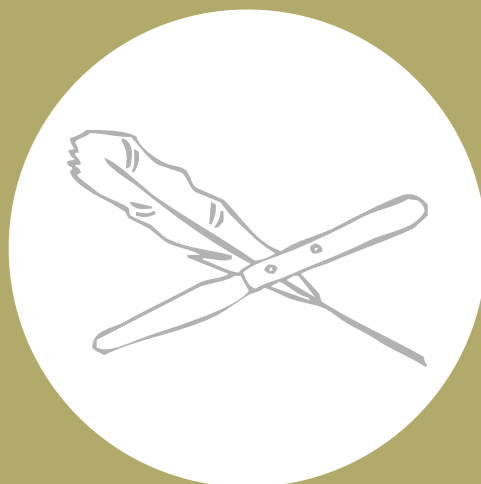


# ГРУНТОВЕДЕНИЕ

---

№ 1(22)  
2024





*Охотинское общество грунтоведов*

# ГРУНТОВЕДЕНИЕ

**Gruntovedenie**

---

№ 1(22)  
2024

Журнал основан в 2012 г.

*Главный редактор*  
Е. А. Вознесенский

*Редакционная коллегия:*

Е. А. Вознесенский, А. А. Лаврусевич, В. А. Королев, Б. Ф. Апарин, Г. Г. Болдырев,  
Л. П. Норова, А. В. Русаков, А. А. Свертилов, Л. К. Семенова, Л. А. Строкова,  
Н. С. Никифорова, А. И. Попов, Г. П. Постоев, С. В. Сольский

*Зав. редакцией* Ю. Ю. Соколова

*Адрес редакции:* 199034, Санкт-Петербург, 7-ая линия ВО, д. 2/1

тел.: +7 921 986 51 06

[www.okhotin-grunt.ru](http://www.okhotin-grunt.ru)

*E-mail:* [gruntovedenie@mail.ru](mailto:gruntovedenie@mail.ru)

[okhotin-grunt@mail.ru](mailto:okhotin-grunt@mail.ru)

**Санкт-Петербург**

УДК 624.131.1

ББК 26.3

## СОДЕРЖАНИЕ

### К 110-ЛЕТИЮ СО ДНЯ РОЖДЕНИЯ АКАДЕМИКА Е. М. СЕРГЕЕВА

*В.А. Королев*

**РАЗВИТИЕ ИДЕЙ Е.М.СЕРГЕЕВА В СОВРЕМЕННОМ ГРУНТОВЕДЕНИИ**

### ГЕНЕТИЧЕСКОЕ ГРУНТОВЕДЕНИЕ

*О.В. Зеркаль*

**ОПОЛЗНЕВЫЕ ОТЛОЖЕНИЯ КАК ОТДЕЛЬНЫЙ ГЕНЕТИЧЕСКИЙ ТИП  
ГРУНТОВ. ИХ КЛАССИФИКАЦИЯ (СТАТЬЯ 1)**

### РЕГИОНАЛЬНОЕ ГРУНТОВЕДЕНИЕ

*Л.П. Норова, М.Г. Цинкобурова, Д.М. Смирнов, М.Л. Барановская*

**АНАЛИЗ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ И ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ  
ОСОБО ОХРАНЯЕМОЙ ПРИРОДНОЙ ТЕРРИТОРИИ - ИЛЬМЕНСКИЙ ГЛИНТ**

*А.И. Латыпов, А.Н. Гараева, Э.А. Королев*

**ЗОНАЛЬНОСТЬ ПРОФИЛЯ ВЫВЕТРИВАНИЯ СРЕДНЕПЕРМСКИХ  
ПЕСЧАНИКОВ НА ТЕРРИТОРИИ ВОСТОЧНОГО ЗАКАМЬЯ**

### ИСКУССТВЕННЫЙ ЛИТОГЕНЕЗ

*А.Ю. Герасимов, А.А. Лаврусевич, И.А. Лаврусевич*

**СОСТАВ И СВОЙСТВА ГРУНТОВ СОВРЕМЕННЫХ ТЕХНОГЕННЫХ  
ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ТЕЛ, ОБРАЗОВАННЫХ В УСЛОВИЯХ АГРОМЕЛИОРАЦИИ**

*В.Н. Кондакова, Г.Б. Поспехов*

**ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ СОСТАВА И ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ  
СВОЙСТВ ТЕХНОГЕННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ, ПРЕДСТАВЛЕННЫХ ОТХОДАМИ  
УГЛЕБОГАЩЕНИЯ**

### СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

DOI 10.53278/2306-9139-2024-1-22-3-8  
УДК 624.131.1

*К 110-летию со дня рождения академика Е. М. Сергеева*

## РАЗВИТИЕ ИДЕЙ Е. М. СЕРГЕЕВА В СОВРЕМЕННОМ ГРУНТОВЕДЕНИИ

### DEVELOPMENT OF E. M. SERGEEV'S IDEAS IN THE MODERN GROUND STUDIES

© 2024 г. В. А. Королёв  
2024 V. A. Korolev

*Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова, геологический факультет,  
Ленинские горы, д. 1, ГСП-1, г. Москва, 119991, Россия  
Lomonosov Moscow State University, Faculty of Geology,  
bld.1, Leninskie Gory, GSP-1, Moscow, 119991, Russia*

va-korolev@bk.ru



Академик Е. М. Сергеев (1914–1997)

**Аннотация.** В статье рассматривается развитие научных идей, высказанных Е. М. Сергеевым в области грунтоведения в разные годы, и реализуемых к настоящему времени. Показано, что многие научные идеи Е. М. Сергеева не потеряли своей актуальности, нашли свое воплощение или продолжают активно разрабатываться в наши дни.

**Abstract.** The article examines the development of scientific ideas expressed by E. M. Sergeev in the field of soil science in different years, and being implemented to date. It is shown that many scientific ideas of E. M. Sergeev have not lost their relevance, have found their embodiment or continue to be actively developed at the present time.

**Ключевые слова:** грунтоведение, генетическое грунтоведение, методология грунтоведения, цифровизация, искусственный интеллект

**Keywords:** soil science, genetic soil science, soil science methodology, digitalization, artificial intelligence

## Введение

23 марта этого года исполнилось сто десять лет со дня рождения академика Евгения Михайловича Сергеева (1914–1997) — выдающегося инженер-геолога, грунтоведа, талантливого педагога и крупного организатора инженерной геологии. Начиная свою научную деятельность как грунтовед, впоследствии Е. М. Сергеев внес огромный вклад в развитие и других научных направлений инженерной геологии — инженерной геодинамики и региональной инженерной геологии. Здесь же остановимся лишь на развитии научных идей Е. М. Сергеева в области грунтоведения — основного научного направления инженерной геологии, посвященного изучению состава, строения, свойств и закономерностей поведения грунтов в связи с инженерной деятельностью человека.

Среди них основными являются идеи Е. М. Сергеева, высказанные в области генетического грунтоведения, исследования грунтов от микро- до макроуровня (массива), изучения компонентов и свойств грунтов, а также теоретического грунтоведения.

## Генетическое грунтоведение

Начиная с 40-х годов прошлого столетия, Е. М. Сергеев ставил в области грунтоведения различные задачи практического и теоретического характера [8,9,18–22]. Одной из задач, выдвинутых Е. М. Сергеевым в еще начале 1950-х годов, была реализация идеи о приоритете генезиса грунтов как основного фактора формирования их свойств. В предисловии к «Общему грунтоведению» в 1952 г. он писал, что «Основой настоящей работы является положение о том, что свойства грунтов зависят от их генезиса. В соответствии с этим рассматривается вначале генезис грунтов, затем состав и строение грунтовой толщи, которые формируются в процессе генезиса...» [22, с. 3]. И далее, во Введении к этой работе, он еще раз подчеркивает, что «В основе этого изучения [грунтов] должен лежать основной принцип советского грунтоведения — принцип, намеченный уже в работах гениального русского ученого М. В. Ломоносова: «свойства грунтов зависят от их генезиса» [22, с. 17].

В реализацию этой идеи в 1953 г. Е. М. Сергеев одной из основных теоретических задач общего грунтоведения считал «установление зависимости между различными свойствами типичных грунтов и их генезисом» [17]. Он полагал, что такая зависимость может быть выражена «генетической классификацией грунтов, позволяющей производить предварительную оценку строительных свойств грунтов по их генетическому типу». Последующие исследования, однако, показали, что,

несмотря на наличие зависимости свойств грунтов от их генезиса, подобная классификация не может учесть всего многообразия проявления инженерно-геологических особенностей грунтов, т.к. их происхождение не является единственным фактором формирования свойств.

Развивая эти идеи, Г. К. Бондарик в 1968 г. сформулировал основной закон грунтоведения, (в виде аксиомы теории изменчивости) и предложил назвать его «законом В. А. Приклонского»: «...состав и структура горной породы и физико-механические свойства грунта являются продуктом равнодействующей физических полей, обусловивших ее генезис и последующий литогенез» [1, с. 45]. Следовало бы добавить химические и геохимические поля, влияющие на формирование состава, структуры и свойств грунтов. Позже он несколько изменил формулировку этого закона: «Состав и структура горной породы, физико-механические свойства грунта есть продукт поля равнодействующей физических полей в области петро-, литогенеза» [3, с. 24].

Детальная характеристика петрогенетической обусловленности инженерно-геологических особенностей горных пород была дана Е. М. Сергеевым [21, 23], который более пространно и менее четко сформулировал подобный принцип: «Основным положением советского грунтоведения служит тезис о том, что свойства грунтов зависят от их состава, структуры и текстуры... Так как качество грунта, т.е. его состав, структура и текстура, создается в процессе генезиса породы и дальнейшей ее геологической «жизни», то можно основной тезис советского грунтоведения сформулировать так: свойства грунтов зависят от их генезиса — понимая под генезисом не только процесс осадконакопления и превращения осадка в породу, но и совокупность всех дальнейших воздействий (эпигенетических, метаморфических, гипергенетических и др.) на эту породу. Поэтому советское грунтоведение часто называют генетическим грунтоведением. В этом его принципиальная методологическая особенность по сравнению с геотехнической наукой» [21, с. 6–7].

Последнее особенно необходимо подчеркнуть, поскольку и в наше время проявляется увлеченность геотехникой в ущерб генетическому анализу грунтов.

Тем не менее, генетический подход в грунтоведении реализовался в основном методологическом принципе этого направления, о чем уже более определенно Е. М. Сергеев писал в учебнике «Грунтоведение» в 1971 г.: «Генетический подход при изучении грунтов является методологической основой грунтоведения, благодаря которой оно относится

к наукам геологического цикла. Генетическое направление в грунтоведении должно выражаться, в первую очередь, в изучении процессов формирования прочности пород, так как это свойство ... является важнейшим как при строительстве, так и при других видах инженерного воздействия на земную кору» [7, с. 12].

В 5-м издании этого учебника 1983 года методологический принцип дается более расширенно, принимая во внимание то, что свойства грунтов формируются не только в результате их генезиса, но и вследствие постгенетических изменений разного характера с учетом литолого-петрографического состава грунтов.

Развивая далее это методологическое положение, в 6-м издании «Грунтоведения» [6] основной методологический принцип грунтоведения уже был изложен в форме основного закона грунтоведения — закона Приклонского-Сергеева-Ломтадзе<sup>1</sup>: «*состав, строение, состояние и свойства грунтов определяются их генезисом, характером постгенетических процессов и современным пространственным (координатным) положением*. Подчеркнем, что в данном случае пространственное положение, включая глубину залегания грунта, определяет тепло- и влагообеспеченность объекта, и характер техногенного воздействия» [6, с.54]. Роль генезиса грунтов в данном законе вытекает из закона унаследованности и обуславливается результатами историко-геологического анализа грунтов.

Таким образом, идеи Е. М. Сергеева о генетическом подходе к оценке свойств грунтов к настоящему времени реализовались в форме основного закона грунтоведения.

### **Изучение грунтов от микро- до макроуровня (массива)**

По Е. М. Сергееву [16], на втором этапе развития грунтоведения ставилась проблема изучения грунтов «от микроуровня до массива, с целью рационального использования геологической среды». В такой постановке основное внимание на том этапе уделялось решению морфологических (а по сути, описательных) задач в области грунтоведения. И это было вполне оправдано в тот период развития грунтоведения, поскольку тогда еще не были широко известны как многие закономерности микростроения различных грунтов (особенно дисперсных), так и их особенностей макростроения, проявляющиеся лишь в массиве. Тем не менее, такая формулировка задач явля-

ется довольно общей, расплывчатой и неконкретной, что затрудняет их решение. По Е. М. Сергееву необходимо было перейти от свойств образца к свойствам грунтовой толщи (массива). Впервые вопросы изучения микроструктуры дисперсных грунтов, особенно глинистых, были поставлены Е. М. Сергеевым еще в 1946 г., когда он разработал одну из первых классификаций типов и видов микроструктур грунтов [19].

В исследовании данной проблемы во второй половине XX века был достигнут огромный прогресс: было выяснено микростроение дисперсных, особенно глинистых, грунтов; разработаны классификации микроструктур и микротекстур грунтов; установлены типы контактов и структурных связей в них и их влияние на свойства грунтов, в том числе были выделены биотические структурные связи в грунтах, которые ранее не выделялись [6]; выявлены инженерно-геологические особенности различных грунтовых толщ (массивов); разработана их типизация и т.п. Многие из этих исследований направлялись и осуществлялись под руководством Е. М. Сергеева [23,24]. В них на кафедре участвовали Г. Г. Ильинская, В. Н. Соколов, В. И. Осипов, Н. А. Румянцева и др. В настоящее время продолжается изучение иерархичности строения грунтов, в том числе с использованием новейших технических средств, включая компьютерную томографию.

Однако для перехода от свойств образца к свойствам грунтового массива наиболее сложным оказался поиск *закона взаимосвязи* различных иерархических уровней грунтов. Стояла задача выявления закономерностей, позволяющих учесть структурные элементы разных масштабных (иерархических) уровней между собой. По сути эта задача сводилась к разработке *теории масштабного эффекта* в грунтах.

Многими авторами подчеркивалась большая роль неоднородности природных горных пород разного масштабного уровня, которые и обуславливали проявление масштабного эффекта [2,4,5,14–16]. Для реализации идеи Е. М. Сергеева о проявлении масштабного эффекта в грунтах было выполнено большое количество работ разными авторами. В итоге были выявлены способы оценки неоднородностей и пространственной изменчивости строения и свойств грунтов.

По своему характеру неоднородность грунтов может быть двух видов: случайно распределенная и закономерно изменяющаяся [4]. Первая обуслов-

<sup>1</sup> В монографии В. А. Королева и В. Т. Трофимова «Инженерная геология: история, методология и номологические основы» [13] этот закон предложено назвать «законом Ломоносова-Приклонского-Сергеева-Ломтадзе»

лена случайными колебаниями условий седиментации и диагенеза отложений, вторая — закономерными пространственными изменениями этих условий.

В. А. Королевым был сформулирован закон пространственной неоднородности грунтов: *грунты на разных масштабных (иерархических) уровнях от минералов до грунтовых массивов характеризуются случайной или закономерной пространственной неоднородностью их состава, структуры и свойств, что обусловлено случайными или закономерными изменениями пространственных условий их формирования* [13, с. 185].

Кроме того, была выполнена теоретическая оценка проявления масштабного эффекта в дисперсных грунтах при инженерно-геологическом изучении различных физических и физико-механических свойств, зависящих от структурной неоднородности грунта [12]. Предложены понятия и новые количественные показатели для оценки масштабного эффекта в дисперсных грунтах по отношению к физическим и физико-механическим свойствам и разработана классификация структурных неоднородностей в этих грунтах, влияющих на проявление в них масштабного эффекта. Также был охарактеризован метод его анализа на основе принципа суперпозиции, и обоснована теоретическая модель учета масштабного эффекта в дисперсных грунтах при инженерно-геологической оценке различных физических и физико-механических свойств.

### **Изучение компонентов грунтов**

Е. М. Сергеев рассматривал грунт как сложную многокомпонентную систему. В этой связи им была поставлена задача исследования закономерностей изменения твердых, жидких и газообразных компонентов в грунтах под влиянием различных факторов. Его многочисленными учениками и другими грунтоведами в 1940–1980-е годы были выполнены исследования компонентного состава как скальных, так и дисперсных грунтов, как природных, так и техногенных грунтов.

В результате этого была разработана теория компонентного состава грунтов, базирующаяся на вспомогательных теориях твердого, жидкого и газового компонентов [13]. Среди последних необходимо отметить теорию (связанной) воды в грунтах и классификацию видов воды, а также теорию анализа компонентного состава грунтов с помощью треугольных диаграмм.

Е. М. Сергеев одним из первых поставил задачу изучения биотической (живой) составляющей грунтов. Хотя почвоведы и микробиологи с конца

ХІХ в. подчеркивали значение живых организмов для формирования свойств почв, в грунтоведении эти идеи долго не проникали. Так, например, в первых четырёх изданиях учебников «Грунтоведение» о биотической составляющей грунтов вообще не было речи. Лишь в 5-м издании 1983 года в учебнике появился раздел «Живая компонента грунта».

За прошедшие с этого момента почти сорок лет многое кардинально изменилось, подтвердив верность идей Е. М. Сергеева о роли биотической составляющей в грунтах. Были выполнены многочисленные исследования в этой области И. Н. Болотиной, Р. Э. Дашко, Г. А. Заварзина, Д. Г. Звягинцева, Л. С. Кожевиной, И. Ю. Григорьевой и многих других, позволившие говорить не только о значении биоты в формировании состава, строения и свойств грунтов, но и выделить обусловленные ею особые свойства грунтов — биотические [13]. В 6-м издании учебника «Грунтоведение» впервые была дана характеристика этих свойств.

### **Изучение свойств грунтов**

Одной из центральных задач грунтоведения Е. М. Сергеев считал изучение различных свойств грунтов и выявление закономерностей их изменения под влиянием внешних и внутренних факторов [22]. Но к середине XX века различные грунты были исследованы неравномерно: свойства многих типов грунтов вообще оказались не изучены в инженерно-геологическом отношении, поэтому Е. М. Сергеев организовал на кафедре систематическое их изучение. Среди них были кремнистые и лёссовые грунты, пресноводные и морские илы, отдельные типы скальных грунтов, в том числе вулканогенных.

Но Е. М. Сергеев не замыкался в этом вопросе только на усилиях кафедры. Будучи руководителем созданного им Научного совета РАН по инженерной геологии, эти исследования проводились, опираясь на решения комиссий этого совета, в том числе — комиссий по изучению отдельных типов грунтов. Благодаря этому координировалась работа по исследованию свойств различных типов грунтов во всех регионах территории СССР.

Как результат этого, в дальнейшем совершенствовалась и систематика самих свойств грунтов. Так, в 6-м издании «Грунтоведения» [6] была опубликована систематика свойств грунтов в инженерно-геологических целях В. А. Королева, в которой, наряду с общепринятыми до этого физическими, физико-химическими и физико-механическими, впервые были выделены химические и биотические свойства грунтов.



