рисков при этом поможет сконцентрировать усилия по рекультивации в тех местах, где она наиболее необходима, без распыления финансовых ресурсов государств.

## **ЛИТЕРАТУРА**

1. Письмо Минприроды N 61–5678 от 27 декабря 1993 года. "Порядок определения размеров ущерба от загрязнения земель химическими веществами"
2. Кузнецов П.Д. , Ксандопуло С.Ю. , Одинцов С.И. Риски опасных производств (анализ, оценка, управление). Краснодар: ИД ЮГ (Kuznetsov P.D., Ksandopulo S.Yu., Odintsov S.I. Riski opasnykh proizvodstv (analiz, otsenka, upravlenie). Krasnodar: ID YuG), 2010. 238.

3. Нестеров А., Соколова М. Компенсация морального вреда при причинении вреда жизни и здоровью: практические итоги после 25 лет существования института в РФ. (Nesterov A., Sokolova M. Kompensatsiya moral'nogo vreda pri prichinenii vreda zhizni i zdorov'yu: prakticheskie itogi posle 25 let sushchestvovaniya instituta v RF.) 2018 URL: <http://www.sila-zakona.ru/images/docs/booklet.pdf> (дата обращения 10.05.2021)
4. Экзарьян В.Н., Рукавицын В.В. Методика оценки риска от загрязнения окружающей среды в результате аварий на опасных промышленных объектах. Разведка и охрана недр, №1 (Ekzar'yan V.N., Rukavitsyn V.V. Metodika otsenki riska ot zagryazneniya okruzhayushchey sredy v rezul'tate avariyn na opasnykh promyshlennykh ob"ektakh. Razvedka i okhrana neдр, №1), 2021. 66–69.
5. AusAID (Australian Government), Risk Analysis Framework. Commonwealth of Australia, Australia. URL: [www.ogtr.gov.au/internet/ogtr/publishing.nsf/content/raf-3/\\$FILE/raffinal2.2.pdf](http://www.ogtr.gov.au/internet/ogtr/publishing.nsf/content/raf-3/$FILE/raffinal2.2.pdf) (дата обращения 10.05.2021)
6. Savelev P.M, V.V Rukavitsyn, A.K Akhmadiev, V.N Exarian. Methodology for Assessing Environmental Risks in The Design of Hydrocarbon Deposits in The Arctic Region. URL: <https://www.earthdoc.org/content/papers/10.3997/2214-4609.202150058> (дата обращения 10.05.2021).

**ТЕХНОЛОГИЯ И РЕЖИМ ЭКСПЛУАТАЦИИ ПОЛИГОНОВ ДЕПОНИРОВАНИЯ  
ИЛОВЫХ ОСАДКОВ КАК ВАЖНЕЙШИЕ ФАКТОРЫ ФОРМИРОВАНИЯ  
ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ ОКРУЖАЮЩИХ ТЕРРИТОРИЙ**

П.И. Кашперюк\*, Е.И. Пупырев\*\*, А.А. Лаврусевич\*\*\*, В.С. Крашенинников\*\*\*\*

*\*к.г.-м.н., доцент, Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет, 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, 26, Россия*

*\*\*д.т.н., профессор, директор АНО «Информационный центр в проектировании», 127083, г. Москва, ул. Мишина, д.56, стр.2, Россия*

*\*\*\*д.г.-м.н., профессор, Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет, 129337, Москва, Ярославское шоссе, 26, Россия*

*\*\*\*\*к.г.-м.н., главный инженер ООО Научно-производственная фирма «Специальные изыскания для высотного строительства», 117393, Москва, ул. Архитектора Власова, 45А, Россия*