В итоге усилиями многих авторов были разработаны вспомогательные теории химических, физических, физико-химических и физико-механических свойств [13]. Среди последних необходимо отметить исследования *динамических свойств грунтов*, начатые еще по инициативе Е. М. Сергеева, и затем проводимые на кафедре инженерной и экологической геологии МГУ под руководством Е. А. Вознесенского. Применение новейшего оборудования позволило получить обширные данные по поведению различных грунтов в поле динамических напряжений. В результате были заложены основы общей теории динамических свойств грунтов, разработана классификация грунтов по механизму их динамической неустойчивости, классификация дисперсных грунтов по динамической устойчивости, классификация водонасыщенных песчаных грунтов по разжижаемости при сейсмических воздействиях, включенные в ГОСТ 56353-2015.

### Теоретическое грунтоведение

Напомним, что *под теоретическим грунтоведением понимается раздел грунтоведения о наиболее общих законах, математически описывающих состав, строение, свойства грунтов и их формирование, процессы в них, а также изменения грунтов под влиянием внутренних и внешних факторов* [10].

Основная цель теоретического грунтоведения — изучение и математическое описание наиболее общих законов формирования состава, строения и свойств грунтов, законов их изменения под влиянием внутренних факторов и внешних воздействий, а также взаимодействия между грунтами, представляемых в математической форме. В качестве основного способа познания теоретического грунтоведения выступают не эмпирические методы исследований, как в классическом грунтоведении, а использование создаваемых теоретических, в первую очередь математических, моделей явлений в грунтах и их сопоставление с реальностью.

В такой трактовке теоретическое грунтоведение становится самостоятельным методом изучения грунтов несмотря на то, что его содержание формируется, естественно, с учетом результатов экспериментальных лабораторных и полевых исследований грунтов и инженерно-геологических изысканий. Подчеркнем, что основной целью теоретического грунтоведения является открытие и понимание (объяснение) наиболее общих законов формирования состава, строения и свойств грунтов и возможное предсказание еще неизвестных явлений в грунтах. Таким образом, теоретическое грунтоведение

выполняет и объяснительную, и предсказательную функции [10].

Е. М. Сергеев считал разработку вопросов теоретического грунтоведения важнейшей задачей. Среди них он выделял вычисление показателей свойств грунтов путем: а) выявления взаимосвязей между отдельными показателями грунтов; б) установления детерминированных (функциональных) зависимостей между отдельными показателями грунтов [19, 22]. На эти вопросы он впервые обратил внимание еще в 1946 г., поставив перед грунтоведами задачу выявления взаимосвязи между отдельными показателями [19].

Обосновывая свою точку зрения, Е. М. Сергеев писал, что «...между всеми рассмотренными свойствами [грунтов] существует определенная взаимосвязь. Изучение количественной корреляции (соотношения) между отдельными свойствами приобретает огромное значение, поскольку количественные взаимоотношения отражают и позволяют вскрыть причины, порождающие проявление тех или иных свойств».

Практическое значение этого вопроса заключается в том, что познание количественной зависимости между различными свойствами грунта позволяет определить ряд его свойств, относительно данных какого-либо свойства. В конечном итоге, при большом накоплении экспериментального и теоретического материала было бы возможно путем расчета давать достаточно точную характеристику грунтов, основываясь на знании лишь нескольких его свойств, определенных экспериментальным путем» [22, с. 361].

Исходя из этой позиции, в последующие годы под руководством Е. М. Сергеева был выполнен большой объем исследований по корреляционному анализу различных показателей свойств грунтов и были установлены соответствующие взаимосвязи. По сути, эти работы были первыми в области «математизации грунтоведения» или, как сейчас принято говорить, в области «цифровизации грунтоведения».

От этой начальной стадии, базирующейся в основном на статистических методах, с появлением с середины 1980-х годов компьютерной техники грунтоведение перешло к следующей стадии цифровизации — созданию баз грунтоведческих данных, геоинформационных и экспертных систем как элементов баз больших данных (Big data). Процесс цифровизации грунтоведения нарастает в настоящее время и одновременно начинает увеличиваться доля применения технологий искусственного интеллекта в грунтоведении [11].

**Выводы**

Многие научные идеи Е. М. Сергеева в области грунтоведения нашли свое воплощение или продолжают активно разрабатываться в настоящее время:

1. Генетический подход к изучению грунтов реализовался в форме основного закона грунтоведения.

2. Продолжается исследование грунтов от микро- до макроуровня, в том числе с использованием новейших технических средств, включая компьютерную томографию. Накопленный в этой области материал требует обобщения с целью выявления иерархического закона в строении грунтов и грунтовых массивов.

3. К настоящему времени достигнут большой прогресс в области изучения компонентов и свойств грунтов, построения их классификаций, а также

в разработке теорий компонентного состава грунтов и формирования их свойств.

4. Мировой тренд на цифровизацию затрагивает и грунтоведение. Накопленные большие объемы данных по составу, строению и свойствам грунтов позволяют на их основе подойти к решению вопросов теоретического грунтоведения. Внедрение возможностей искусственного интеллекта в грунтоведение позволит более эффективно решать многие задачи.

5. Дальнейшее развитие теоретического грунтоведения будет основываться на разработке и применении гибридных систем, сочетающих различные методы искусственного интеллекта, а также традиционные программирование и инженерно-геологические исследования.

**СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Бондарик Г. К. Общая теория инженерной (физической) геологии. — М.: Недра, 1981. — 256 с.
2. Бондарик Г. К. Основы теории изменчивости инженерно-геологических свойств горных пород. — М.: Недра, 1971. — 272 с.
3. Бондарик Г. К., Ярг Л. А. Инженерная геология. Вопросы теории и практики. Философские и методологические основы геологии: уч. пособие. — М.: ИД КДУ, 2015. — 296 с.
4. Боровко Н. Н. Статистический анализ пространственных геологических закономерностей. — Л.: Недра, 1971.
5. Гольдштейн М. Н. Механические свойства грунтов (основные компоненты грунта и их взаимодействие). — М.: Стройиздат, 1973, — 375 с.
6. Грунтоведение: учебник под ред. В. Т. Трофимова. 6-е изд., перераб. и доп. — М.: Изд-во МГУ, 2005. — 1024 с.
7. Грунтоведение: учебник под ред. Е. М. Сергеева. 3-е изд. — М.: Изд-во МГУ, 1971. — 595 с.
8. Королев В. А. Актуальные научные проблемы современного грунтоведения // Грунтоведение. — 2013. — № 1. — С. 4–10.
9. Королев В. А. Вклад Е. М. Сергеева в развитие грунтоведения // Грунтоведение. — 2014. — № 1. — С. 3–14.
10. Королев В. А. Проблематика и задачи теоретического грунтоведения. // Грунтоведение. — 2021. — № 2. — С. 38–44.
11. Королёв В. А. О задачах цифровизации и искусственного интеллекта в инженерной геологии // Инженерная геология. — 2021. — Т. 16. — № 1. — С. 10–23.
12. Королёв В. А. Теоретическая оценка масштабного эффекта в дисперсных грунтах // Вестник МГУ. Серия 4: Геология. — 2017. — № 6. — С. 77–86.
13. Королев В. А., Трофимов В. Т. Инженерная геология: история, методология и номологические основы. — М.: Изд-во КДУ, 2016. — 292 с.
14. Ломтадзе В. Д. Словарь по инженерной геологии. — СПб.: Санкт-Петербургский горный ин-т, 1999. — 360 с.
15. Рац М. В. Неоднородность горных пород и их физических свойств. — М.: Наука, 1968. — 107 с.
16. Рац М. В. Структурные модели в инженерной геологии. — М.: Недра, 1973. — 216 с.
17. Сергеев Е. М. Грануло-минералогическая классификация песков. // Вестник МГУ. Геология. — 1953 — № 12. — С. 101–109.
18. Сергеев Е. М. Еще раз об инженерной геологии // Пути дальнейшего развития инженерной геологии / Материалы 1-го Межд. конгресса по инженерной геологии. — М.: Изд-во МГУ, 1971. — С. 117–123.
19. Сергеев Е. М. Избранные главы общего грунтоведения. — М.: Изд-во МГУ, 1946. — 108 с.
20. Сергеев Е. М. Инженерная геология: учебник. 2-изд. — М.: Изд-во МГУ, 1982. — 248 с.
21. Сергеев Е. М. Методологические основы грунтоведения // Вопросы инженерной геологии и грунтоведения. — М.: Изд-во МГУ, 1968. — С. 5–16.
22. Сергеев Е. М. Общее грунтоведение / уч. пособие — М.: Изд-во МГУ, 1952. — 383 с.
23. Теоретические основы инженерной геологии. Геологические основы / Под ред. Е. М. Сергеева. — М.: Недра, 1985. — 332 с.
24. Теоретические основы инженерной геологии. Физико-химические основы / Под ред. акад. Е. М. Сергеева. — М.: Недра, 1985. — 288 с.

DOI 10.53278/2306-9139-2024-1-22-9-19

УДК 624.131.29, 581.524.323.8

## ОПОЛЗНЕВЫЕ ОТЛОЖЕНИЯ КАК ОТДЕЛЬНЫЙ ГЕНЕТИЧЕСКИЙ ТИП ГРУНТОВ. ИХ КЛАССИФИКАЦИЯ (СТАТЬЯ 1)

### LANDSLIDE DEPOSITS AS A SPECIFIC GENETIC TYPE OF SOIL. THEIR CLASSIFICATION (PAPER 1)

© 2024 г. О. В. Зеркаль

© 2024 O. V. Zerkal

*Геологический факультет Московского государственного университета им. М. В. Ломоносова,  
Ленинские горы, д. 1, Москва, 119234, Россия*  
*Faculty of Geology, Lomonosov Moscow State University, bld.1, Leninskie Gory, Moscow, 119234, Russia*

igzov@mail.ru

**Аннотация.** В представленной работе рассматриваются особенности оползневых отложений, формирующихся при деформациях склонов. Сделано заключение о том, что оползневые отложения необходимо рассматривать как отдельный генетический тип грунтов. Дана классификация оползневых грунтов, включающая 3 группы и 6 подгрупп. Подразделение оползневых грунтов на группы и подгруппы проведено исходя из степени, характера сохранности/измененности строения и свойств грунтов в оползневом залежании по сравнению с первичными, исходными грунтами в коренном (несмещенном) массиве. В статье рассмотрены оползневые отложения первых двух групп грунтов, их разновидности, для которых характерны либо минимальные, либо существенные изменения строения и свойств. Приведены примеры изменения строения и свойств грунтов при оползневых смещениях.

**Abstract.** In the present paper, the features of landslide deposits formed during slope deformations are considered. It is concluded that landslide deposits should be considered as a specific genetic type of soils. The classification of landslide soils is given, including 3 groups and 6 subgroups. The division of landslide soils into groups and subgroups was carried out based on the degree, nature of preservation /modification of the structure and properties of soils in the landslide occurrence compared to primary, initial soils in the original (undisplaced) massif. The paper considers landslide deposits of the first two groups of soils, their varieties, which are characterized by either minimal or significant changes in structure and properties. Examples of changes in the structure and properties of soils during landslide displacements are given.

**Ключевые слова:** оползневые процессы, оползневые отложения, генетический тип, грунты, классификация

**Keywords:** landslide processes, landslide deposits, genetic type, soils, classification

#### Введение

Оползневые образования — генетический тип отложений, формирующийся в результате развития оползневых процессов. Оползневые деформации развиваются в массивах горных пород, слагаемых грунтами различных классов — скальных (от очень прочных до малопрочных) и дисперсных (как в связных, так и несвязных), а также в мерзлых.

Несмотря на то что понятие «оползневые отложения» активно используется при описании оползней достаточно давно, их изучение в инже-

нерной геологии носило, в определенной степени, «вспомогательный» характер, ориентированный, в первую очередь, на выяснение скорее причин, характера и механизма произошедших оползневых смещений, не находясь «в центре внимания» проводимых работ. Это было связано с тем, что в большинстве случаев считалось, что территории, находящиеся в зоне воздействия оползней, и, как следствие, участки накопления оползневых отложений, с одной стороны, занимали относительно небольшие площади, не представляя интереса при

региональных геологических работах, а с другой стороны, рассматривались в качестве «неудобий» при хозяйственном освоении и, таким образом, в значительной мере находились «за рамками» научного и практического интереса инженеров-геологов, изучавших грунты как основания зданий и сооружений. Вместе с тем, в последние годы участки развития оползневых процессов и, как следствие, широкого распространения оползневых отложений все более активно вовлекаются в хозяйственное освоение, что дало толчок изучению оползневых образований.

В настоящей работе будут рассмотрены особенности оползневых отложений и их разновидностей.

### **История изучения и подходы в исследованиях оползневых отложений.**

А. П. Павлов одним из первых, изучая оползни Симбирского и Саратовского Поволжья, предложил выделять отложения, формирующиеся при оползании, в самостоятельный генетический тип геологических образований — деляпсий [20]. Позднее Е. В. Шанцер, рассматривая генетические типы отложений склонового ряда в составе континентальных образований, также выделяет отдельно оползневые отложения, определяя их вслед за А. П. Павловым как деляпсий, но отделяя деляпсий от солифлюкционных накоплений [24]. Вместе с тем, в большинстве работ ведущих специалистов, изучавших оползни: Г. С. Золотарева, Е. П. Емельяновой, В. С. Федоренко, Дж. Хатчинсона, О. Хангра и многих других — солифлюкционные деформации рассматриваются как разновидность оползневых смещений [6, 12, 22, 26, 27]. Именно эта точка зрения была принята при подготовке настоящей статьи.

В настоящее время, предложенные Е. В. Шанцером генетические типы отложений, образование которых происходит в результате развития оползневых и других склоновых процессов, активно используются при региональном изучении и картировании четвертичных отложений [18]. Начиная с середины XX в., в рамках геологических исследований (региональной и исторической геологии, литологии) выделяется, активно изучается особый тип геологических образований, характеризующихся масштабами, позволяющими их выделять и картировать при региональных работах, обозначаемых термином «олистостром» (термин ввел Ж. Флорес в 1955 г.), формирование которых обусловлено развитием в геологической истории гравитационных, в первую очередь, оползневых процессов [3, 16, 25]. В зарубежных работах как синоним термина «олистостром»

нередко используется термин «седиментационный меланж» (англ. «sedimentary mélanges»), подчеркивая его генезис и отличая от тектонического меланжа [28]. Вместе с тем, в большинстве работ принимается точка зрения, что формирование олистостромовых толщ происходило исключительно в морских условиях [19, 21], с чем сложно согласиться, сопоставляя «седиментационный меланж» с современными оползневыми образованиями, формирующимися при смещении каменных лавин — одного из наиболее крупномасштабных проявлений оползневых процессов. Одно из следствий такой точки зрения — деляпсий и другие генетические типы гравитационных отложений (по Е. В. Шанцеру) рассматриваются как континентальные образования, а для олистостромовых толщ принимается факт их накопления исключительно в морских условиях. Следствием этого является то, что описанные два направления геологического изучения оползневых отложений до настоящего времени развиваются, фактически «не пересекаясь».

### **Классификация оползневых отложений.**

В целом, отложения в оползневом залегании могут быть разделены<sup>1</sup> на три группы по степени, характеру сохранности/измененности первичного строения смещающихся пород, определяющего их состав, состояние и свойства как грунтов оползневого генезиса (табл. 1). В настоящей статье рассматриваются оползневые отложения первых двух групп грунтов, для которых характерны либо минимальные, либо существенные изменения строения и свойств по сравнению с грунтами в коренном (несмещенном) массиве. Грунты в оползневом залегании, отнесенные к III группе, характеризующиеся полным изменением строения и свойств при смещениях, будут рассмотрены дополнительно, более детально, во второй статье.

К I группе относятся грунты, отличающиеся относительной высокой сохранностью первоначального строения и состояния в смещающемся массиве, как правило, представляющие собой перемещающиеся под действием силы тяжести оползневые блоки, сложенные грунтами со строением и свойствами, близкими к исходному коренному массиву. Описание особенностей грунтов различного генезиса в коренном залегании приведено в соответствующих монографиях (например, [5]). Также в I группу входят грунты, слагающие различного рода зоны ослабления (в т.ч. зоны трещиноватости) в коренных отложениях в пределах оползнеопасных склонов, формирующихся на стадии подготовки смещений.

<sup>1</sup> В дополнение к Классификации грунтов, согласно ГОСТ 25100-2020 [4].

**Таблица 1. Классификация оползневых грунтов**

Группа	Подгруппа (фация)	Изменения*	Описание оползневых грунтов
I		минимальные	Грунты с относительно высокой сохранностью первоначального строения, состояния и свойств по сравнению со строением и свойствами грунтов в коренном (несмещенном) массиве. Слагают оползневые блоки.
II	IIa	существенные	Грунты зон разрушающих деформаций (зон скольжения). Образуют маломощные (первые см – десятки см) горизонты, имеющие (в разрезе) либо линейную, либо круглоцилиндрическую форму**). Существенная изменчивость свойств.
	IIб		Грунты оползневых масс, испытавших существенную трансформацию (с изменением их состава, состояния и свойств) при оползневых смещениях (как правило, в виде вязкого, вязко-пластического или пластического течения). Существенная изменчивость свойств.
III	IIIa (панцирная, мегакластовая)	полная трансформация (с изменением класса грунтов)	Крупнообломочные грунты (глыбовые до мегакластовых) с хаотическим или чешуйчатым расположением блоков с незначительным содержанием матрикса и с отдельными включениями грунтов подгруппы IIa. Полная изменчивость свойств (по сравнению с первичными скальными/полускальными грунтами).
	IIIб (матрично-обломочная, фаация оползневого меланжа)		Неоднородные щебенистые и дресвяно-щебенистые грунты, в которых преобладающий (по содержанию) обломочный материал располагается в матрице песчаного или песчано-пылеватого состава с включением мозаично дезинтегрированных глыб («фантомные» блоки). Для первично слоистых толщ (в коренном (несмещенном) массиве) характерны структуры дезинтеграции слоев, их разлिनования, выклинивание и локальные несогласия, «сморщивание»/смятие отдельных прослоев, «колобки» («оторванные» и скрученные прослои). Полная изменчивость свойств (по сравнению с первичными скальными/полускальными грунтами).
	IIIв (обломочно-матричная, базовая фаация оползневого меланжа)		Однородные и неоднородные (осложненные инъектированием разнородного материала, «факельными» структурами (выжимания)) супесчано-суглинистые грунты с включением щебня и дресвы (в т.ч. с образованием «пудинговых» текстур). Полная изменчивость свойств (по сравнению с первичными скальными/полускальными грунтами).

\* По сравнению со строением и свойствами скальных и полускальных грунтов в коренном (несмещенном) массиве.

\*\* Линейная форма типична для оползней сдвига, а круглоцилиндрическая форма характерна для оползней скольжения. Различия оползней сдвига и оползней скольжения детально описаны в [7].