**Аннотация.** Сооружение депонирования осадка сточных вод было построено в конце прошлого, начале нынешнего века для освобождения земли под строительство нового жилого комплекса Марьинский парк. Для своего времени и по сегодняшний день это уникальное инженерное сооружение хранит более двух миллионов тонн обезвоженного осадка хозяйственно-бытовых сточных вод. В процессе развития города Москва возникла необходимость оценить геоэкологическое состояние сооружения депонирования осадка сточных вод в районе Марьинского парка. Сделана попытка выявления основных геоэкологических факторов, влияющих на трансформацию физических и механических свойств депонированных грунтов и установление причин, вызывающих увеличение фактических сроков их литификации при несоблюдении технологии их депонирования. Отмечается, что для каждого полигона депонирования грунтов характерны свои индивидуальные инженерно-геологические условия территории. Учитывая, что наиболее интенсивное разложение продуктов загрязнения и литификация депонированных осадков происходит в аэробных условиях, указывается на особую роль гидрогеологических условий на полигонах депонирования. Результаты натурных исследований и их теоретическое обоснование показывают, что вопросы изучения особенностей состава, основных физических и механических свойств грунтов на протяжении их депонирования в городских условиях, являются важнейшими в установлении формирования геоэкологических условий крупных городов. Полученные результаты имеют значение как для инженерно-геологической и гидрогеологической оценки условий территорий с накопленным экологическим ущербом, так

и для рассмотрения их с геологических позиций. Такой фактор антропогенного воздействия на грунтовую сферу оснований как гидрогеологический режим подземных вод в случае полигонов депонирования является типичным геоэкологическим фактором, который определяет гомеостаз и его трансформации при антропогенной нагрузке в городских экосистемах. Обоснована недопустимость отступления в строительной практике от предусмотренных проектных решений, определяющих технологию и режим эксплуатации полигонов осадков сточных вод.

**Ключевые слова:** иловый осадок, депонирование, трансформация инженерно-геологических свойств, геоэкологические особенности, продление накопленного экологического ущерба, экологический анализ.

## **ВВЕДЕНИЕ**

Проблема безопасной ликвидации накопленного экологического ущерба при повторном освоении старых (давно выведенных из эксплуатации) городских территорий, используемых в прошлом в качестве полей фильтрации канализационных вод и городского водостока, остается и сегодня актуальной для крупных мегаполисов. Повторное освоение подобных территорий неминуемо приводит к необходимости захоронения иловых остатков при рекультивации прямо на месте или, после частичной утилизации, депонировании большей части осадка на специальных полигонах [2, 4].

Так, в г. Москве, в самом конце прошлого века, при строительстве крупного жилого микрорайона «Марьино» на территории бывших полей фильтрации, при невозможности использования толщи илового осадка в качестве грунтов основания строящихся жилых корпусов, было принято решение об экскавации ранее захороненных осадков из котлованов под строящиеся здания и захоронении их на соседней территории в районе «Капотня» на специально оборудованном полигоне в геотубах из геотекстиля. Хранилище было размещено в парковой зоне жилого района «Марьинский парк» на удалении 500 м от реки Москвы, в 200 м от жилой застройки. Это уникальное в мировой практике инженерное решение.

**Условия депонирования и характер трансформации геоэкологических условий территории.** Для понимания условий депонирования осадков сточных вод рассмотрим основные особенности инженерно-геологических условий оборудованного полигона.

С поверхности до глубины 0,9-6,0 м участок сложен насыпными грунтами (tO<sub>IV</sub>), состоящими из песка средней крупности, неоднородного, с примесью органики, средней плотности, влажного, местами в нижней части слоя водонасыщенного, местами дряблого, с включениями до 10% щебня и дресвы, с единичными обломками бетона, с комьями и прослойками суглинка лёгкого песчанистого, мягкопластичного, местами текучепластичного,

с низким содержанием органического вещества.

В западной части участка в районе скв. 28 и 29 под песками на глубине 4,5-5,0 м. залегает слой, толщиной 1,0-1,5м, современных техногенных грунтов, состоящих из суглинка легкого песчанистого, тугопластичного, с тонкими прослойками, твердой консистенции, комковатого, черного, с тонкими линзами и прослойками песка мелкого, средней плотности, влажного, с примесью до (27%) органического вещества.

В пределах секций депонирования осадков, под слоем защитного перекрытия(в секции 1 этот слой отсутствует) из охарактеризованных выше насыпных песков, под сеткой из геотекстиля, до глубин 5,9 - 10,5м залегает толща перемещенного илового осадка, состоящего из суглинка, тяжелого песчанистого, преимущественно текуче-пластичной консистенции, темно-серого, местами черного, с примесями или низким содержанием органического вещества (77% образцов), с включением до 10% дресвы и гравия, с частыми, хаотически расположенными линзами песка пылеватого, рыхлого, водонасыщенного, с отдельными прослоями и комьями глины легкой песчанистой, полутвердой, редко твердой консистенции, с высоким содержанием органического вещества. На отдельных участках в нижней части толщи залегают суглинки, легкие песчанистые, комковатые, тугопластичные, с примесью органического вещества, темно-серые, с включениями дресвы и мелкого щебня (до 5%), с тонкими прослойками песка средней крупности, средней плотности, влажного, и супеси пластичной. Подошва этих отложений залегает на отметках 111,61 – 117,72м.