**Таблица 2. Характер изменений строения грунтов (группа IIб и IIIб), вызванных оползневыми смещениями**

Тип текстуры (мезоуровень)	Краткая характеристика текстуры	Краткая характеристика изменений текстуры, вызванных оползневыми смещениями
Беспорядочная	Преимущественная пространственная ориентация структурных элементов отсутствует	На фоне беспорядочного распределения в пространстве отдельных структурных элементов в области оползневых смещений наблюдается зона с упорядоченным расположением структурных элементов мощностью от первых см до десятков см
Упорядоченная слоистая	Основная часть структурных элементов имеет преимущественную субпараллельную пространственную ориентацию	На фоне упорядоченно ориентированных структурных элементов, в т.ч. собранных в слои, в области оползневых смещений наблюдается зона с иной (по направлению, зачастую, секущей), как правило, более высокой ориентацией, нередко слагаемая более диспергированными структурными элементами мощностью от первых сантиметров до десятков сантиметров
Слоисто-упорядоченная	Структурные элементы собраны в слои, внутри которых имеется преимущественно субпараллельная пространственная ориентация, характер которой изменяется на границе слоев, где также может изменяться содержание алевро-пелитовых элементов	В области оползневых смещений наблюдается зона разрушения блоков с упорядоченным расположением структурных элементов мощностью от первых сантиметров до десятков сантиметров
Фантомно-блочная	Структурные элементы собраны в мозаичные блоки (разбиты трещинами на отдельные части, но прослеживается исходная непрерывность), внутри которых имеется определенная пространственная ориентация, границы блоков подчеркиваются резкой сменой ориентации структурных элементов	В области оползневых смещений наблюдается зона с иной (по направлению, зачастую, секущей), как правило, более высокой ориентацией, нередко слагаемая более диспергированными структурными элементами, для которой характерно разрушение блоков и первичных структурных элементов, мощность зоны от первых сантиметров до десятков сантиметров
Пятнистая	Структурные элементы, собранные в блоки, распределенные неравномерно, в виде отдельных скоплений, располагаются в матрице из структурных (диспергированных) элементов, имеющих преимущественную пространственную ориентацию	В матрице упорядоченно ориентированных структурных элементов в области оползневых смещений наблюдается зона с иной (по направлению, зачастую, секущей), как правило, более высокой ориентацией, нередко слагаемая более диспергированными структурными элементами, для которой характерно разрушение блоков и первичных структурных элементов, мощность зоны от первых сантиметров до десятков сантиметров

Ко II группе относятся грунты, характеризующиеся значительным изменением своего строения, состояния и свойств при развитии оползневых смещений. В составе оползневых грунтов II группы может быть выделено две подгруппы отложений:

- подгруппа IIa — грунты зон разрушающих деформаций (зон скольжения, сдвига, ползучести и т.д.);

- подгруппа IIб — грунты оползневых масс, испытавших существенную трансформацию (с изменением их состава, состояния и свойств) при оползневых смещениях.

Грунты подгруппы IIa образуют маломощные горизонты (первые сантиметры, десятки сантиметров) в основании оползневых блоков.

Как правило, грунты подгруппы Пб формируются при оползневых деформациях течения (пластического, вязко-пластического, вязкого). Генетический подтип отложений, образующийся в результате такого рода оползневых смещений, получил наименование «флювиоделепсия» [3]. Грунты подгруппы Пб образуют разномасштабные геологические тела протяженностью (по направлению смещения) от десятков метров до первых километров, а в отдельных, редких случаях — до первых десятков километров, мощность которых может составлять первые метры или десятки метров.

Оползневые грунты подгруппы Па.. Общими закономерностями строения оползневых разностей грунтов подгруппы Па являются:

- существенно более высокая упорядоченность ориентированных структурных элементов (в т.ч. прослеживаемая на макроуровне) по сравнению с первичной текстурой отложений в коренном залегании;
- более высокая диспергированность структурных элементов, наличие разрушенных блоков структурных элементов и структурных элементов минералов.

Как правило, ориентировка длинных осей образующихся структурных элементов в зонах разрушающих оползневых деформаций совпадает с ориентировкой направления оползневых смещений (рис. 1). В результате в зоне разрушающих деформаций при оползневых смещениях в скальных и полускальных грунтах, глинистых грунтах твердой, полутвердой консистенции образуются притертые, отполированные поверхности — зеркала скольжения (рис. 2). В сложноорганизованных оползневых массивах с многочисленными зеркалами скольжения оползневая толща приобретает брекчиевидный облик.

Проведенное изучение микростроения грунтов<sup>2</sup>, выполненное для глин подмосковной свиты на оползневом участке «Воробьевы горы» (г. Москва), отобранных как в ненарушенной части склонового массива, так и в зоне разрушающих деформаций при оползневых смещениях, преимущественно в интервалах зон скольжения, позволило выявить произошедшие изменения в микростроении грунтов (рис. 3) [9].

Для глин подмосковной свиты в ненарушенном состоянии характерна беспорядочная матричная микроструктура (рис. 3а). Оползневые деформации оказали существенное влияние на микростроение этих грунтов. Непосредственно в пределах плоскостей смещения (зеркал скольжения) (рис. 3б)



Рис. 1. Зона скольжения (ширина порядка 8 см) в основании оползневой блока в нижнеюрских алевролитах (Красная Поляна), слагаемая оползневых грунтами (оползневые грунты подгруппы Па), сформировавшимися в зоне разрушающих деформаций при смещении.



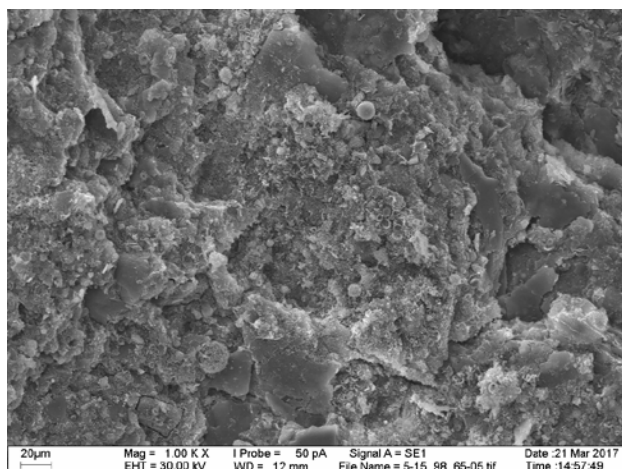
Рис. 2. Вид зеркала скольжения в глинах подмосковной свиты (J3pdm), оползневой участок «Воробьевы горы», г. Москва.

в результате переориентации глинистых частиц и микроагрегатов, приобретающих направление параллельно плоскости сдвига, происходит полная перестройка микростроения с образованием высокоориентированной микроструктуры.

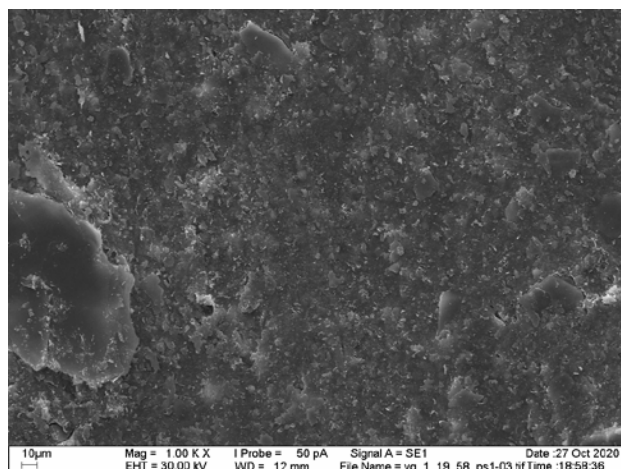
Из-за произошедшей перестройки формируются поверхности, выполненные тонкими «чешуйками», представляющими собой глинистые микроагрегаты. Толщина зон с высокоориентированной микроструктурой, образующих «плоскости» скольжения, оценивается в несколько десятков микрон [9]. На описываемых поверхностях при небольших увеличениях можно увидеть субпараллельные микроборозды, образование которых, по-видимому, обусловлено

<sup>2</sup> Электронно-микроскопическое изучение грунтов выполнено с.н.с. М. С. Черновым.

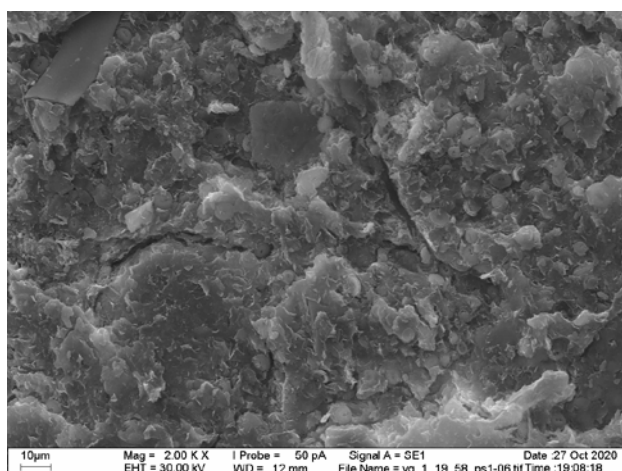




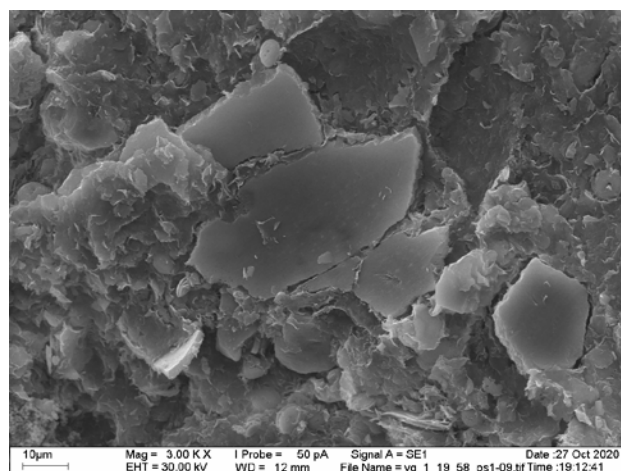
а. x1000



б. x1000



в. x2000



г. x3000

Рис. 3. Микростроение глин подмосковной свиты и его изменение в зоне разрушающих деформаций при оползневых смещениях (приведено по [9]).

а – ненарушенное залегание; б – непосредственно в пределах зоны деформаций (зеркала скольжения), вид перпендикулярно плоскости скольжения; в – в зоне влияния деформаций при смещениях (вне плоскости смещения); г – разрушенное зерно в пределах зоны деформаций

последующими механическими перемещениями по зоне скольжения. Вне пределов собственно плоскостей смещения также фиксируются изменения в микростроении по сравнению с микростроением глин в ненарушенном состоянии. В матричной микроструктуре наблюдается появление разноориентированных микротрещин (рис. 3в), а также механически разрушенных зерен и микроагрегатов (рис. 3г).

Изучение минерального состава<sup>3</sup> глин подмосковной свиты показало, что в коренном залегании содержание глинистых минералов в составе отложений свиты составляет (в среднем) до 27% с преобладанием смектита и гидрослюды при существенной роли каолинита. В пределах плоскостей

смещения (в виде зеркал скольжения), выявленных в толще глин подмосковной свиты, доля глинистых минералов понижается до ~20%. Суммарное содержание кварца и плагиоклазов в подмосковных глинах составляет порядка 21–22%, а карбонатов — до 32%, оставаясь практически неизменным в пределах плоскостей смещения. Заметным в составе отложений подмосковной свиты является содержание пирита (до 15% и более), доля которого в пределах плоскостей смещения существенно возрастает.

Исследование особенностей физико-механических свойств глинистых грунтов в зонах разрушающих деформаций при оползневых смещениях (подгруппа *IIa*) показало, что в пределах зон

<sup>3</sup> Исследования грунтов методом рентгеновской дифрактометрии выполнено ст. преп. В. Л. Косоруковым.

деформаций отмечается разуплотнение грунтов, которое сопровождается понижением плотности грунтов (по сравнению с отложениями в ненарушенной части склона) на 3–5%, в отдельных случаях — до 10%. При этом, также отмечается изменение прочностных характеристик грунтов при оползании (табл. 3).

Следует отметить, что изучение изменчивости прочностных характеристик глинистых грунтов подгруппы *IIa* сопряжено с трудностями, обусловленными их малой мощностью в естественном залегании (первые сантиметры) и, как следствие, сложностью проведения пробоотбора. Поэтому для оценки прочностных характеристик глинистых грунтов подгруппы *IIa* (грунтов в зоне разрушающих деформаций), как правило, используют испытания на сдвиг по предварительно подготовленной (или существующей) поверхности (при естественной влажности или при дополнительном увлажнении) — сдвиг по схеме «плашка-по-плашке». Для этого, как правило, выполняется повторный сдвиг по поверхности ранее выполненного сдвига без или с дополнительным увлажнением. Падение величин сцепления в зонах разрушающих деформаций (зонах скольжения, сдвига) может достигать 60–70% относительно значений, полученных для грунтов подгруппы *I* в примыкающих к зоне деформаций участках (зонах ослабления), и от 75% до более 90% относительно величин сцепления, характерных для глинистых грунтов в ненарушенном оползевыми деформациями залегании (табл. 3). Изменения значений углов внутреннего трения для грунтов

в зонах разрушающих деформаций может составлять от незначительных величин до 25–35%.

#### Оползневые грунты подгруппы *IIб*.

В таблице 2 приведено описание характера изменений строения грунтов в зонах разрушающих деформаций (подгруппа *IIб*), формирующихся при оползневых смещениях. В составе грунтов рассматриваемой подгруппы, в зависимости от исходного состояния отложений в период оползневых смещений (в форме течения), могут быть выделены две разновидности:

- *разновидность IIб<sub>1</sub>* — грунты (как правило, глинистые), вовлеченные в оползневые смещения, характеризовались избыточным увлажнением и имели текучую консистенцию;
- *разновидность IIб<sub>2</sub>* — грунты, вовлеченные в оползневые смещения, характеризовались существенным увлажнением и имели пластичную (пластичную (для супесчаных грунтов), мягкопластичную или текучепластичную) консистенцию.

Грунты *разновидности IIб<sub>1</sub>* формируются при образовании различных типов «быстрых» оползней течения (сплывов и оползней-потоков, оползней внезапного разжижения, «быстрой» солифлюкции в областях развития многолетнемерзлых пород), смещение которых происходит в виде вязкого, реже вязко-пластического, течения со скоростями до 1–4 м/с. При перечисленных типах оползней грунты оползневых масс пребывают в относительно гомогенном, пастообразном состоянии, эффективная

**Таблица 3. Изменчивость физико-механических свойств глинистых грунтов при оползневых смещениях в зоне разрушающих деформаций (подгруппа *IIa*)**

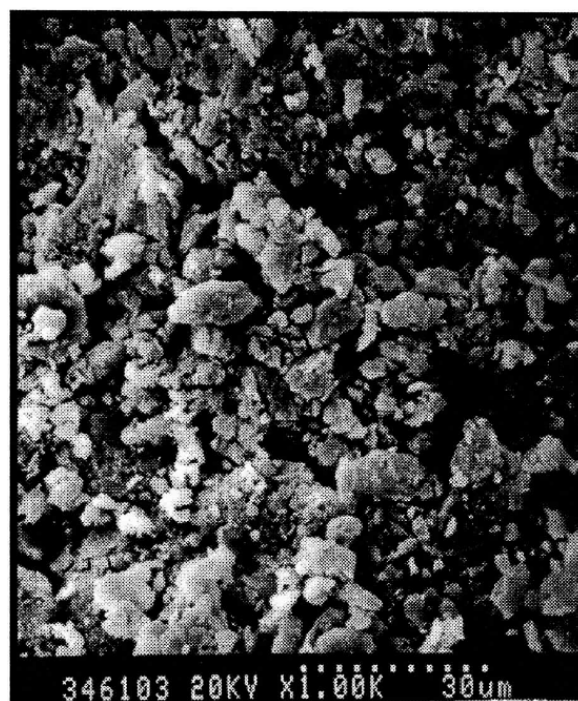
	Плотность грунтов, г/см <sup>3</sup>	Пористость, %	Прочностные свойства			
			В ненарушенном сложении		По подготовленной, смоченной поверхности	
			<i>C</i> , МПа	$\varphi$ , град	<i>C</i> , МПа	$\varphi$ , град
Оползневой участок «Кабардинка» (Черноморское побережье Кавказа)						
Несмещенные аргиллиты известковистые ( <i>K<sub>2</sub>km<sub>2</sub></i> )	2,18–2,24	19–23	0,093–0,116	15–23	–	–
Аргиллиты известковистые в зоне разрушающих деформаций	2,11–2,22	27–39	0,020–0,033	22–27	0,007–0,013	17–27
Оползневой участок «Воробьевы горы» (Москва)						
Несмещенные глины ( <i>J<sub>3</sub>ox</i> )	1,77–1,83	46–55	0,093–0,129	14–18	–	–
Глины в зоне разрушающих деформаций	1,58–1,75	50–58	0,076–0,105	14–19	0,022–0,032	9–12
Оползневой участок в г. Ульяновске*)						
Несмещенные нижнемеловые глины ( <i>K<sub>1</sub>h-br</i> )	1,85–2,03	41–44	0,58–1,38	12–18	–	–
Глины в зоне разрушающих деформаций	1,75	54	0,018	7	–	–

\*) по данным Л.А. Аносовой [1].





а. x250



б. x1000

Рис. 4. Матрично-скелетная микроструктура моренных суглинков ненарушенной части склона.

вязкость которых в момент смещения составляет порядка  $10^4$  Па\*с [13].

Крупномасштабные оползни указанных типов «быстрых» оползней течения, как правило, развиваются в молодых (четвертичных) глинистых отложениях морского («чувствительные» глины), аллювиального генезиса, а также континентальных (субаэральных) пылеватых суглинках, склонных к тиксотропному разжижению в водонасыщенном состоянии при динамическом воздействии [29]. Формирующиеся в этом случае оползневые глинистые грунты характеризуются на макроуровне однородной текстурой, в отдельных случаях со щелевидными макропорами. Вместе с тем, изучение микростроения оползневых грунтов, а также слагающих отложения «быстрых» оползней течения сильно водонасыщенных грунтов (при  $W_e \gg W_L$ ;  $I_L > 1,0$ ) показало, что для них типичны ячеисто-скелетная или псевдоячеистая микроструктуры независимо от исходного микростроения [10, 31]. Для микростроения этой разновидности оползневых грунтов характерно наличие разрушенных глинистых микроагрегатов, частичное удаление с поверхности зерен неглинистых минералов глинистых рубашек, присутствие беспорядочно ориентированных пластинчатых микроагрегатов.