Исследование строения и состава депонированных грунтов иловых осадков на полигоне показали, что процесс экскавации, транспортировки с полей фильтрации и захоронения этих грунтов, относит их к категории перемещенных и исключает возможность установления закономерности их формирования и пространственных условий залегания, которые имели место на рекультивируемых полях фильтрации до перемещения. Что же касается состава иловых осадков, то в целом он мало изменился, при незначительном количестве примеси, вмещающих песков и гравийно-галечных включений аллювиальных отложений, частично захваченных с полей фильтрации.

Согласно материалам изысканий, по *гранулометрическому составу* в иловых осадках преобладают суглинок тяжелый песчанистый – 56,1%, и глина легкая песчанистая – 19,7%, на долю других по составу грунтов (глина тяжелая, суглинок легкий и супесь) – приходится всего 24,2% (10,6%, 10,6% 3,0% соответственно). В количественном отношении *органики* в этих грунтах содержатся от 5,0% до 47,0%, то есть от примеси до высокого его содержания.

Из-за несоблюдения режима депонирования грунтов на полигоне, отсутствия дренирования (сбора и откачки подземных вод) грунтов, большая часть депонируемых глинистых грунтов обводнены и находятся в текучем или текуче-пластичном состоянии. Лишь

незначительные объемы иловых осадков находятся в мягко-пластичном состоянии, и только в отдельных случаях, на различных глубинах встречаются маломощные участки глин тугопластичной и редко даже твердой консистенции (до 13,4% встречаемости). По всей видимости, глины твердой консистенции в депонированной толще, приобрели свою консистенцию еще находясь на полях фильтрации. Наши исследования состава депонированных грунтов показали, что все они содержат органические включения различной степени разложения.

Рассматривая *физико-механические* свойства депонируемых грунтов, следует отметить, что, не смотря на более чем двадцатитрехлетнее депонирование, сколько-нибудь видимой их литификации, не обнаруживается. Их естественная влажность составляет от 32,9% до 193,4% при среднем значении 55,0%, а степень водонасыщения составляет 0,95.

То есть, срок депонирования этих грунтов никак не повлиял на улучшение их физических и механических свойств, что, по-видимому, обусловлено их водонасыщенностью, связанной с нарушением режима функционирования полигона, предусмотренного проектом, и, в частности отсутствием гидроизоляции и дренажа.

Отсутствие какой-либо временной трансформации основных свойств исследуемых грунтов в теле полигона, по-видимому связано с подтоплением территории полигона депонирования осадков полей аэрации и в результате формирования в толще депонированных грунтов анаэробных условий, не приводящих к разложению органики и должному газовыделению, в целом свидетельствует о консервации депонированных грунтов и значительному удлинению сроков литификации илового осадка.

Как показали измерения концентрации металлов, мышьяка, полигон находится в удовлетворительном экологическом состоянии, в таком же, как и грунт вне тела полигона.

Токсикологическое состояние полигона находится на уровне окружающей природной среды. Это показывают результаты анализов грунта на ОМЧ, яйца гельминтов, дафнии, хлорелла, отобранного из скважины как внутри, так и вне полигона.

Радиационный фон на полигоне находится в пределах природного фона данной территории Москвы.

Приведённые результаты исследований в достаточной степени коррелируют с материалами ряда исследователей, в частности А.М. Дрегуло, В.М. Питулько, О.Е. Ясодиной [1, 3, 5], утверждающими, что отклонения в технологии эксплуатации полигонов депонирования и несоблюдения проектных решений при их строительстве приводит к значительному увеличению сроков эксплуатации таких объектов, накоплению экологического вреда и сопровождается дополнительными необоснованными экономическими затратами.

## **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

1. Целью любого депонирования отходов городского хозяйства является скорейшая ликвидация накопленного экологического ущерба и ввод отведенных под захоронение участков в дальнейшую эксплуатацию как геоэкологически чистых территорий.

2. Многочисленные разработки различных исследователей свидетельствуют, что основным фактором, препятствующим процессу разложения органических примесей в осадках сточных вод и литификации их минеральной составляющей, являются анаэробные условия их хранения. В связи с этим проектирование и строительство современных полигонов депонирования осадков сточных вод предполагает водопонижение существующих подземных вод в пределах полигона депонирования и поддержание аэробных условий в толще депонированных осадков на весь период эксплуатации сооружения депонирования.

3. Отсутствие противofильтрационных экранов и дренажной системы на исследованном полигоне депонирования осадков полей фильтрации привели к полному подтоплению и обводнению толщи захороненных грунтов на более чем 25-летний период эксплуатации полигона. Произошла консервация грунтов депонирования, не приведшая к изменению их физико-механических свойств в сторону упрочнения грунтов, а наоборот, за счет обводнения и изменения состояния илистых грунтов до текучепластичного и текучего, ухудшило их прочностные и деформационные свойства по сравнению с первоначальным, сформировавшимся на полях фильтрации в инфильтрационных условиях.

4. Несмотря на вышеперечисленное, полигон не представляет бактериологической и токсикологической опасности. Почва полигона либо не опасная, либо умеренно опасная. При полном перекрытии полигона неопасным грунтом полигон может быть использован для целей рекреации, а геологическое строение и физико-механические свойства депонированных грунтов полигона допускают передвижение по нему легкой техники и строительство временных сооружений.

## **ЛИТЕРАТУРА**

1. Дрегуло А.М. Трансформация иловых карт в объекты накопленного экологического ущерба: риски, факторы, техногенез /А.М. Дрегуло // монография, - М.: Издательский дом "БИБЛИО-ГЛОБУС", 2019 – 270с.
2. Потапов П.А., Пупырев Е.И., Потапов А.Д. Методы локализации и обработки фильтрата полигонов захоронения твердых бытовых отходов. Монография. – М.: Изд-во АСВ, 2004. – 168с.
3. Питулько В.М. Теоретические аспекты экологического риск-анализа Техногенного воздействия от объектов накопленного экологического вреда/В.М. Питулько, А.М. Дрегуло, В.В. Кулибаба//Журнал естественных исследований. 2017. Т.2. №3. с.9-24.
4. Schmauly H./Innovationen In der Abwassertechnik/Korrespondenz Abwasser/1999, 46 №9, s.1340-1345
5. Ясодина О.Е., Суржко О.А., Пахомова Н.Е. Эколого-экономическая оценка предотвращения ущерба от сброса сточных вод /Безопасность жизнедеятельности охраны труда и окружающей среды// 1998, №2, с.44-46



## МОНИТОРИНГ ДАМБЫ ХВОСТОХРАНИЛИЩА ЭРДЭНЭТ (МОНГОЛИЯ)

Н.А., Орлова\*, Б. Жаргалсайхан\*\*

*\*инженер-геолог АО «Центральное ПГО», 115191, г. Москва, 2-я Рощинская 10; аспирант, Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет, 129337, г. Москва, Ярославское ш., д. 26, Россия*

*\*\* аспирант, Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет, 129337, г. Москва, Ярославское ш., д. 26, Россия*

**Аннотация.** Проведены экологические исследования в районе хвостохранилища горно-обогатительного комбината медно-молибденовых руд Эрдэнэт (Монголия). Отмечено загрязнение поверхностных и подземных вод по отдельным компонентам на расстоянии до 3 км от хвостохранилища, загрязнение почвенного покрова и снижение плодородия на расстоянии до 25 км. Для улучшения экологической ситуации в районе хвостохранилища предложено сократить его пляж путем увеличения намыва низовой дамбы и подачи воды в хвостохранилище, обеспечить подавление пыления и обозначить зону влияния хвостохранилища на почвенно-растительный покров с целью недопущения выпаса скота и проживания людей на этой территории.