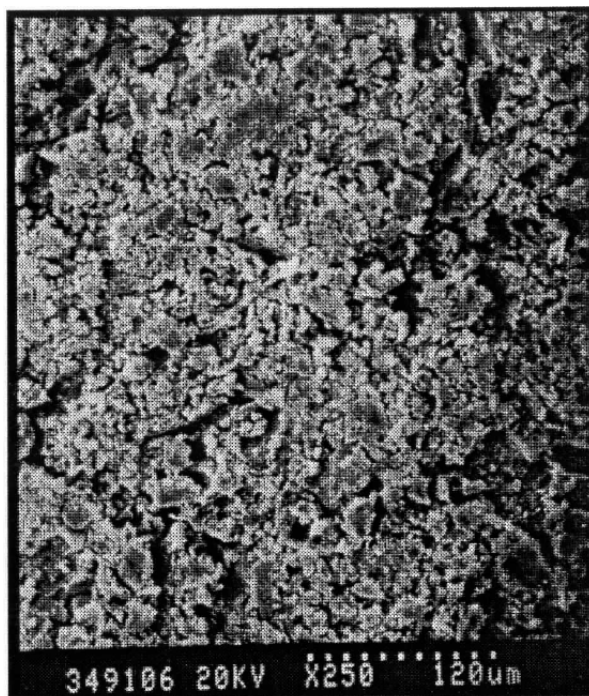
Грунты *разновидности Пб<sub>2</sub>* образуются при различных типах оползней течения, движение кото-

рых происходит в виде вязко-пластического или пластического течения со скоростями в период активной фазы смещения от мм/сут — первых см/сут до м/сут. Эффективная вязкость грунтов оползневых масс в момент движения составляет  $10^8$ – $10^{14}$  Па\*с [17, 23]. Начало такого рода оползневых смещений обусловлено созданием в склоновом массиве напряжений, в первую очередь сдвиговых ( $\tau$ ), величина которых больше чем порог ползучести глин ( $\tau_{lim}$ ) [8].

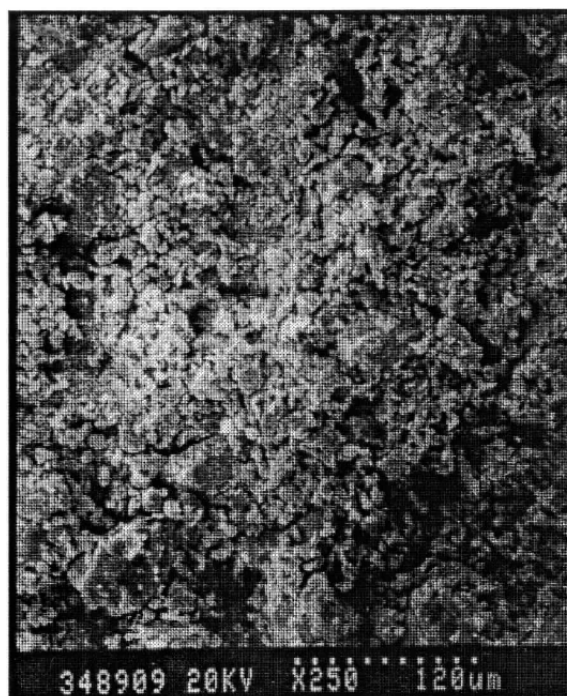
В строении первично слоистых глинистых толщ, оползание которых происходит в виде пластического течения, при смещениях могут формироваться четко различаемые на макроуровне различного рода нарушения строения — «сморщивание» отдельных прослоев, различного рода смятия, «колобки» (оторванные и скрученные прослои) [2].

Проведенное изучение изменчивости микростроения в теле оползня пластического течения по направлению его смещения позволило проследить механизм формирования оползневых глинистых грунтов *разновидности Пб<sub>2</sub>*. Исследованный оползень образовался в моренных суглинках московского оледенения в 1996 г. в долине р. Калужки (Калужская обл.) [11, 31]. Ненарушенные моренные суглинки имели матрично-скелетную микроструктуру<sup>4</sup>, сформированную глинисто-пылеватой матрицей, сложенной неориентиро-

<sup>4</sup> Электронно-микроскопическое изучение грунтов выполнено проф. В. Н. Соколовым.

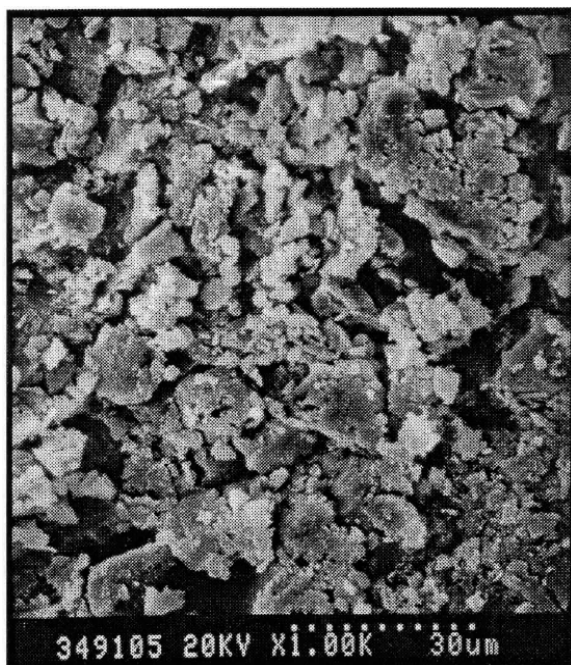


а. x250

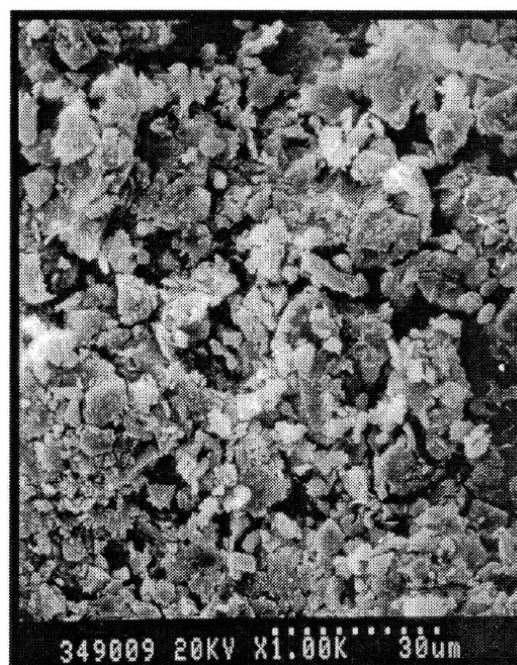


б. x250

Рис. 5. Формирование крупных агрегатов (от 100–120 мкм до 200 мкм) в микроструктуре грунтов, вовлеченных в оползневые деформации течения, и их трансформации по мере удаления от головной части оползня.



а. x1000



б. x1000

Рис. 6. Измененная при оползании микроструктура суглинков.

- а. Строения крупных агрегатов, формирующихся в микроструктуре грунтов, вовлеченных в оползневые деформации течения  
 б. Вблизи краевых частей агрегатов отмечаются многочисленные минеральные зерна, носящие следы механического разрушения. Друг от друга микроагрегаты отделяются узкими щелевидными порами.

**Таблица 4. Изменчивость физико-механических свойств глинистых оползневых грунтов южного склона Крымских гор (разновидность Пб2) (приведено по [14])**

Плотность грунтов, г/см <sup>3</sup>	Пористость, %	Пластичность			Прочностные свойства			
		W <sub>p</sub>	W <sub>L</sub>	J <sub>p</sub>	В ненарушенном сложении		По подготовленной, смоченной поверхности	
					C, МПа	φ, град	C, МПа	φ, град
2,23 2,00 – 2,40	28 22 – 34	20 18 – 26	32 28 – 35	11 5 – 21	0,045–0,15	8–36	0,01–0,037	2–11

В числителе — среднее значение, в знаменателе — интервал изменчивости

**Таблица 5. Изменчивость физико-механических свойств глинистых грунтов при оползневых смещениях (разновидность Пб2)**

	Плотность грунтов, г/см <sup>3</sup>	Пористость, %	Сцепление, МПа	Угол внутреннего трения, град
Оползневой участок «Бекетово-Оползневое» (Южный берег Крыма)				
Несмещенные аргиллиты и алевролиты (Т <sub>3</sub> -J <sub>1</sub> tv)	2,25–2,40	17–27	0,062–0,28	26–32
Смещенный деялспий — суглинок с включениями дресвы и щебня аргиллитов и алевролитов	2,07–2,19	38–48	0,05–0,076	23–26
Перевальный участок автодороги Джугба — Сочи <sup>1)</sup>				
Юрские аргиллиты в коренном залегании	1,65	33,4	0,021	21
Юрские аргиллиты из расчистки в оползневом откосе	2,24–2,31	15–17	0,005–0,008	28–34
Криптомактровые глины (N <sub>1</sub> <sup>3</sup> ) Предкавказья <sup>2)</sup>				
Глины в коренном залегании	1,92	47	0,05	8
Смещенный деялспий	1,77–1,87	31–43	0,024	13

\* по данным К.Ш. Шадунца [23]

\*\* по данным А.И. Клименко и Л.С. Мамалыгиной [15]

ванными, равномерно расположенными в пространстве микроагрегатами глинистых частиц изометричной формы и тонкими пылеватыми кварцевыми зёрнами размером до 15 мкм, а также включениями более крупных песчано-пылеватых зёрен (рис. 4).

В оползневом языке, по мере удаления от головной части оползня, были прослежены прогрессивно накапливающиеся изменения в строении оползневых грунтов. Несмотря на некоторое уплотнения грунта, по мере оползания микроструктура постепенно теряла свою сплошность. На некотором расстоянии от стенки отрыва оползня в микростроении грунтов отмечается появление отчетливо выделяемых довольно крупных агрегатов (от 100–120 мкм до 200 мкм) изометричной угловатой формы, сложенных микроагрегатами глинистых частиц и пылевато-песчаными зёрнами, которые отделены друг от друга щелевидными порами протяжённостью до 120–160 мкм, шириной до 20–25 мкм и участками более тонкодисперсной рыхлой матрицы (рис. 5а). По мере удаления от стенки отрыва по направлению движения оползня форма агрегатов изменяется. Они

приобретают менее угловатые очертания, их облик становится более сферическим, схожим с формой «окатанной гальки» (рис. 5б). Более детальное рассмотрение строения агрегатов показывает, что внутри они имеют строение близкое к первичному (рис. 6а). В то же время вблизи краевых частей агрегатов отмечаются многочисленные минеральные зерна, носящие следы механического разрушения (рис. 6б). Во многих местах прослеживается разрушение глинистых рубашек на поверхности минеральных зерен. При этом по направлению смещения в оползневых грунтах наблюдается закономерное уменьшение их пористости от 42% (вблизи стенки отрыва) до 33% (во фронтальной части оползневого языка).

Таким образом, полученные результаты изучения изменчивости микростроения грунтов разновидности Пб<sub>2</sub> в теле оползня пластического течения по направлению его смещения показало, что оползневые деформации (при W<sub>e</sub> ≤ W; 0,5 < I<sub>L</sub> < 1,0) в значительной мере происходят в виде перемещения, «проскальзывания» относительно друг друга крупных агрегатов мелкopiesчанистой-крупнопылевой размерности, сложенных микро-

агрегатами глинистых частиц и неглинистых минералов, образующихся при дезинтеграции грунтов на начальной стадии потери устойчивости склоном [11, 30, 31].

Исследование особенностей изменчивости физико-механических свойств грунтов при оползневых смещениях (подгруппа *IIб<sub>2</sub>*) показало, что для оползневых грунтов отмечается разуплотнение, сопровождающееся, как правило, понижением плотности грунтов по сравнению с отложениями в ненарушенной части склона (табл. 4 и 5). Однако в отдельных случаях, когда грунты в ненарушенном залегании характеризуются значительной пористостью (например, лессы) или трещиноватостью, при оползневых смещениях может происходить уплотнение грунтов (табл. 5). При этом по мере удаления от стенки отрыва наблюдается постепенное повышение плотности грунтов при смещении за счет уплотнения дезинтегрированного материала. Вместе с тем прочностные показатели оползневых грунтов, как правило, существенно более низкие по сравнению с грунтами в ненарушенной части склона. Отмечается снижение величин сцепления на порядок и более, увеличение значений угла внутреннего трения на 30–40% (табл. 4 и 5).

Формирующиеся в этом случае оползневые грунты характеризуются на макроуровне либо однородной текстурой, в случае развития смещений в первично однородных толщах, либо обломочно-матричной (пудинговой) текстурой, когда в оползневые смещения вовлекаются толщи, включающие прослойки скальных и полускальных грунтов (песчаников, мергелей и т.д.). Во втором случае плохо окатанный обломочный материал (в виде мелких глыб, щебня, дресвы) оказывается хаотично распределен в супесчано-суглинистой матрице.

### Заключение

Оползневые отложения, формирующие геологические тела, образующиеся в результате развития в склоновых массивах смещений под действием гравитационных сил, необходимо рассматривать как отдельный генетический тип грунтов. Основаниями выделения оползневых отложений в самостоятельный тип грунтов, а также дальнейшей их классификации являются особенности происхождения этих грунтов, зависящие от механизма смещений, отличия их состава, строения и свойств по сравнению с грунтами в ненарушенном (до оползания) залегании, а также специфичность (форм, размеров, конфигурации) образуемых геологических тел, характеризующихся собственным строением и границами.

Проведенный анализ характера сохранности/изменения строения и свойств грунтов в оползневом залегании по сравнению с первичными, исходными грунтами в коренном (несмещенном) массиве позволил выделить 3 группы и 6 подгрупп оползневых грунтов при их классифицировании. Для грунтов I группы характерны высокая сохранность и минимальная изменчивость строения и свойств оползневых грунтов по сравнению с грунтами в коренном (несмещенном) массиве. В грунтах II группы являются типичными существенные изменения строения и свойств оползневых грунтов по сравнению несмещенными (исходными) грунтами. Оползневые грунты III группы характеризуются полной трансформацией строения (с изменением класса грунтов) и значительным изменением свойств.

Приведенные примеры изменения строения и свойств оползневых грунтов II группы при развитии склоновых процессов, подтверждают сделанные выводы о разнообразии грунтов, формирующихся при оползневых деформациях склонов.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Аносова Л. А. Изменение состава и деформационного поведения глин при оползневых процессах. — М.: Наука, 1966. — 80 с.
2. Атлас текстур и структур осадочных горных пород. Ч. 1. Обломочные и глинистые породы / сост. Е. В. Дмитриева, Г. И. Ершова, Е. И. Орешникова под рук. М. Ф. Викуловой, А. В. Хабакова. — М.: Госгеолтехиздат, 1962. — 730 с.
3. Геологический словарь. В трех томах. 3-е изд., перераб. и доп. / Гл. ред. О. В. Петров. Т. 2. «К-П». — СПб.: Изд-во ВСЕГЕИ, 2011. — 480 с.
4. ГОСТ 25100-2020. Грунты. Классификация. — М.: Стандартиформ, 2020. — 40 с.
5. Грунтоведение: учебник под ред. В. Т. Трофимова. 6-е изд., перераб. и доп. — М.: Изд-во МГУ, 2005. — 1024 с.
6. Емельянова Е. П. Основные закономерности оползневых процессов. — М.: Недра, 1972. — 308 с.
7. Зеркаль О. В. Оползни скольжения и оползни сдвига: особенности развития и типизация // Инженерная геология. — 2021. — Том XVI. — № 1. — С. 38–58.
8. Зеркаль О. В. Оползни течения: роль строения массивов грунтов в их формировании, особенности развития и типизация // Грунтоведение. — 2022. — № 1(18). — С. 3–23.
9. Зеркаль О. В., Самарин Е. Н., Чернов М. С., Авенин И. В., Новиков П. В. Изменение состава

- и строения юрских глин в зоне оползневых смещений на участке «Воробьевы горы» (Москва) // Сергеевские чтения. Фундаментальные и прикладные вопросы современного грунтоведения. Вып. 23: / Материалы годичной сессии Научного совета РАН по проблемам геоэкологии, инж. геологии и гидрогеологии (31.03–01.04.2022 г.). — М.: Изд-во «ГеоИнфо», 2022. — С. 175–181.
10. Зеркаль О. В., Соколов В. Н. Изменение микроструктуры пылеватых суглинков при формировании сейсмогенных оползней течения // Вестник МГУ. Серия 4: Геология. — 1995. — № 6. — С. 67–73.
  11. Зеркаль О. В., Соколов В. Н., Петренко А. С. Модель формирования микроструктуры грунтов в оползнях течения // Генезис и модели формирования свойств грунтов / Материалы Межд. научн. конф. (Москва, 26–27.05.98). — М.: Изд-во МГУ, 1998. — С. 108–109.
  12. Золотарев Г. С. Инженерная геодинамика. — М.: Изд-во МГУ, 1983. — 328 с.
  13. Золотарев Г. С., Гулакян К. А., Зеркаль О. В., Осюк В. А. Механизм формирования сейсмогенных оползней в лессах плато Уртабоз (Таджикистан) и экспериментальное исследование их развития // Геоэкология. — 1994. — № 6. — С. 80–90.
  14. Инженерная геологии СССР. Том 8. Кавказ, Крым, Карпаты. — М.: Изд-во МГУ, 1978. — 366 с.
  15. Клименко А. И., Мамалыгина Л. С. Поверхности и зоны ослабления в структуре склонов Предкавказья как критерий оползнеопасности // Научно-методические основы инженерных изысканий в Предкавказье. — М.: ПНИИИС, 1983. — С. 15–29.
  16. Леонов М. Г. Олисторомы в структуре складчатых областей. — М.: Наука, 1981. — 175 с. (Тр. ГИН, выпуск 344).
  17. Маслов Н. Н. Длительная устойчивость в деформациях смещения подпорных сооружений. — М.: Энергия, 1968. — 160 с.
  18. Методическое пособие по составлению мелко-масштабных карт четвертичных образований к Госгеолкарте-1000/3 / Под ред. Е. А. Мининой, В. В. Старченко. — СПб.: Изд-во ВСЕГЕИ, 2005. — 190 с.
  19. Ненахов В. М., Лыточкин В. Ю., Перфильев А. С., Кузнецов Л. В. Олисторомы, их генезис и особенности строения. // Геологическое картирование хаотических комплексов. — М.: Роскомнедра-Геокарт, 1992. — С. 11–43.
  20. Павлов А. П. Оползни Симбирского и Саратовского Поволжья. — М.: Универс. типогр., 1903. — 124 с.
  21. Стоу Д. А. В. Морские глубоководные терригенные отложения // Обстановки осадконакопления и фации: В 2-х т. Пер. с англ./Под ред. Х. Рединга. — М.: Мир, 1990. — Т. 2. — С. 141–194.
  22. Федоренко В. С. Горные оползни и обвалы, их прогноз. — М.: Изд-во МГУ, 1988. — 214 с.
  23. Шадунц К. Ш. Оползни-потоки. — М.: Недра, 1983. — 120 с.
  24. Шанцер Е. В. Очерки учения о генетических типах континентальных осадочных образований. — М.: Наука, 1966. — 239 с. (Тр. ГИН, выпуск 161).
  25. Festa A., Ogata K., Pini G. A., Dilek Y., Alonso J. L. Origin and significance of olistostromes in the evolution of orogenic belts: A global synthesis // Gondwana Research. — 2016. — Vol. 39. — P. 180–203.
  26. Hungr O., Leroueil S., Picarelli L. The Varnes classification of landslide types, an update // Landslides. — 2014 — Vol. 11. — № 2. — P. 167–194.
  27. Hutchinson J. N. General Report: Morphological and geotechnical parameters of landslides in relation to geology and hydrogeology // Proc. of the V International Symposium on Landslides/C. Bonnard, ed. — Rotterdam: Balkema. — 1988. — Vol. 1. — P. 3–35.
  28. Ogata K., Festa A., Pini G. A., Pogačnik Ž., Lucente C. C. Substrate deformation and incorporation in sedimentary mélanges (olistostromes): Examples from the northern Apennines (Italy) and northwestern Dinarides (Slovenia) // Gondwana Research. — 2019. — Vol. 74. — P. 101–125.
  29. Voznesensky E. A., Zerkal O. V. Dynamic instability of saturated loesses // Engineering Geology and the Environment: Proc. Internat. Symposium on Engineering Geology and the Environment (Athens, 23–27 June 1997). Rotterdam: Balkema. — 1997. — P. 1125–1130.
  30. Zerkal O. V., Sokolov V. N. Mechanism of soil deformations during the displacements of flow slides // Slope Stability Engineering. Proc. of the Internat. Symp. on slope stability engineering (IS-Shikoku'99, 8–11.11.99, Shikoku) / Norio Yagi, Takuo Yamagami & Jing-Cai Jiang, eds. Rotterdam: Balkema. — 1999. — P. 1403–1407.
  31. Zerkal O. V., Sokolov V. N. Landslide hazard evaluation based on studies of peculiarities of slope deposit deformation during landslide flow movement // Engineering Geology. Proc. of 8th Congress of the IAEG (21–25.09.98, Vancouver) / D.P. Moore & O. Hungr, eds. Rotterdam: Balkema. — 2000. — v. 6. — P. 4119–4124