**Ключевые слова:** Эрдэнэт, хвостохранилище, р. Хангал, мониторинг, окружающая среда.

### ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время ведутся работы по увеличению высоты намывной дамбы хвостохранилища горно-обогатительного комбината Эрдэнэт (Монголия). В хвостохранилище на протяжении 47 лет складировались отходы производства медно-молибденового концентрата. Сырье подвергалось механическому и химико-физическому воздействию, а в качестве хвостохранилища использовался природный резервуар – понижение рельефа, в данном случае, овражно-балочная сеть с созданием упорной призмы. Техногенные отходы обогащения - многоярусные, намывные с естественным отмывом мелких фракций. Защитный экран есть только на пионерной дамбе, пляж регулярно обновляется пылеватым песком, благодаря новым поступлениям от переработки. Пляж обводнен частично, летом он на большей части высушен. Во время работы зимнего трубопровода вода не доходит до середины пляжа, и остро стоит задача обеспечения водой - как одна из проблем хвостохранилища. Благодаря сильным ветрам песчаная поверхность подвержена пылению, почвенно-растительный покров загрязнен. Ложем хвостохранилища являются суглинки и

глины мощностью до 10 м, которые создают «защитный экран», но в северной части ложе представлено галькой и песком, и фильтрация загрязняющих веществ происходит в подземные воды. Хвостохранилище находится в районе третьего по численности города Монголии, вокруг осуществляется выпас скота, расположены многочисленные юрты.

По состоянию на 2021 г. общая площадь хвостохранилища составляет 1862,2 га, дамба имеет высоту 1305 м, площадь – 140,1 га, площадь пляжа намыва – 1373,7 га.

В течение четырех десятков лет хвостохранилище оказывает негативное воздействие на экосистему города и окрестности, комплексных экологических исследований территории не проводилось.

## **МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ**

Основные контролируемые параметры для обеспечения безопасности дамбы хвостохранилища – это комплекс постоянных наблюдений и контроль за технологическими процессами и параметрами, состоянием гидротехнического сооружения и характером воздействия хвостохранилища на окружающую среду.

В гидрологическом отношении хвостохранилище горно-обогатительного комбината Эрдэнэт и расположено выше по течению р. Хангал - притока р. Орхон. В пределах изученной территории водная сеть включает небольшие реки и ручьи, такие как Эрдэнэт, Говиль, Зул и его приток Бунг-Вэлли. Основание хвостохранилища занимает пойму, первую надпойменную террасу и склоны долины р. Зул. Подземные воды приурочены к аллювиальным отложениям, намывным отложениям и трещинно-жильным водам скальных пород. Водоупор между этими горизонтами отсутствует и образуется единый безнапорный водоносный горизонт, гидравлически связанный с рекой. В период с 2020 по 2021 гг. были отобраны пробы воды из тела дамбы, пляжа, дренажных и фильтрационных колодцев, а также из двух скважин выше хвостохранилища (фоновые пробы) и был проведен общий химический анализ.

При эксплуатации больших хвостохранилищ образуются огромные намывные пляжи, из которых из-за сильных ветров (при ветровой эрозии - дефляции) происходит интенсивное распространение загрязняющих веществ. Несмотря на проводимые мероприятия по пылеподавлению, пыль уносится ветром и откладывается в почвенном покрове. В районе хвостохранилища горно-обогатительного комбината Эрдэнэт был проведен гранулометрический анализ пыли, химический состав и исследована область ее распространения. Площадь распространения белой пыли, приносимой от хвостохранилища, составляла 1400 га. В северо-западном, северном и северо-восточном направлениях (преобладающие направления ветров) при скорости ветра более 5 м/с максимальное распространение пыли достигало 25 км.

## ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ И ВЫВОДЫ

Хвостохранилища представляют собой природно-технические системы. В тех случаях, когда уделяется недостаточно вниманию мероприятиям по сохранению и защите окружающей среды, эти системы становятся неуправляемыми и интенсивно происходит их экологическая деградация [1]. По результатам проведенных исследований [2-4] в химическом составе подземных вод в скважинах, расположенных в непосредственной близости от хвостохранилища, наблюдается превышение ПДК по хлоридам, сульфатам, ионам магния, молибдена, марганца и железа. В скважине, расположенной в 500 м от населенного пункта, также отмечены значительные превышения ПДК по ряду компонентов, поэтому вода в ней непригодна для использования в питьевых целях. В поверхностных водах: в р. Хангал несколько превышено ПДК по содержанию ионов брома и цинка, а в озере значительно превышает ПДК содержание хлоридов и ионов марганца. Таким образом, для обеспечения экологической безопасности необходимо регулярно проводить мониторинг качества поверхностных вод в р. Хангал и озера, а также опробование скважин, расположенных вокруг хвостохранилища и вблизи населенного пункта.