DOI 10.53278/2306-9139-2024-1-22-20-32

УДК 624.131.1; 502/504

## АНАЛИЗ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ И ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ ОСОБО ОХРАНЯЕМОЙ ПРИРОДНОЙ ТЕРРИТОРИИ — ИЛЬМЕНСКИЙ ГЛИНТ

### ANALYSIS OF GEOLOGICAL AND ENGINEERING-GEOLOGICAL CONDITIONS OF A SPECIALLY PROTECTED NATURAL TERRITORY— ILMENSKY GLINT

© 2024 г. Л. П. Норова<sup>1</sup>, М. Г. Цинкобунова<sup>2</sup>, Д. М. Смирнов<sup>3</sup>, М. Л. Барановская<sup>4</sup>  
© 2024 L. Norova, M. Tsinkoburova, D. Smirnov, M. Baranovskaya

<sup>1</sup>Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II, Научный центр геомеханики и проблем горного производства, 21-я линия В.О., д. 2, Санкт-Петербург, 199106, Россия  
*Empress Catherine II Saint Petersburg Mining University, bld. 2, 21-st line, Saint-Petersburg, 199106, Russia*  
<sup>2,3,4</sup>Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II, 21-я линия В.О., д. 2, Санкт-Петербург, 199106, Россия  
*Empress Catherine II Saint Petersburg Mining University, bld. 2, 21-st line, Saint-Petersburg, 199106, Russia*

larisanorova@rambler.ru, maschek@mail.ru, dms-51@yandex.ru, mbaranovskaya@gmail.com

**Аннотация.** Ильменский глинт» на территории Южного Приильменья является комплексным протяженным памятником природы регионального значения, орнитологическим памятником международного значения. Этот ценный геологический объект активно разрушается и требует пристального внимания многих специалистов. В статье показано, что несмотря на хорошую доступность объектов исследования и имеющиеся научные работы разной тематики, не был сделан акцент на изучении геодинамической обстановки особо охраняемой природной территории — Ильменский глинт. Дана краткая качественная оценка состояния Ильменского глинта по результатам рекогносцировочных наблюдений. Рекомендован комплекс доступных мер для спасения этого уникального геологического объекта северо-запада России.

**Abstract:** Ilmenny Klint” on the territory of the Southern Ilmen region is a complex extended natural monument of regional importance, an ornithological monument of international importance. This valuable geological object is actively being destroyed and requires the close attention of many specialists. The article shows that despite the good accessibility of research objects and the existing scientific research on various topics, no emphasis was placed on studying the geodynamic situation of a specially protected natural area — the Ilmenny Klint. A brief qualitative assessment of the condition of the Ilmenny Klint is given based on the results of reconnaissance observations. A set of available measures is recommended to save this unique geological object in the north-west of Russia.

**Ключевые слова:** Ильменский глинт, Главное девонское поле, франкий ярус, Ильменские и Бурегские слои, геологический памятник, особо охраняемая природная территория, гравитационные процессы, оползни, физико-механические свойства, подземные воды.

**Keywords:** Ilmenny klint, Main Devonian field, Frasnian stage, Ilmenny and Buregsky layers, geological monument, specially protected natural area, gravitational processes, landslides, physical and mechanical properties, groundwater.

#### Введение

В реестре особо охраняемых (ООПТ) природных территорий Новгородской области Ильменский глинт значится как комплексный памятник регионального значения. В Перечне уникальных геологических объектов России эта ООПТ значится как ключевая орнитологическая территория (имеет

статус международного значения) и геологический памятник (тип стратиграфический) регионального значения [13, 24].

Ильменский глинт — протяженный береговой обрыв южного берега оз. Ильмень; расположен в пределах Главного девонского поля (ГДП), занимающего юг Ленинградской области, Псковскую и северную



половину Новгородской области и характеризующегося как район распространения морских и лагунных пород девонской системы на северо-западе Русской плиты. Предпосылки современного облика поверхности рассматриваемой территории были созданы благодаря воздействию тектонических и денудационных процессов в кайнозойский (особенно четвертичный) этап континентального развития территории. Ильменский глинт как геологический памятник имеет особую значимость, благодаря уникальной для области плиты протяженности и обнаженности коренных пород, позволяющей проводить научные исследования разной тематики: геологические, гидрогеологические, инженерно-геологические и т.д. Особую ценность глинту добавляет возможность вести мониторинг современных геологических процессов и явлений.

Несмотря на утвержденный статус памятника природы, в пределах Ильменского глинта наблюдаются активные деструктивные процессы, интенсивно изменяющие облик особо ценного геологического объекта [20]. К сожалению, детальные инженерно-геологические исследования в пределах описываемого объекта не проводились. Полученный авторами, в процессе рекогносцировочных исследований материал позволяет говорить о необходимости комплексной оценки геодинамической обстановки на потенциально опасных участках глинта.

### Состояние изученности

Территория Южного Приильмения изучается еще с XVIII века. В 1765 г. «по поручению ее величества» Екатерины II в ходе историко-натуралистического путешествия по России на южном побережье озера Ильмень побывал академик И. Г. Леман. В 1805 г. на озере Ильмень проводил исследования русский естествоиспытатель Н. Я. Озерецковский (впервые описал породы, формирующие глинт) [15]. Г. П. Гельмерсен определил породы ГДП как девонские, показав их на Генеральной карте горных формаций России (1841 г.) [7]. Описания обнажений Ильменского глинта можно увидеть в работе знаменитого английского геолога Родерика Импи Мурчисона [14].

Дальнейший этап активного изучения ГДП пришелся на конец XIX века и связан с работами П. Н. Венюкова, посвященными детальному изучению девонских отложений европейской части России. П. Н. Венюков подробно палеонтологически охарактеризовал обнажения девона на реке Псиже и Ильменском глинте. [2].

В 20–30 годы XX в Р. Ф. Геккером и Д. В. Обручевым были выделены и описаны ильменские и бурегские слои [6]. В довоенное время изучением пале-

озойских пород Ленинградской области (в состав которой входили тогда также современные Псковская и Новгородская области) занимались проф. М. Э. Янишевский и его ближайший последователь и ученик Б. П. Асаткин. Так, в 1937 году под редакцией Б. П. Асаткина была опубликована геологическая карта (масштаб 1:100 000) южной части Ленинградской области. В 1951 г. была принята унифицированная стратиграфическая схема девона ГДП. Уникальные разрезы Ильменского глинта изучались на протяжении всех последующих лет (Геккер и др., 1941; Русецкая и др., 2013; Сорокин, 1978; Шишлов, 2015; Шишлов и др., 2014; Цинкобурова и др., 2023).

Инженерно-геологическое изучение пород девона ГДП было связано в основном с проектированием и строительством ряда районных гидроэлектростанций на малых реках района (Свирская ГЭС, малые гидроэлектростанции на р. Мста), при этом практический интерес с инженерно-геологической точки зрения представляла пестроцветная толща верхнего девона. Активное участие в изучении свойств пород этой толщи принимала инженерно-геологическая лаборатория Ленинградского горного института под руководством В. Д. Ломтадзе. Первая часть докторской диссертации В. Д. Ломтадзе (1958 г.) была посвящена региональным исследованиям наиболее широко распространенных в северо-западных районах Европейской части России глинистых отложений различной степени литификации, в том числе и девонских.

### Краткая географическая характеристика территории

Основные орографические единицы северо-западной части Восточно-Европейской равнины — Прибалтийская низменность с абсолютными отметками до 100 м (в западной части равнины), и Валдайская возвышенность с отметками от 100 до 346 м. Широко распространены локальные низины, которые приурочены к долинам крупных рек и озер и изолированные небольшие возвышенности (рис. 1).

Так, территория вокруг озера Ильмень относится к Приильменской (Волхово-Ловатской) низине (абсолютные отметки от 18 м до 55–60 м) [4]. Равнинный характер рельефа исследуемой территории обусловлен почти горизонтальным залеганием осадочных пород и небольшой амплитудой тектонических движений. В ледниковый период основным фактором его формирования была аккумулятивная (в меньшей степени денудационная) деятельность ледников и их талых вод.

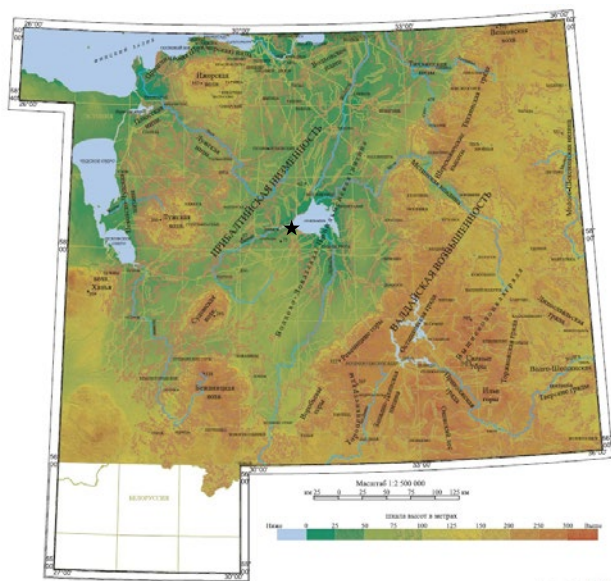


Рис. 1. Орографическая схема северо-запада Восточно-Европейской платформы [3] (положение Ильменского глинта ★)

Озеро Ильмень занимает понижение, образовавшееся еще в доледниковое время; обладает большой площадью поверхности (почти 1000 кв. км), но является относительно мелким, со средними значениями глубины около 2,6 м. Северный, восточный и западный берега озера Ильмень — более низменные и заболоченные. Протяженный участок южного берега, соответствующий Ильменскому глинту, являющемуся абразионным обрывом (типа клиф), резкий и обрывистый. Уровень воды озера может иметь значительные сезонные колебания: в весенний период площадь озера увеличивается за счет поступления воды из многочисленных притоков, в сухие периоды уменьшается. В озерный бассейн впадает около 50 рек (наиболее крупные из них — Ловать, Мста, Шелонь), а вынос вод в Ладожское озеро происходит через р. Волхов.

**Материалы и методы**

Авторами статьи выполнен анализ большого объема фондовых материалов по изучению геологических условий Главного девонского поля, в том числе особо охраняемой природной территории (ООПТ) Ильменский глинт. Полевой этап включал литолого-стратиграфические исследования разрезов ильменских и бурегских слоев, опробование ильменских глин на оползневых склонах берегового обрыва оз. Ильмень, экспериментальные исследования их состава, состояния и физико-механических свойств, а также рекогносцировочные обследования участков с оползневыми явлениями.

**Особенности геологических условий особо охраняемой территории- Ильменский глинт**

Ильменский глинт, как и вся область Южного Приильмения, расположена в пределах северо-западного крыла Московской синеклизы. В этой области на поверхность выходят породы верхнего девона (франский ярус), перекрытые маломощным чехлом четвертичных отложений.

Породы девона сформировались в условиях мелководного эпиконтинентального морского бассейна и в разрезе представлены: нижней пестроцветной толщей (глинисто-песчаная толща среднего девона — эйфельский и живетский ярусы и нижняя часть франского яруса верхнего девона); глинисто-терригенно-карбонатными породами нижнего и среднего подъяруса франского яруса и верхней пестроцветной толщей — глинисто-карбонатно-терригенными породами верхнего подъяруса франского и фаменского ярусов.

Ильменский глинт является стратотипом для двух субрегиональных подразделений Главного Девонского поля (ГДП) — ильменских и бурегских слоев среднего франа девона. Разрез пород среднего и верхнего франа в районе Южного Приильмения соответствует трем циклам развития франского морского бассейна [18]. В обрыве глинта обнажаются глинисто-терригенно-карбонатные породы верхнего девона (средний подъярус франского яруса, семилукский горизонт, ильменские и бурегские слои, верхняя часть рдейской и бурегская свиты) (рис. 2).

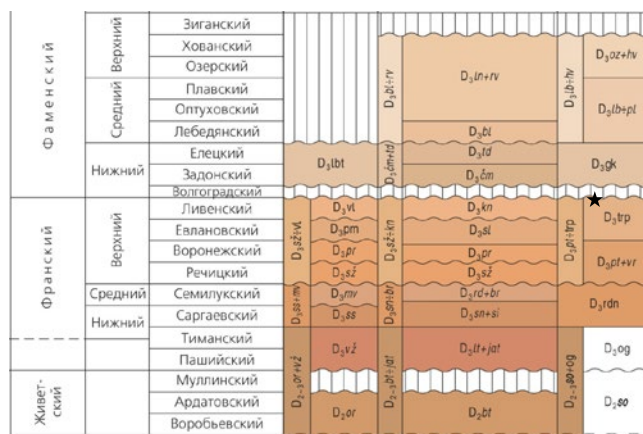


Рис. 2. Фрагмент схемы корреляции франских отложений, ГКК-1000-3, О-(35)36 [2] (стратиграфическое положение ильменских и бурегских слоев ★)

Ильменские слои, на западе описываемого района слагающие нижнюю часть обрыва глинта, представлены глинами, алевролитами и тонкозернистыми песчаниками, в основании обрыва глинта иногда наблюдаются редкие прослои глинисто-



органогенных известняков [19]. Основная часть берегового обрыва сложена известняками бурегских слоев, в составе которых можно выделить две четко различающиеся толщи. Нижняя представлена красноцветными брахиоподовыми ракушняками и верхняя — микритовыми известняками [17, 21]. При общем субгоризонтальном залегании пород девона в пределах глинта, так же, как и на прилегающей территории, наблюдаются единичные дислокации пород девона: брахиантиклинальные и флексурные осложнения моноклинали, осложненные разрывными нарушениями [22].

Четвертичный комплекс представлен отложениями верхнего плейстоцена, имеющими ледниковое, озерно-ледниковое и флювиогляциальное происхождение, а также голоценовыми образованиями озер, рек и болот.

### Специфика гидрогеологических условий

Рассматриваемая территория Приильмения располагается в пределах северо-западного крыла Ленинградского артезианского бассейна [8]. Региональный базис дренирования — Финский залив. Обводненность связана как с отложениями четвертичного возраста, так и с дочетвертичными породами. К основным гидрогеологическим подразделениям дочетвертичного разреза, по данным Н. В. Капустиной, И. В. Баскова и Е. А. Шебеста и др. 2010 г, относятся: вендский водоносный комплекс (V) до 100 м., верхневендско-нижнекембрийский водоносный комплекс ( $V_2-E_1$ ), кембро-ордовикский водоносный комплекс ( $E_1-O$ ) до 145 м, ордовикский водоносный комплекс (O) до 126 м и водоносные комплексы девона (табл. 1).

Как показано выше, геологический разрез пород девона ГДП имеет четко выраженное трехчленное деление на нижнюю песчаниковую, карбонатную и верхнюю пестроцветную толщ. К нижней песчаниковой толще среднего и верхнего девона приуро-

чен Арукюлакско-аматский водоносный горизонт, к комплексу карбонатной толщи верхнего девона — Саргаевский и Бурегский водоносные горизонты<sup>1</sup>, и комплексу верхней пестроцветной толщи верхнего девона (пестроцветные глины, алевролиты, песчаники) мощностью более 100 м — средневерхнефранский водоносный горизонт. Водоносный комплекс нижней песчаниковой толщи среднего и верхнего девона характеризуется высокой водообильностью. С ним связаны Старорусское месторождение минеральных вод и проявления минеральных вод в бассейнах Шелони и Волхова [16]. В пределах Приильменской низины наблюдается самоизлив соленых вод нижней песчаниковой толщи среднего и верхнего девона. В водоносном комплексе карбонатной толщи верхнего девона наиболее водообильным является бурегский горизонт с удельными дебитами скважин в несколько литров в секунду (развит к югу от озера Ильмень). Водоносный комплекс верхней пестроцветной толщи верхнего девона имеет невысокую водообильность.

Вещественный состав девонских отложений характеризуется большим литологическим разнообразием (известняки, доломиты, песчаники, мергели, эвапориты, глины). Поэтому состав пресных вод здесь отличается некоторой пестротой, присутствием сульфатов и хлоридов при общем гидрокарбонатном составе. Мощность зоны пресных вод сравнительно невелика — до 100–200 м [8,9]. Пресные воды содержат четвертичные отложения и бурегские слои верхнего девона. Важной гидрогеологической особенностью является наличие гидравлической связи между водами четвертичных отложений и бурегским водоносным горизонтом, так как между ними нет регионального водоупора.

Котловина озера Ильмень служит областью региональной разгрузки подземных вод ГДП. Кроме того, она расположена в пределах уникальной с гидрогеологической точки зрения области —

**Таблица 1. Гидрогеологические подразделения девонского разреза [8, 9]**

<i>Водоносные или водоупорные комплексы</i>	<i>Порода</i>
Средне-верхнефранский водоносный горизонт — $D_3fr_{2-3}$	Пески, песчаники с прослоями алевролитов, глин, мергелей и известняка
Бурегский водоносный горизонт — $D_3br$	Известняки
Семилукский относительно водоупорный горизонт $D_{2sm}$	Глины, мергели с прослоями и линзами песков и известняков
Саргаевский водоносный горизонт — $D_{2sr}$	Известняки, доломиты, мергели с прослоями глин
Арукюлакско-аматский водоносный горизонт — $D_{3ar}-D_{2am}$	Пески, песчаники с прослоями глин, алевролиты и аргиллиты
Наровский относительно водоупорный горизонт — $D_{2ef2(nr)}$	Доломиты, известняки, мергели с прослоями глин

<sup>1</sup> Карбонатная толща представляет собой переслаивание известняков, доломитов, мергелей, глин. В Южном Приильмении в кровле толщи развит слой глин рдейской свиты мощностью до 20 м, перекрытых известняками бурегской свиты мощностью до 5–6 м. Суммарная мощность водоносного комплекса карбонатной толщи верхнего девона достигает 120 м.

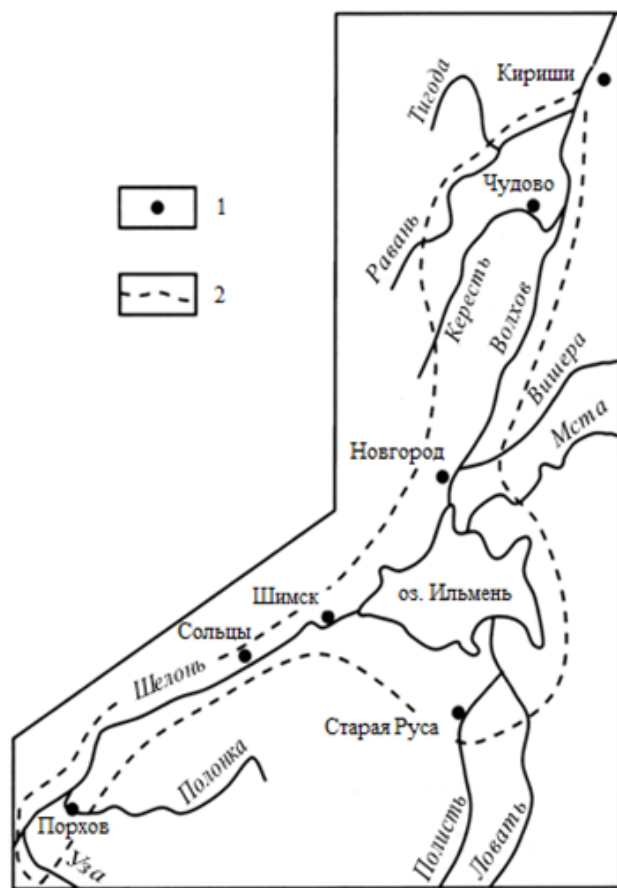


Рис.3 Приильменский очаг разгрузки минеральных вод [16]

1 — населенный пункт; 2 — контур очага

Приильменского очага разгрузки минеральных вод (рис. 3). В пределах этой области пьезометрическая поверхность водоносного комплекса нижней песчанниковой толщи девона и всех нижележащих водоносных комплексов располагается выше дневной поверхности, что обуславливает возможность их самоизлива почти в любой точке Ильменско-Волховской низины (этот водоносный комплекс — основной по ресурсам минеральных вод на рассматриваемой территории). Уровни воды устанавливаются выше поверхности земли на 14–16 м. Дебит скважин при самоизливе достигает 100 л/с [16].

Подземные воды характеризуются как соленые и рассолы (18–20 г/дм<sup>3</sup>) хлоридного кальциево-натриевого состава. По международной классификации они относятся к хлоридно-натриево-кальциевой группе. При минерализации до 7–8 г/дм<sup>3</sup> вода может использоваться как лечебная и питьевая [16]. Близкое расположение региональной области питания — Валдайской возвышенности и региональной области разгрузки — Ильменской котловины создают сложные условия взаимодействия пресных и соленых вод.

На территории ГДП насчитывается более 300 самоизливающихся скважин. Большая их часть в Старой Руссе была пробурена еще в XIX веке. Например, Царицынский источник, один из основных минеральных источников Старой Руссы, был открыт путем бурения скважины для солеваренного завода в XIX веке (рис. 4). Вторым известным источником Старой Руссы является Муравьевский фонтан на территории санатория. Ежедневно только в Старой Руссе через естественные и искусственные источники может выбрасываться более 30 тысяч кубометров минеральной воды. С этим водным потоком в сутки из земных недр выносятся около 570 тонн различных солей [16].

На Руси солеварение приобрело широкую известность начиная с XV века. Для варки соли использовались подземные воды с содержанием хлоридно-натриевых солей до 20 мг/л. В 1625 г. в Старой Руссе насчитывалось более 500 варниц. В 1771 году здесь начал действовать крупный солеваренный завод (рис. 5). Только во второй половине XIX в производство соли в районе озера Ильмень прекратилось (на месте старых источников был основан санаторий).

Разгрузка соленых вод предопределила особенности химического состава поверхностных вод Приильменской низины. Так, в низовье реки Шелони в отдельные годы минерализация воды достигает 1,5–1,8 г/дм<sup>3</sup> при содержании хлорид-иона до 0,8 г/дм<sup>3</sup>. В результате инфильтрации высокоминерализованных вод из фонтанирующих скважин, а также подтока минерализованных вод из старых скважин и источников, на исследуемой территории происходит также засоление грунтовых вод четвертичных отложений и бурежского



Рис.4 Царицынский источник (г. Старая Русса)  
(фото авторов)

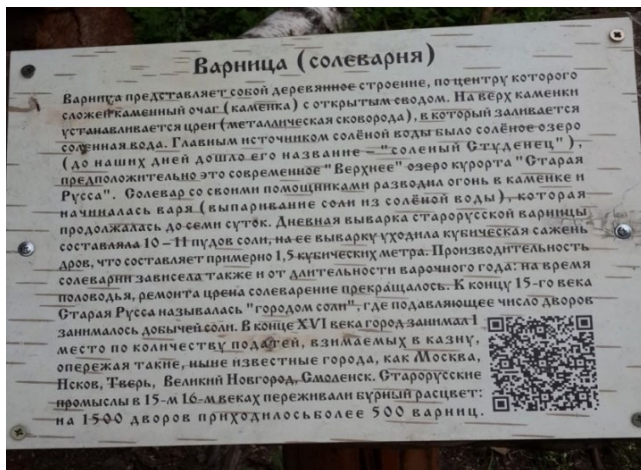


Рис. 5 Информационный стенд, посвященный варницам (фото авторов)

водоносного горизонта. На участках разгрузки, таким образом, важным вопросом является охрана соленых вод. Безграмотное бурение и безхозяйственная эксплуатация скважин и источников с соленой водой часто приносит ущерб самого разнообразного характера. Очаги разгрузки соленых вод и рассолов требуют изучения, организации постоянных режимных наблюдений, бережного отношения. Кроме того, в Старой Руссе свободно функционируют старые скважины (рис. 4), которые находятся в свободном доступе и, к сожалению, пока не предполагается на этом участке решение охранных вопросов. Дальнейшая работа этих скважин — пример экологической неадекватности.

### Характер и степень проявления гравитационных процессов в пределах Ильменского глинта

Несмотря на наличие паспорта особо охраняемой территории, геологический объект «Ильменский глинт» находится под угрозой разрушения. На современный вид этого уникального обнажения влияют такие процессы как выветривание, эрозия и локально развитые на склонах осыпи, обвалы, оползни и участки, находящиеся под угрозой обрушения. Наибольшую опасность состоянию Ильменского глинта, по данным наблюдений, оказывают гравитационные процессы.

На южном береговом уступе озера Ильмень, перекрывающие его четвертичные отложения маломощны и распространены неравномерно, поэтому нижележащие карбонатные породы подвергаются длительному воздействию атмосферных и поверхностных вод, активно развиваются процессы химического и физического выветривания. Так, по данным лабораторных исследований единичных образцов карбонатных пород, отобранных

из обнаженной части уступа, видно, что показатели физических свойств имеют более низкие значения: параметры плотности варьируют в значительных пределах: от  $1,95 \text{ г/см}^3$  (плитчатый известняк) до  $2,66 \text{ г/см}^3$  (плитчатый известняк с лито- и биокластами.); плотности минеральной части — от  $2,70 \text{ г/см}^3$  (плитчатый известняк) до  $2,81 \text{ г/см}^3$  (ожелезненный ракушняк).

Наличие многочисленных трещин в карбонатных породах способствует общему увеличению трещиноватости всей толщи известняков. Это состояние наиболее выражено в известняках бурегской свиты, где наблюдаются тектонические, литогенетические трещины и трещины выветривания. При этом трещины разнонаправленные, доминируют субвертикальные трещины с шириной раскрытия до 15 см (рис. 6); образуются блоки оседания известняков, соскальзывающие вниз по смоченному водоупору поверхности глин, формируя коллювий, часто закрывающий нижнюю часть уступа глинта (рис. 7). В верхней части склона формируются трещины отрыва, крутые, ориентированные по его простиранию.

Хорошо видно, как поверхность нарушения проходит через карбонатные породы, согласно развитой трещиноватости, почти вертикально, пересекает песчаники, а затем проходит по их контакту с глинами.

Природные риски, воздействующие на породы, усугубляются техногенными факторами, в первую очередь, такими как перемещение сельскохозяйственных машин, автотранспорта туристов, часто доезжающих почти до бровки глинта.

Одной из причин, обуславливающих активное развитие оползневых процессов на Ильменском глинте, является наличие достаточно мощной глинистой толщи в основании берегового обрыва (глины ильменских слоев) (рис. 8) и деятельность подземных вод, присутствующих в известняках и песчаниках, которые при их разгрузке на обрывах смачивают поверхность нижележащих глин (по этой поверхности происходит сползание блоков карбонатных пород). На оползневых участках наблюдаются водопроявления в виде мочажин (рис. 9).

Сезонные колебания способствуют ослаблению прочности глинистых пород вследствие изменения их физического состояния при увлажнении, набухании, разуплотнении, оттаивании после промерзания, нарушении естественного сложения. Гравитационные процессы имеют более активный характер развития в весенний период.

Образцы глинистых пород были отобраны в долине р. Псижи (д. Буреги) (образец № 1) и





Рис. 6. Характер трещиноватости известняков бурегской свиты (фото авторов)



Рис 7. Блок оседания карбонатных пород в центральной части уступа «Ильменский глинт» (фото авторов)

в основании оползневого склона озера Ильмень (образец № 2). Это глина зеленовато-серая, с пятнами фиолетового цвета, с отдельными обломками известняка. Согласно гранулометрическому анализу, рассматриваемые образцы характеризуются как глина тяжелая. Обращает на себя внимание высокое содержание глинистых частиц (до 78%); диапазон варьирования пылеватых фракций составляет 21–28%, песчаные фракции практически отсутствуют (табл. 2).

Глины ильменских слоев, являясь породами достаточно уплотненными, имеют сравнительно умеренную естественную влажность, полутвердую и твердую консистенцию. В тоже время, в зоне нарушения (подшова оползня), по данным исследований глинистых образцов, величина влажности увеличилась и составила 35%, порода характеризуется как тугопластичная; плотность естественного сложения варьирует в пределах от 1,92 до 2,00 г/см<sup>3</sup>, плотность минеральной части



Рис. 8. Глины ильменских слоев в коренном обнажении склона (фото авторов)



Рис. 9. Мочажины в основании оползневого склона (фото авторов)

**Таблица 2. Гранулометрический состав образцов глинистой породы (составлено авторами)**

Номер образца	Содержание фракций в процентах, %							
	1,0–0,5	0,5–0,25	0,25–0,1	0,1–0,05	0,05–0,01	0,01–0,002	0,002–0,001	<0,001
№ 1	сл	сл	сл	1	9	12	22	56
№ 2			сл	1	15	13	20	51

**Таблица 3. Продолжительность наблюдения и деформация набухания образцов глинистых пород (составлено авторами)**

Продолжительность наблюдения, час	0	0,5	1,0	1,5	22,0	45,0	69,5
Деформация набухания, мм (обр.№ 1)	Залит водой	0,28	0,40	0,45	1,09	1,13	1,13
Деформация набухания, мм (обр.№ 2)	Залит водой	0,30	0,40	0,50	1,08	1,14	1,15

глин соответствует их минеральному составу и равна 2,73 г/см<sup>3</sup>.

Глины набухают и характеризуются средней водостойкостью. Средняя величина свободного набухания глин по результатам лабораторных исследований достигает 11%, влажность набухания образцов глин (№ 1–0,441 д.е., № 2–0,435 д.е.). Данные по набуханию приведены в таблице 3. Процесс

часть Ильменского глинта (устье реки Саватейки — главный спуск «Ласточкины гнезда»), протяженностью 2,6 км; участок № 3 — главный спуск — устье реки Псижи протяженностью 2,5 км. Ниже приведем краткую характеристику состояния склона на каждом участке.

*Участок 1.* Практически весь рассматриваемый склон имеет ярко выраженный оползневой характер, зафиксировано 6 оползневых подвижек (табл. 4). На этом участке, согласно наблюдениям местных жителей, наиболее часто они случаются в период ливневых дождей и таяния снега. Разрез (снизу вверх): 1) в нижней части голубые глины с прослоями пестроцветных (ильменские слои), закрыты оползневыми массами; 2) песчаники и алевролиты ильменских слоев; в пределах участка меняют свою мощность (от 1 до 4,5 м) и состав; местами слоистые, имеют тонкие глинистые прослойки; в кровле песчаников фиксируются зоны увлажнения — выходы подземных вод; 3) брахиоподовый ракушняк (мощность 1,2 м); является более прочным слоем по сравнению с вышележащими известняками; на контакте с нижележащими более слабыми песчаниками образуются глубокие ниши, что способствует обрушению блоков вышележащих карбонатных пород; 4) плитчатые известняки бурежского горизонта мощностью от 2 до 4 м; наблюдаются трещины субгоризонтальные, субвертикальные, северо-западного и северо-восточного направлений (в виде неправильной кирпичной кладки); по отдельным трещинам смещаются блоки карбонатных пород (видны гладкие стенки отрыва); 5) песчано-глинистые отложения ледникового генезиса с линзами гравийно-галечного материала; мощность этих отложений меняется вдоль склона и достигает 3 м.

К западу склон выполаживается, в разрезе наблюдаются преимущественно пестроцвет-

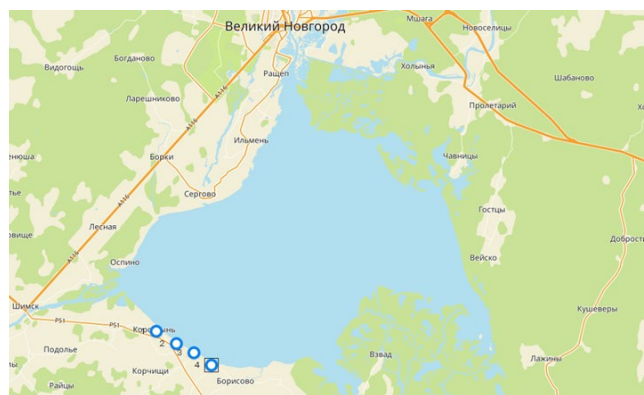


Рис. 10. Расположение оползневых участков Ильменского глинта: 1 — Коростынь, 2 — Пустошь, 3 — «Ласточкины гнезда», 4 — устье Псижи

набухания еще больше ослабляет связи в грунте, приводит к падению ее прочности.

На основе рекогносцировочных наблюдений, выполненных авторами на Ильменском побережье в различные периоды, была проведена качественная оценка устойчивости его склоновой части; условно выделено 3 участка, отличающихся друг от друга характером и степенью проявления оползневых процессов (рис. 10): участок № 1 — район д. Коростынь — д. Пустошь (устье реки Саватейки) протяженностью 2 км; участок № 2 — центральная



**Таблица 4. Оползневой участок в районе д. Коростынь — д. Пустошь (устье реки Саватейки) (составлено авторами)**

Оползень	Описание
I-1	Оползень имеет ширину 50–60 м; видна крутая стенка отрыва карбонатных пород с наметившимися новыми блоками для обрушения; выше бровки коренного уступа зафиксированы трещины отрыва. Первая оползневая терраса представляет собой сместившийся блок карбонатных пород; вторая оползневая терраса — песчано-глинистая масса с обломками карбонатных пород и гравийно-галечных отложений, локальные участки покрыты осыпью.
I-2	Ширина оползневой участка 110 м. На расстоянии 9,7 м от береговой линии озера наблюдается мощный блок глинистой массы, образовавшей уступ высотой 8 м под углом 60°. На оползневом склоне видны трещины, локальные подвижки глинистых масс по склону.
I-3	Ширина оползня 70 м. В верхней части склон задернован. Отмечается значительная мощность четвертичных отложений. Склон пологий. В нижней части склона по всему оползневому участку наблюдаются свежие оплывины. По гладкой поверхности видны смещения глинистых масс. Свежие подвижки наблюдаются вдоль всего склона.
I-4	Оползневой участок находится в 105 м от предыдущего в сторону деревни Пустошь. В оползневом теле наблюдаются сместившиеся блоки песчаника, обломки известняка. Тело оползня задерновано.
I-5	Расположен в 100 м от предыдущей точки в сторону деревни Пустошь. В точке наблюдения — оползень асеквентного типа. Поверхность скольжения проходит по глине, наблюдаются свежие смещения почвенного покрова и делювиальных образований, уменьшается высота коренного уступа. Подошва оползня приурочена к основанию склона.
I-6	Оползень шириной 45 м расположен в 150 м от предыдущей точки наблюдения в сторону деревни Пустошь. Морфология оползня похожа на I-5. Оползень асеквентного типа, стабилизирован. Протяженность проявления активизации процесса на склоне порядка 130 м.



Рис.11. Морфология оползневой участка глинта на участке I (фото авторов)

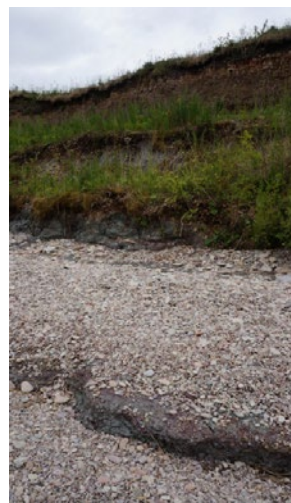


Рис.12. Общий вид оползневой склона на участке I (фото авторов)

ные ильменские глины, перекрытые песчано-глинистыми отложениями четвертичного возраста. Факторы активизации: снеготаяние, сток дождевых и талых вод, абразия, разгрузка грунтовых вод. Примеры оползневых деформаций на участке I:

- крупный оползень в зоне расположения дислокаций (район д. Коростынь) был зафиксирован в июне 2005 г.; оползневые подвижки неоднократно возобновлялись, обрушались отдельные блоки карбонатных пород;
- обрушение береговой линии озера Ильмень (район д. Коростынь) произошло 27 апреля 2024 г. (данные информационного портала г. Старая Русса). На рисунках 11 и 12 показаны морфологические особенности оползневой склона (участок I).

*Участок II.* На участке зафиксировано 4 оползня, в основании склона всюду залегает толща зеленоватых ильменских глин (табл. 5). Кровля глинистого слоя расположена несколько выше уровня озера, а подошва опускается ниже его уровня. На глинах залегает: песчаник (ильменские слои), бурегский известняк-ракушняк, бурегский плитчатый и комковатый известняк и четвертичные отложения. Оползневые тела инсеквентного типа. Базис — урез оз. Ильмень. По ходу маршрута с западной части на восточную вдоль береговой линии оз. Ильмень меняется высота коренного уступа. Вдоль всего оползневой склона наблюдаются мочажины, фиксируются свежие оползневые тела (рис. 13, 14). Факторы активизации: снеготаяние и ливневые осадки, абразия.