Поверхность почв вокруг хвостохранилища покрыта белой пылью, в которой содержание гумуса на 20% ниже, а содержание тяжелых металлов выше по сравнению с неповрежденной темно-коричневой почвой, расположенной вне зоны пыления, что указывает на снижение плодородия и неблагоприятную экологическую обстановку. Для предотвращения негативного воздействия хвостохранилища на почвенно-растительный покров его пляж необходимо сокращать путем увеличения намыва низовой дамбы и увеличением подачи воды, как за счет дренажа, так и из других возможных источников. Как временная мера по подавлению пыления, можно использовать покрытие пляжей битумной эмульсией, высадкой многолетних трав на пылящие поверхности хвостов, в том числе и с помощью подачи семенного материала с хвостовой пульпой. Для местного населения необходимо обозначить зону влияния на почвенно-растительный покров, с целью недопущения выпаса скота и проживания людей на территории вблизи хвостохранилища.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Суздалева А.Л. Создание управляемых природно-технических систем. М.: ИД ЭНЕРГИЯ, 2015. 260 с.
2. ООО Геоботаник. Отчет об государственной инспекции состояния и качества земельных участков КО «Предприятие Эрдэнэт» в сумоне Баян-Ундур Орхонского аймака. 2015г
3. Battogtokh, B., Lee, J. M., & Woo, N. (2014). Contamination of water and soil by the Erdenet copper–molybdenum mine in Mongolia. *Environmental earth sciences*, 71(8), 3363-3374.
4. Hem J.D., Lind C.J. (1991). Coprecipitation mechanisms and products in manganese oxidation in the presence of cadmium. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 55 (9), pp. 2435-2451.

## НОВОЕ В КЛАССИФИКАЦИИ ЛЕССОВОГО ПСЕВДОКАРСТА

А.А. Лаврусевич \*, Т.С. Алешина \*\*

*\*д.г.-м.н., профессор, Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет, 129337, Москва, Ярославское шоссе, 26, Россия, e-mail: [lavrusevich@yandex.ru](mailto:lavrusevich@yandex.ru)*

*\*\*преподаватель, Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет, 129337, Москва, Ярославское шоссе, 26, Россия, e-mail: [geolog305@yandex.ru](mailto:geolog305@yandex.ru)*

**Аннотация.** Псевдокарстовые формы рельефа широко распространены на поверхности материков в самых различных физико-географических обстановках. Автором встречена весьма необычная форма разрушения лессового массива псевдокарстом – псевдокарстовая балка. Все мы знаем о том, что балка является зрелой стадией развития оврага. Однако, псевдокарстовый процесс вносит свои коррективы, в классические представления о ходе развития овражно-балочного рельефа. Приводятся данные о том, что псевдокарстовая балка является формой рельефа предшествующей овражной стадии разрушения лессового массива! Именно в лессах, которые обладают комплексом уникальных, присущих только этой породе природных и инженерно-геологических особенностей, происходит развитие этой необычной формы рельефа.

**Ключевые слова:** лессы, лессовый псевдокарст, псевдокарстовый овраг, псевдокарстовая балка, классификация, Яванская долина, Таджикистан.

### ВВЕДЕНИЕ

Лессовый псевдокарст - результат гидромеханического, гравитационного, биологического и физико-химического зональных процессов, протекающих в недоуплотненных лессовых породах при их избыточном, как правило техногенном, увлажнении и приводящих к образованию форм очень напоминающих типичные карстовые (воронки, колодцы, провалы, пещеры, тоннели, останцы и др.) [1]. Именно механическая суффозия является доминирующей. Поэтому при техногенном поступлении большого количества воды процесс развивается весьма стремительно. При этом образуется своеобразный псевдокарстовый ландшафт (псевдокарстовые воронки, колодцы, тоннели, пещеры, цирки, овраги и т. д.) очень напоминающий типичный карстовый. Отмечены случаи, когда в результате утечки воды из бетонных водоводных лотков, за трое суток образовался

псевдокарстовый овраг видимой глубиной до 3 метров, шириной до 4 метров и протяженностью более 25 метров. В Западной ветви Надтеречного канала (Восточное Предкавказье) за несколько суток провальные формы в виде воронок и провалов диаметром до 1,5 метров ушли по нормали к оси канала до 900 метров от его бровки [2].