**Таблица 5. Центральная часть Ильменского глинта (устье реки Саватейки — главный спуск «Ласточкины гнезда») (составлено авторами)**

Оползень	Описание
II-1	(100 метров от спуска). В коренном обнажении (сверху вниз): почвенно-растительный слой (0,0–0,4 м); известняки плитчатые бургских слоев (0,4–2,7 м); ракушняк (2,7–3,8); песчаник ильменских слоев (3,8–7,1 м). Оползневое тело имеет сложный бугристый рельеф. В теле оползня обломки известняка и глыбы песчаника. Вдоль всего оползневого склона наблюдаются мочажины.
II-2	300 метров от спуска «Ласточкины гнезда». Оползень шириной захвата 60–70 м. В оползневом теле глыбы опрокинутых блоков пород (песчаники и известняки). Коренной уступ частично обнажен. По простирацию оползня до т.н. II.3 фиксируются новые обрушения коренного склона.
II-3	Зафиксировано разрывное нарушение и складка с пологими крыльями. Угол наклона крыла складки 25°. В ядре складки: с восточной стороны песчаник, прикрытый делювием, с западной стороны фиксируется глина. На склоне оползневое тело повсеместно покрыто обломками карбонатных пород.
II-4	В точке наблюдения коренное обнажение плитчатых известняков с оползневыми смещенными массами у подножия склона. Пляжная зона 13–15 м. Сверху блоки карбонатных пород различного размера. Наблюдаются отдельные выходы подземных вод (локальное заболачивание пляжной зоны).



Рис. 13. Общий вид центральной части Ильменского глинта, нижняя часть разреза закрыта коллювиальными отложениями и задернована (фото Р. А. Щеколдина)



Рис.14. Фрагмент оползневого участка II (фото Р. А. Щеколдина)

*Участок III.* В береговом обрыве рассматриваемого участка обнажается следующая последовательность пород: в нижней части склона — пластичные синие глины (2,1 м), их перекрывают слоистые и косо-слоистые песчаники (1,1 м), выше плитчатый известняк (1,3 м), в голове оползня четвертичные отложения (0,5–0,6 м). Вдоль оползневого склона локально наблюдаются выходы подземных вод, фиксируются

свежие оползневые тела (табл. 6, рис. 15). Факторы активизации: снеготаяние и ливневые осадки, абразия.

На территории Российской Федерации проводится мониторинг опасных экзогенных геологических процессов [25]. На южном побережье озера Ильмень выделены оползневой, осыпной и обвальными типами гравитационных процессов (рис. 16, табл. 7).

**Таблица 6. Оползневой участок — главный спуск — устье реки Псижи протяженностью 2,5 км (составлено авторами)**

Оползень	Описание
III-1	Спуск «Ласточкины гнезда». У подошвы оползня выход глины. Выше — песчаник, ракушняк и известняк плитчатый. На протяжении 50 м фиксируется понижение; у края берегового обрыва возможны трещины отрыва на расстоянии 1 м и 2 м.
III-2	200 м от спуска «Ласточкины гнезда» в восточном направлении. Ширина оползневого участка 25 м. В пределах оползня на расстоянии 1,5 м от бровки видно понижение. Вдоль оползня бровка уступа неровная. Поверхность уступа бугристая. Четко намечается новый блок смещения шириной 20–25 м; стенка отрыва в голове оползня. На расстоянии 235 м от точки III-1 наблюдаются бывшие немецкие окопы.



**Таблица 7. Описание гравитационных процессов (осыпного, обвального и оползневой типа) в восточной части Ильменского глинта (фрагмент из таблицы интерактивной карты проявлений опасных экзогенных геологических процессов на территории Российской Федерации) <https://egpmapold.geomonitoring.ru> [25]**

Номер по таблице интерактивной карты; тип процесса	Местоположение (дата обследования)	Описание процесса
Проявление № 53.2023.748 (Осыпной)	Наговское с/п, д. Ретлё на ЮВ вдоль берегового склона оз. Ильмень	Вертикальный уступ (4–6 м), сложен трещиноватыми плитчатыми известняками бурегского горизонта, поражен оползневой процессом. Склоны свежие, не окисленные. Об активности процесса свидетельствуют многочисленные осыпные лотки в основании уступа, а также нависшие блоки и трещины в уступе длиной до 1,5 м. (Протяженность проявления процесса — 300 м, длина 20 м). Факторы активизации: сток дождевых и талых вод, выветривание, абразия. Воздействию подвержен Ильменский глинт — геологический памятник, а также земли водоохранной зоны озера Ильмень.
Проявление № 53.2023.743 (Обвальный)	д. Устрека, вдоль ул. Набережная (от ул. Заводская до ул. Зелёная)	Вертикальный уступ (от 3,5 до 4,4 м), сложен трещиноватыми плитчатыми известняками бурегского горизонта. Склоны свежие, не окисленные. Об активности процесса свидетельствуют свежие обломки известняка в основании уступа, а также нависшие блоки и глубокие трещины в уступе длиной до 3 м. (протяженность проявления 540 м, длина — 3 м). Разрушается Ильменский глинт — геологический памятник природы. Факторы активизации: техногенное воздействие, атмосферные осадки, абразия, сток талых и грунтовых вод. Базис развития — урез оз. Ильмень.
Проявление № 53.2023.747 (Оползневой)	Наговское с/п, д. Ретлё на СЗ вдоль берегового склона оз. Ильмень	Высота склона — 5–8 м; сложен в нижней части голубыми глинами с прослоями пестроцветных, в верхней — известняками бурегского горизонта и песчано-глинистыми отложениями. Оползневые процессы формируют оползневой фронт вдоль берегового уступа. Оползневые тела в средней и нижней частях склона свежие, влажные, что свидетельствует о недавнем пике активности процесса; формируются инсеквентные оползневые тела. Протяженность проявления — 230 м, длина до 20 м. Базис — урез оз. Ильмень. Факторы активизации: снеготаяние и атмосферные осадки, абразия. Наибольшее воздействие оказывается на земли водоохранного фонда и спусковые лестницы



Рис. 15. Оползневой участок в восточной части Ильменского глинта (фото авторов)



Типы гравитационных процессов	
	Оползневой
	Осыпной
	Обвальный

Рис. 16. Фрагмент интерактивной карты проявлений опасных экзогенных геологических процессов на территории Российской Федерации <https://egpmapold.geomonitoring.ru> [27]

Согласно данным мониторинга, большинство оползней, возникающих в вышеописанных геологических условиях, относится к типу инсеквентных [25]. К настоящему времени разработано большое количество классификаций оползневых деформаций с учетом разных признаков. По классификации Г. С. Золотарева (1983) на береговом уступе озера Ильмень наиболее распространены оползни выдавливания блокового строения прочных пород с деформациями ползучести в глинистых отложениях (ильменские слои). Существуют и другие подходы к типизации такого рода ополз-

невых процессов [10,11]. Можно предположить, что на всем протяжении Ильменского глинта, исходя из положения оползневых масс на склоне, формируются оползни сдвига, на отдельных участках, где в разрезе преобладают глинистые слои — оползни течения.

Вышеописанная геодинамическая обстановка в пределах Ильменского глинта приводит к посто-



явному изменению состояния особо ценного геологического объекта, изменению морфологии берегового обрыва, характера и степени обнаженности, утраты аттрактивности на отдельных участках глинта. К сожалению, хотя в настоящее время и уделяется внимание ООПТ [1,5], акцент исследований направлен на изучение опасных геологических процессов для объектов историко-культурного, а не природного наследия [12,23].

### Выводы

Природные процессы, активно протекающие в пределах глинта, усугубленные достаточно интенсив-

ной антропогенной нагрузкой приводят к активному разрушению берегового обрыва и, тем самым, резкому изменению особенностей ООПТ.

Знакомство с геодинамической обстановкой береговой части озера Ильмень показало необходимость проведения комплексных мониторинговых наблюдений за состоянием этого памятника. На основании этих наблюдений можно будет выработать критерии для придания этой территории более высокого статуса и рекомендовать профилактические и ограничивающие мероприятия по защите глинта от современных опасных экзогенных геологических процессов.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Архипенко Т. В., Матусевич Е. И. Экологическое состояние и угрозы уникальным природным комплексам ООПТ // LXXV Герценовские чтения. География: развитие науки и образования. Сб. научных статей, т. II. — 2022. — С. 16–20.
- Венюков П. Н. Отложения девонской системы Европейской России: Опыт их подразделения и параллелизации. — Санкт-Петербург: тип. В. Демакова, 1884. — 303 с.
- Вербицкий В. Р., Вербицкий И. В., Васильева О. В., Саванин В. В. и др. Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1:1 000 000 (третье поколение). Серия Центрально-Европейская. Листы О-35 — Псков, (N-35), О-36 — Санкт-Петербург. Объяснительная записка. — СПб.: Картографическая фабрика ВСЕГЕИ, 2012. — 510 с.
- Вербицкий В. Р., Ненашев Ю. П., Журавлев А. В., Русецкая Г. А. и др. Государственная геологическая карта Российской Федерации масштаба 1: 200 000 (издание второе). Серия Ильменская. Лист О-36-XIV (Великий Новгород). — СПб.: Изд-во ФГУП ВСЕГЕИ, 2007.
- Верниковская О. В. Научно-методические подходы к оценке антропогенного воздействия на особо охраняемые природные территории // Труды БГТУ. Серия 5: Экономика и управление. — 2022. — Т. 256. — № 1. — С. 67–78.
- Геккер Р. Ф. Отложения, фауна и флора Главного девонского поля // Фауна Главного девонского поля. — М.-Л., 1941. — С. 17–84.
- Гельмерсен Г. П. Генеральная карта горных формаций Европейской России // Горн. журнал. — 1841. — № 4.
- Гидрогеологическая карта Ленинградского артезианского бассейна (основных дочетвертичных водоносных горизонтов). Лист О-35,36. Масштаб 1:500000. Составили Е. А. Шебеста, Н. Г. Андреева, А. С. Яновский и др. — Фонды ГП ПКГЭ МПР России. — 2007.
- Гидрогеологическая карта лист О-35-VI, масштаб 1:200000. Составили Н. В. Капустина, И. В. Баскова, Е. А. Шебеста и др. — Фонды ГП ПКГЭ МПР России. — 2010.
- Зеркаль О. В. Оползни скольжения и оползни сдвига: особенности развития и типизация // Инженерная геология. — 2021. — Том XVI. — № 1. — С. 38–58.
- Зеркаль О. В. Оползни течения: роль строения массивов грунтов в их формировании, особенности развития и типизация//Грунтоведение. — СПб, 2022. — № 1(18). — С. 3–23.
- Карфидова Е. А., Сизов А. П. Учёт риска негативных геологических процессов в сохранении историко- культурного наследия сверхкрупного города // Информационные ресурсы государственного кадастра недвижимости и территориального планирования в пространственном развитии государства. Коллективная монография под ред. А. П. Сизова. — М.: РУСАЙНС, 2021 — С. 55–60.
- Мищенко А. Л., Суханова О. В. Новгородская область // Ключевые орнитологические территории России. Том 1. Ключевые орнитологические территории международного значения в Европейской России. — М.: Союз охраны птиц России, 2000. — С. 151–158.
- Мурчисон Р. И., Вернейль Ф. Э., Кейзерлинг А. А. Геологическое описание Европейской России и хребта Уральского: в 2 ч. — СПб.: тип. ИАН, 1849. — Ч. 1. — 1141 с.
- Озерецковский Н. Я. Путешествие академика Н. Озерецковского по озерам Ладожскому, Онежскому и вокруг Ильменя: С 15 табл. — 2-м тис-

- нением. — Санкт-Петербург: Имп. акад. наук, 1812. — 560 с.
16. Редкие типы минеральных вод Среднерусского артезианского бассейна // Под ред. А. И. Короткова, А. А. Потапова, В. Г. Румынина. — СПб.: Наука, 2013. — 303 с.
  17. Русецкая Г. А., Тарасенко А. Б., Вербицкий В. Р. и др. Стратотип бурегских слоев (франский ярус, главное девонское поле) // Литосфера. — 2013. — № 5. — С. 42–56.
  18. Сорокин В. С. Этапы развития северо-запада Русской платформы во франском веке. — Рига: Зинатне, 1978. — 282 с.
  19. Тарасенко А. Б., Шишлов С. Б. Литолого-генетические особенности ильменских и бурегских слоев франского яруса в районе южного берега озера Ильмень // Региональная геология и металлогения. — СПб, 2012. — № . 49. — С. 47–55.
  20. Цинкобурова М. Г., Норова Л. П. О выделении геологических памятников регионального значения Главного девонского поля // Известия Русского географического общества. — 2023. — Т. 155. — № 1. — С. 73–88.
  21. Шишлов С. Б., Журавлев А. В., Родина Т. С. Строе-ние и генезис ракушняковых известняков бурегских слоев в стратотипической местности (франский ярус, южное побережье озера Ильмень) // Региональная геология и металлогения. — 2014. — № 58. — С. 45–53.
  22. Шишлов С. Б. Складчатые и разрывные дефор-мации верхнего девона на территории Южного Приильменя (северо-запад Русской плиты) // Региональная геология и металлогения. — 2015. — № 61, С. 21–26.
  23. ГОСТ 55945-2014. Общие требования к инже-нерно-геологическим изысканиям и исследо-ваниям для сохранения объектов культурного наследия. — М.: Стандартиформ, 2014. — 29 с.
  24. Ильменский глинт // Справочно-поисковая система «Уникальные геологические объекты России» <http://www.geomem.ru/Ilmenskij-glint> дата обращения (дата обращения 11.03.2024).
  25. Интерактивная карта проявлений опасных экзо-генных геологических процессов на террито-рии Российской Федерации. <https://egpmapold.geomonitoring.ru>. (дата обращения 21.05.2024).

DOI 10.53278/2306-9139-2024-1-22-33-43

УДК 551.435.2

## ЗОНАЛЬНОСТЬ ПРОФИЛЯ ВЫВЕТРИВАНИЯ СРЕДНЕПЕРМСКИХ ПЕСЧАНИКОВ НА ТЕРРИТОРИИ ВОСТОЧНОГО ЗАКАМЬЯ

### ZONALITY OF THE WEATHERING PROFILE OF MIDDLE PERMIAN SANDSTONES IN THE TERRITORY OF EASTERN ZAKAMYE

© 2024 г. А. И. Латыпов<sup>1</sup>, А. Н. Гараева<sup>2</sup>, Э. А. Королев<sup>3</sup>

© 2024 A. I. Latypov, A. N. Garaeva, E. A. Korolev

<sup>1,2,3</sup> Казанский (Приволжский) федеральный университет, ул. Кремлевская, д. 4/5,  
Казань, 420008, Россия

<sup>1,2,3</sup> Kazan Federal University, bld. 4/5, Kremliovskaya st., Kazan, 420008, Russia

airatlat@mail.ru<sup>1</sup>, anastya-solnce@mail.ru<sup>2</sup>, edik.korolev@gmail.com<sup>3</sup>

**Аннотация.** Работа посвящена изучению основных закономерностей формирования элювиальных песчаников на территории Восточного Закамья — крупного промышленного региона в юго-восточной части Республики Татарстан. Для толщ среднепермских песчаников установлен зональный характер их строения, физико-механических свойств, химического и минерального состава в соответствии со степенью их гипергенного изменения. Получены сведения об элементном составе песчаников и его изменении в процессе выветривания. На основании систематизации и анализа полевых исследований построены региональные зависимости между параметрами статического зондирования и прочностными и деформационными характеристиками грунтов. Полученные результаты имеют важное практическое значение и позволят оптимизировать проектирование и строительство инфраструктуры и сооружений на данной территории.

**Abstract.** This work is about the study of the main patterns of formation of eluvium sandstones in the territory of the Eastern Zakamye. It is a large industrial region on southeastern part of the Republic of Tatarstan. For the thicknesses of the Middle Permian sandstones, the zonal character of their structure, physical and mechanical properties, chemical and mineral composition has been established in accordance with the degree of their hypergenic change. Information has been obtained on the elemental composition of sandstones and its changes during weathering. Based on the systematization and analysis of field studies, regional dependencies between the parameters of cone penetration test and the strength and deformation characteristics of soils are constructed. The results are of great practical importance and make it possible to optimize the design and construction of infrastructure in a given area.

**Ключевые слова:** кора выветривания, элювий, песчаник, песок, минеральный состав, химический состав, среднепермские отложения

**Keywords:** weathering crust, eluvium, sandstone, sand, mineral composition, chemical composition, middle Permian deposits.

#### Введение

Территория Восточного Закамья расположена в юго-восточной части Республики Татарстан южнее реки Кама и восточнее реки Шешмы (рис. 1) и представляет собой развитый регион с высокой антропогенной нагрузкой. На этой территории расположены такие крупные города, как Нижнекамск, Альметьевск, Бугульма, Бавлы, здесь разрабатываются крупнейшие месторождения нефти, например, Ромашкинское, Шугуровское,

Ново-Елховское, проектируются и возводятся крупные объекты нефтяной, химической и сельскохозяйственной промышленности.

Большая часть территории имеет сложные геологические условия из-за широкого распространения элювиальных грунтов, которые образовались в результате изменения исходных горных пород и их минералов в зоне гипергенеза.

Элювиальные грунты Восточного Закамья происходят от выветривания коренных оса-



Рис. 1. Расположение Восточно-Закамского региона в границах Республики Татарстан (показан штриховкой)

дочных пород казанского и уржумского ярусов пермской системы. Они не отображены на картах и не включены в стратиграфическую шкалу кайнозойской группы региона, что создает сложности при их диагностике как в процессе полевых, так и лабораторных работ. Элювиальные грунты быстро изменяют свои физико-механические свойства в плане и глубине, что делает их труднопредсказуемыми с точки зрения выбора проектных решений, а отсутствие единой методики выделения инженерно-геологических элементов в зависимости от степени выветрелости исходных пород ведет к серьезным трудностям при проведении инженерно-геологических исследований, что увеличивает сроки и стоимость проектирования и строительства.

### Теоретический анализ

Активное развитие исследований элювиальных грунтов начало происходить с период с 1950 по 1980 годы, что было связано с рядом фундаментальных исследований Е. М. Сергеева [16], Н. В. Коломенского [10], К. И. Лукашева [13], Г. А. Голодковской [6], В. Д. Ломтадзе [12], Г. К. Бондарика [3], Л. А. Ярз [24], Е. Г. Чаповского [18], В. Т. Трофимова [17]. Основным выдвигаемым тезисом являлось то, что структура и состав элювиальных грунтов, а также их свойства, тесно связаны с геологическим строением территории. При этом толща коры выветривания разделялась на зоны с помощью различных схем, учитывающих множество факторов. Общим для всех исследователей являлось положение о том, что нарушение первичной сохранности связано с разуплотнением массива из-за искусственных и естественных причин, развитием трещиноватости, структурной дезинтеграции, выщелачивания. Для инженерно-геологической практики наиболее популярным было разделение профиля выветри-

вания на три зоны: А — разрушенные, сильновыветрелые и разуплотненные породы; Б — средне-сохранные, отчасти выветрелые и разуплотненные массивы с отдельными расширенными трещинами; В — относительно сохранные, слабовыветрелые массивы горных пород [23].