На образование и развитие ЛП оказывает влияние обширный комплекс факторов (геохимических, геоморфологических, климатических, почвенных, биологических, техногенных и др.). Авторами установлено, что наиболее интенсивное развитие ЛП происходит при техногенном воздействии человека на лессовые породы. Без этого воздействия ЛП развивается значительно медленнее.

Рассмотрим эту проблему на примере территории Яванской долины в Юго-Западном Таджикистане, где лессы образуют литогенную основу преобладающей части ландшафтов, покрывая сплошным, местами очень мощным чехлом всю эту территорию.

С особенностями лессовых пород в Таджикистане связываются исключительное плодородие хлопковых плантаций, обеспечивающих получение самых высоких урожаев этой ценнейшей технической культуры. В районах развития лессовых пород сконцентрирована основная часть населения республики и главные отрасли народного хозяйства [3]. Для территории Таджикистана, который стал опытным полигоном, где этот процесс был всесторонне изучен и получил широкое распространение, выявлено, что количество форм псевдокарста возникших в результате нарушения человеком сложившегося природного равновесия, превышает количество форм, образовавшихся в природных условиях более чем в 13 раз [4].

## **АНАЛИТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ**

Впервые классификация подземных и поверхностных форм ЛП была дана Н.И.Кригером в 1975 году [5], которая позже была расширена и дополнена [3,4 и др.].

В частности, в первой классификации псевдокарстовых форм Н.И. Кригер описывает провальные овраги образующиеся при развитии цепочки провальных воронок [1]. В следующей работе [4] авторы описывают овраги как результат развития одновременных провальных воронок с неровным, изрытым воронками дном [4].

Псевдокарстовые овраги характерны для полной стадии развития лессового псевдокарста, и образуются в результате массового обрушения кровли подземных псевдокарстовых форм. Глубина оврагов может достигать нескольких десятков и даже сотни метров, длина от нескольких сотен метров до нескольких километров. Провально-эрозионные псевдокарстовые овраги могут быть «слепыми», оканчиваясь подземными ходами или псевдокарстовыми тоннелями, которые имеют выход в долину, служащую местным базисом

эрозии.

Для псевдокарстовых оврагов характерно неровное дно со следами обрушения некогда существовавшей кровли, вновь формирующимися воронками, колодцами и т. д. Для развития сети псевдокарстово-эрозионных оврагов не характерна балочная форма рельефа.

Однако, авторы в своей статье представляют весьма необычную форму лессового псевдокарста – псевдокарстовую балку - выделенную промежуточную форму развития провального псевдокарстового оврага (рис. 1).



**Рисунок 1.** Псевдокарстовые балки правого берега реки Явансу (территория Юго-Западного Таджикистана). В юго-восточной части площадки видно развитие зрелой стадии псевдокарстового оврага (снимок 2021г).

Что необычного в этой форме рельефа? Давайте вернемся к механизму формирования псевдокарстового оврага. Вспомним Фердинанда фон Рихтгофена и его первое тогда предположение о начале формирования псевдокарстовых оврагов не от базиса эрозии вверх по склону до водораздела, а с верхней части лессового массива, с места поступления воды в псевдокарстовый ход и далее до базиса эрозии. Псевдокарстовые овраги нередко в начальной и зрелой стадии своего развития висячие. По мере развития профиля равновесия (крутого вверху и выполаживающегося в нижней части), при поступлении достаточного количества воды, происходит выход оврага в долину, к базису эрозии [5]. Вершины псевдокарстовых оврагов хорошо выделяются на космических снимках своим циркуобразным расширением, так называемой ендовинной формой [8].

Что представляет собой псевдокарстовая балка и чем она отличается от псевдокарстового оврага? Каков механизм формирования псевдокарстовой балки? Мы привыкли рассматривать балку, как завершающую стадию завершения развития оврага [6,7 и др.]. «Развитие оврага и постепенное превращение его в балку происходит при одновременном протекании антагонистически действующих процессов: глубинной эрозии периодического водотока, с одной стороны, и совокупного действия сложных процессов денудации на склонах оврага, с другой стороны» [6, стр.372]. Идут процессы выколаживания (обвалы, оползни, оплывины, солифлюкция и др.) склонов и накопления материала на днище и у подножья склонов оврага. То есть на определенной стадии развития оврага глубинная эрозия начинает утрачивать свое доминирующее значение и «овражный» тип развития сменяется типом балочного. «Отсюда следует, что «овражная» стадия в развитии всякой эрозионной формы рельефа всегда является начальной и необходимой стадией и что эта стадия лишь на определенном этапе своего развития должна смениться балочной» [7, стр.33]. То есть каждый овраг, в ходе своего развития, по мере падения тальвега, постепенно теряет эрозионную силу стекающей по нему воды.

## **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

Однако, псевдокарстовый процесс вносит свои коррективы, в классические представления о ходе развития овражно-балочного рельефа. Псевдокарстовая балка — это цепочки провальных воронок в количестве от трех до десятков с пологими, сглаженными стенками глубиной до 1,5 метров и преобладающими диаметрами от 1 до 3-х метров расположенных вдоль линии подземного псевдокарстового хода протяженностью до нескольких сотен метров. Воронки в нижней части, как правило, открываются в подземный псевдокарстовый ход тянущийся под тальвегом псевдокарстовой балки понорами. Псевдокарстовый ход, как правило, имеет нижний выход либо на склоне террасы или у ее подножья. Как видно из представленного рисунка 1 псевдокарстовые балки не имеют устья и оканчиваются в нижней части «слепо» в поглощающей воронке [8]. Склоны псевдокарстовой балки пологие, несмотря на многочисленные псевдокарстовые воронки, расположенные вдоль линий тальвегов основного русла и отвершков. Формирование цепи псевдокарстовых воронок происходит одновременно, что ведет в свою очередь к плавному локальному понижению поверхности на несколько метров по вертикали вдоль линии подземного эрозионного хода. Однако, в отличие от овражной стадии, псевдокарстовые балки имеют плавные, сглаженные формы рельефа. Поступление большого количества воды вызывает дальнейшее развитие эрозионных процессов и формирование псевдокарстового оврага.

Следует отметить, что псевдокарстовые балки, редкая форма разрушения лессового

массива. Как правило, разрушение массива сразу начинается с формирования псевдокарстового оврага, минуя балочную стадию. Однако, при освоении лессовых территорий необходимо иметь представление, что, встречая псевдокарстовую балку мы имеем лишь промежуточную стадию развития псевдокарстового оврага.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Лаврусевич А.А. Некоторые особенности инженерно-геологических изысканий на территориях пораженных лёссовым псевдокарстом // Инженерные изыскания. М. 2010. № 10. С. 20–23.
2. Запороженко Э.В. Суффозионные деформации в лессовых породах Предкавказья // Вопросы строительства гидротехнических сооружений на просадочных грунтах. Баку. 1969. С.108-115.
3. Лаврусевич С.А., Лаврусевич А.А. Псевдокарст на территории сельскохозяйственного освоения земель в Таджикистане // Докл. АН Тадж.ССР. 1983. Т. 26. № 11. С. 723–725.
4. Лаврусевич А.А., Лаврусевич С.А. Опыт оценки активизации псевдокарстовых процессов в лессах (на примере Яванской долины - Таджикистан) // Геоэкология, инженерная геология, гидрогеология и геокриология. 2011. №4. С.362-369.
5. Кригер Н.И. Лессовый псевдокарст // Вопросы теории и методики инженерной геодинамики. Тр. ПНИИИС, 1975. вып. 32. С. 25.
6. Щукин И.С. Общая геоморфология. Т.І. МГУ. 1960. 616 с.
7. Герасимов И.П. Овраги и балки (суходолы) степной полосы. «Проблемы физ. Географии». 1950. т. ХУ.
8. Щукин И.С. Общая геоморфология. Т.ІІ. МГУ. 1964. 564 с.