Дальнейшие работы Н. Н. Маслова [14], Г. С. Золотарева [7;8], В. Б. Швеца [21], В. Н. Широкова [23] имели большое значение в изучении физико-механических свойств элювиальных грунтов, а активное развитие методов математической статистики в этот период помогло выявить основные закономерности изменчивости свойств и состава грунтов для различных территорий.

Современные отечественные исследования связаны с решением прикладных инженерно-геологических задач, связанных с рациональным освоением некоторых ограниченных территорий, например, работы А. А. Сафроновой [15], Э. Р. Черныяка [19], А. М. Коня [11], А. Г. Барановского [2], А. Н. Галкина [5], Д. М. Шестернева [22], Р. К. Илаловой и Ю. Л. Гульбина [9], С. А. Александрова и О. М. Гуман [1].

Зарубежные исследования кор выветривания начали активно развиваться начиная с 50-х годов XX века. Основное внимание уделялось поиску закономерностей в характеристиках выветривания в различных зонах и регионах, например, работы A. L. Little [29], P. G. Fookes [28], F. Derakhshan-Babaei, K. Nosrati и др. [24], N. Meyer, M. Kuhwald и др. [31].

Ряд авторов изучали закономерности формирования кор выветривания в различных климатических и геологических условиях, а также влияние состава пород на характеристики выветривания [32, 33]. Особое внимание уделялось пространственному распространению кор выветривания и составлению соответствующих карт. Работы первых лет XXI века отличает начало использования ГИС-технологий для подробного картирования распространения различных типов кор выветривания [34].

В современных исследованиях A. Dosseto, S. Turner и др. [27], J. Dixon, F. von Blanckenburg [26] намечается тенденция оценки влияния антропогенных факторов и изменений климата на скорость выветривания горных пород и эволюцию кор выветривания.

Таким образом, за рубежом активно продолжается изучение кор выветривания с акцентом на региональные исследования, связанные с конкретными территориями, а также учетом практических аспектов инженерной геологии и геоэкологии. Эти направления исследований представляются важными для дальнейшего изучения кор выветри-

вания и связанных с ними элювиальных грунтов также в контексте российских условий.

### Методика

Исследование основано на обширном фактическом материале, собранном в процессе полевых маршрутных наблюдений и лабораторных испытаний элювиальных грунтов территории Восточного Закамья. Схема расположения точек обследования показана на рисунке 2.

Физико-механические характеристики изучались в лаборатории механики грунтов кафедры общей геологии и гидрогеологии Казанского (Приволжского) федерального университета по общепринятым методикам. Минеральный состав элювиальных глин определялся методом рентгенографических исследований на дифрактометре D2 Phaser (Bruker). Микроструктурные характеристики были изучены на электронном микроскопе FEI XL-30ESEM. Исследования элементного состава проводились на рентгенофлуоресцентном волнодисперсионном спектрометре S8 Tiger (Bruker), который позволяет определять элементный состав твердых, порошкообразных и жидких образцов в диапазоне от В до U в вакууме или атмосфере гелия.

### Результаты и их обсуждение

Анализ строения измененных толщ песчаников по разрезу позволил выделить некоторую зональность и стадийность их постседиментационного преобразования под влиянием процессов гипергенеза (рис. 3).

В неизменном состоянии песчаники зоны сохранный массива (зона Г) обладают плотным сложением, по механическим свойствам соответствуют параметрам скальных грунтов. Согласно ГОСТ 25100-2020, песчаники сохранный массива классифицируются как грунты средней прочности и прочные с пределом прочности на одноосное сжатие 17,6–78,5 МПа, плотные (средняя плотность 2,1–2,4 г/см<sup>3</sup>), пористость 4,1–5,3%. Коэффициент выветрелости в большинстве случаев превышает значение 0,95. По минеральному составу породы относятся к граувакковым песчаникам, известковистым, слабо глинистым. Согласно данным рентгенографического анализа, породы сложены кварцем (32–34%), альбитом (24–26%), микроклином (12–15%), мусковитом (9–11%), кальцитом (15–18%), смешаннослойной иллит-монтмориллонитовой фазой (3–5%), хлоритом (2–3%), каолинитом (~1%) и гематитом (~1%). Кварц, альбит, микроклин и мусковит относятся к обломочной компоненте породы, кальцит — к цементирующему

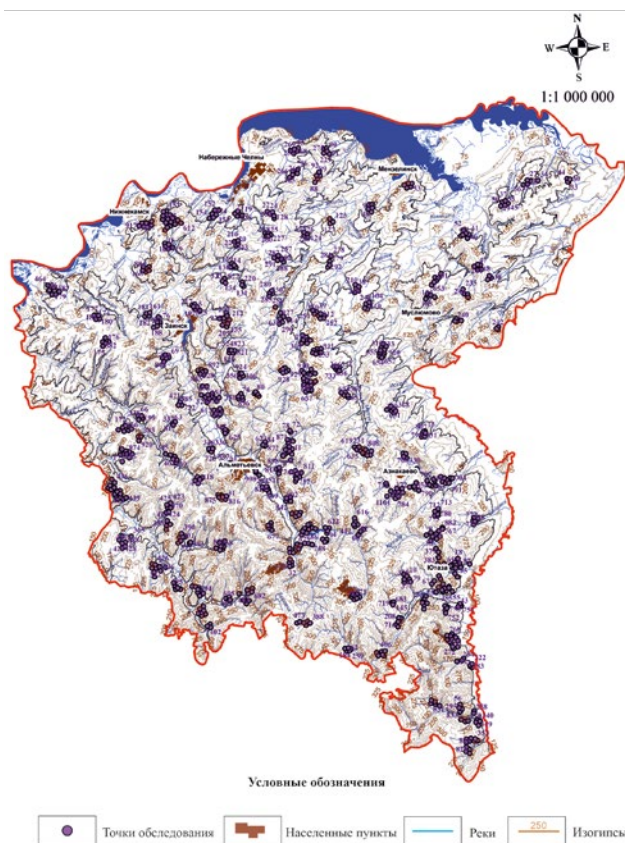


Рис. 2. Схема расположения точек обследования на исследуемой территории

веществу. Глинистые минералы представлены смешаннослойной иллит-монтмориллонитовой фазой, хлоритом и каолинитом. По результатам оптико-микроскопических исследований песчаник по структуре средне- и мелкозернистый, реже тонкозернистый, алевритистый, обладает косослойной текстурой.

Порода на 80–85% сложена обломочной компонентой, на 15–20% — цементирующим минеральным веществом. Обломочная часть имеет размеры от 0,05 до 0,25 мм и представлена окатанными обломками кремнистых и эффузивных пород (70%), угловатыми зернами кварца (25%), чешуйками мусковита (5%). Обломки горных пород и минералов сцементированы кальцитовым цементом с примесью глинистого материала. Цемент базальнопорового типа, по структуре тонко-мелкозернистый за счет перекристаллизации. Пористость неизменных песчаников составляет 4–5%. Межзерновые поры субкапиллярной размерности выполнены водными растворами, препятствующими проникновению в породы внешних атмосферных вод. Подобные типы песчаников на большинстве участков слагают либо нижнюю неизмененную часть разрезов, либо образуют столбообразные релик-





Рис. 3. Зональность преобразования песчаников

товые останцы в гипергенно измененных массивах терригенных пород. С точки зрения строения профиля выветривания, они являются материнским субстратом, по которому развиваются элювиальные отложения (зона сохранного массива).

На неизмененных песчаниках залегает нечетко выраженная зона дезинтеграции профиля выветривания мощностью от 0,4 до 0,6 м (зона В). Она сложена многочисленными глыбами, щебнем и древесной из реликтовых фрагментов сцементированных исходных пород в окружении слабосцементированного, разуплотненного до рыхлого сложения песчаника. Обособленные куски реликтов по периферии несут следы выщелачивания и слабо скрепленные аллотигенные обломки горных пород и минералов. Снизу вверх по разрезу наблюдается последовательное уменьшение размеров реликтовых кусков песчаников, сопровождающееся повышением доли слабо сцементированной разрыхленной породы. Оптико-микроскопические исследования целиков зоны дезинтеграции показали, что в них прошел избирательный процесс выщелачивания. Обломки горных пород и минералов остались неизменными, даже их положение в объеме породы не претерпело коррекций. При этом в локальных участках кальцитовый цемент был выщелочен с образованием пор-каверн размером до 1 мм. В ряде случаев кальцитовый цемент сохранился в виде оторочек по периферии обломочных зерен. Наблюдается тенденция сохранения большей толщины кальцитовой оторочки с увеличением содержания в них глинистого материала. Очевидно, что наличие в кальцитовом цементе глинистых минералов снижает

интенсивность его выщелачивания агрессивными инфильтрационными водами атмосферных осадков.

Лабораторные исследования образцов, отобранных из этой зоны, показали, что их предел прочности на одноосное сжатие несколько ниже чем в зоне Г и находится в интервале 13,2–46,3 МПа. Плотность изменяется в интервале 2,02–2,4 г/см<sup>3</sup>.

Над зоной химической дезинтеграции выше по разрезу залегает зона элювированных песчаников (зона Б), мощность которой может достигать до 20 м.

Необходимо отметить, что термин «элювированный песчаник» введен В. Н. Швановым [20] и характеризует состояние массива, при котором породы претерпели процессы химического или физического выветривания, но сохранили при этом текстурные признаки, свойственные исходной материнской породе.

Песчаники зоны Б сохранили первичную косослоистую текстуру, что не позволяет считать их классическим элювием. В пределах этой зоны из песчаников практически полностью выщелочен кальцитовый цемент. Его фрагменты отмечаются в локальных участках породы на контактах соприкасающихся зерен минерального скелета. В отличие от исходного песчаника, у которого обломки горных пород и минералов не соприкасаются между собой, а «плавают» в кальцитовом цементе, в зоне выщелачивания обломочные зерна контактируют друг с другом боковыми поверхностями. За счет постепенного сближения зерен у них сформировались точечные контакты с механическим типом

связи, чему в немалой степени способствовали шероховатость частиц кремнистых и эффузивных горных пород и угловатость кварцевых зерен. Одновременно с перемещением минеральных обломков произошло перераспределение глинистого материала. Инфильтрационные воды, смачивая глинистые минералы, способствовали их агрегированию и вторичной аккумуляции либо на контактах минеральных частиц, либо на шероховатых поверхностях обломков горных пород. Таким образом, в песчаниках сформировались, наряду с механическими, и коагуляционные типы связи. Глинистые агрегаты, обладая высокой сорбционной активностью, осаждали на поверхности из поровых растворов коллоидные соединения гидроксидов железа. Со временем, по мере «старения» коллоидов, гидроксиды преобразовались в гематит, увеличивая силу структурных связей между минеральными частицами в породе. Оптико-микроскопические исследования разуплотненных песчаников показали, что в пределах всего разреза породы характеризуются рыхлой структурной упаковкой. Минеральные частицы скелета взаимодействуют друг с другом через точечные контакты и мостики из глинистых агрегатов. За счет слабых структурных связей терригенные породы зоны выщелачивания легко разрушаются при механическом воздействии.

Следует сказать, что зона элювированного песчаника не является абсолютно однородной в разрезах. В стенках исследованных карьеров отмечаются следы существования древних водоносных горизонтов, чаще всего грунтовых вод. Зеркало ранее существовавших грунтовых вод хорошо отбивается по темно-бурым лимонитовым конкрециям, расположенным на одном латеральном уровне в стенках карьеров. Присутствие аутигенных железистых агрегатов в разуплотненных песчаниках связано с проникновением в массивы терригенных пород вод заболоченных поверхностных водоемов. Вероятно, инфильтрация началась в плейстоцене, когда территория Восточного Закамья входила в состав обширной перигляциальной зоны и закончилась в голоцене. Выведенные на уровень денудационного среза песчаники казанского яруса, по-видимому, являлись в этот период времени областями подземного стока для заболоченных водоемов. Пресные воды, обогащенные миграционно-способными соединениями железа, достигнув поверхности неизмененных плотных известковистых песчаников, образовывали водоносные горизонты грунтовых вод. При этом на уровне положения зеркала грунтовых вод активизировались процессы вторичного переотложения железистых соединений с образованием рудного горизонта. Постепенно раство-

ря кальцит песчаников, уровень лежа грунтовых вод понижался, и процесс формирования рудного горизонта вновь начинался ниже по разрезу разуплотненных песчаников. Таким образом, в разрезе массива элювированных песчаников могло сформироваться до трех латерально выдержанных слоев, представленных разобщенными лимонитовыми конкрециями.

Процесс изменения структуры песчаников различных зон проиллюстрирован на рисунке 4.

С инженерно-геологической точки зрения зона элювированных песчаников является наиболее проблемной при выполнении инженерных изысканий и принятии проектных решений. Неравномерность выщелачивания цемента и, соответственно, неоднородность прочностных и деформационных свойств грунтов, часто несистемная и потому трудно прогнозируемая, трудность отбора образцов ненарушенного сложения, отсутствие корреляционных зависимостей между данными полевых и лабораторных исследований часто приводят к усложнению проведения инженерно-геологических изысканий и принятию ошибочных решений. Кроме того, маршрутные обследования показали, что в геологическом строении элювия по песчаникам именно песчаники зоны Б имеют преобладающие мощности, достигающие 20 м.

Несмотря на внешнюю схожесть выветрелых песчаников зоны Б с песками зоны А, структурно-текстурные особенности таких массивов, описанные выше, определяют различия в реакции на механическое воздействие, которые и выражаются в существенном отклонении их свойств от ожидаемых.

Трудность отбора образцов ненарушенного сложения песчаников зоны Б при выполнении инженерно-геологических изысканий определяет возможность широкого использования полевых методов оценки прочностных и деформационных характеристик, в частности, метода статического зондирования как наиболее доступного и широко распространенного. При этом эффективность интерпретации полученных результатов существенным образом зависит от наличия корреляционных зависимостей между параметрами зондирования и значениями определяемых показателей свойств грунтов. При изучении элювированных песчаников были выполнены 180 точек статического зондирования на участках исследуемой территории, где мощность элювированных песчаников была достаточной для получения статистически обоснованных данных. Статистическая обработка результатов проводилась отдельно для тонко-, мелко- и среднезернистых песчаников, под которыми в данном контек-



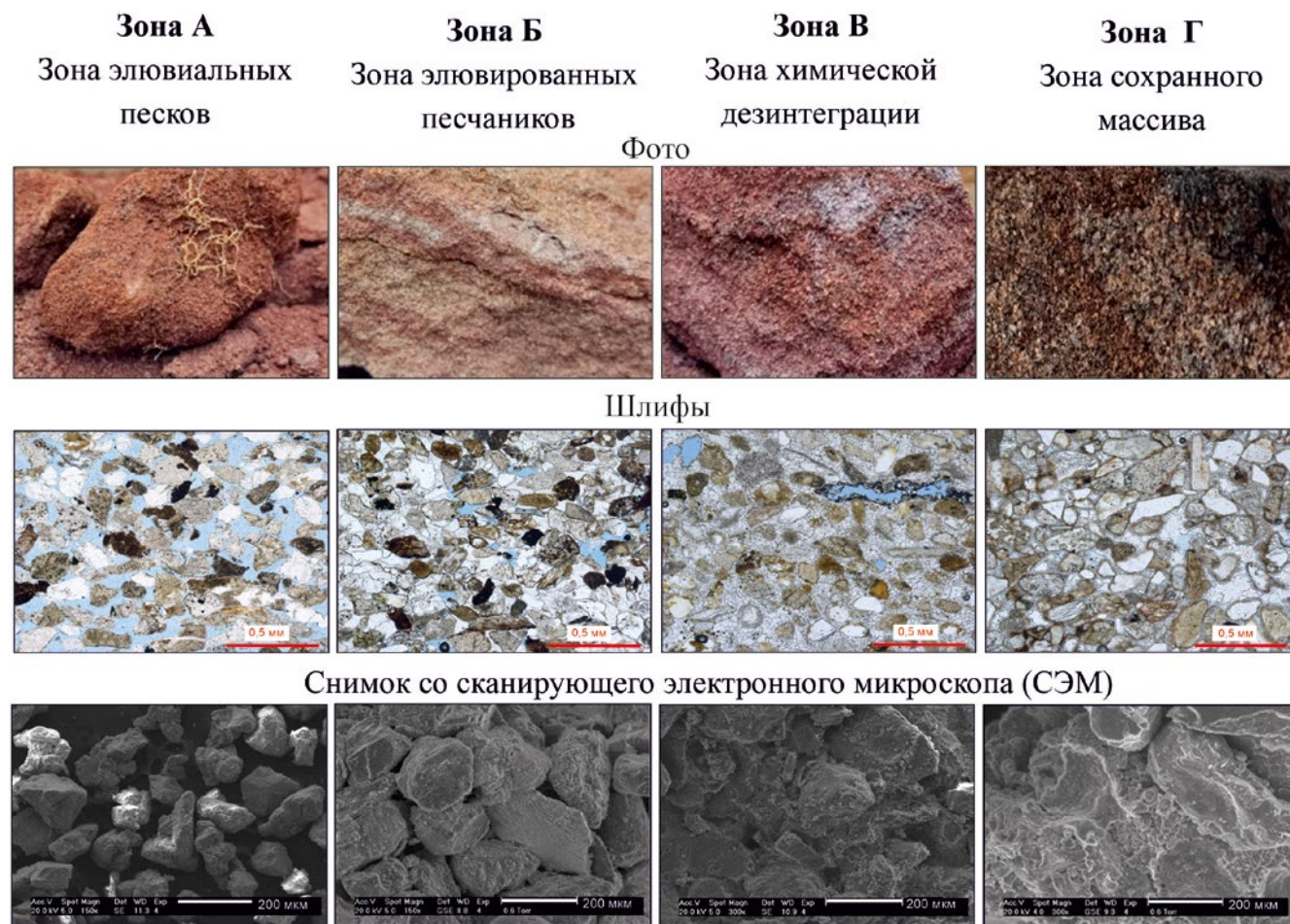


Рис. 4. Изменение структуры песчаников различных зон преобразования

сте понимаются песчаники, гранулометрический состав которых соответствует такой разновидности дисперсного грунта, как песок пылеватый, мелкий и средней крупности соответственно. При этом существенной разницы в основных определяемых характеристиках между песчаниками одного вида на различных участках территории Восточного Закамья и между песчаниками казанского и уржумского ярусов выявлено не было, поэтому обработка была выполнена без разделения по геоморфологической принадлежности и возрасту.

На основании анализа данных статического зондирования была разработана таблица определения плотности сложения песчаников различного гранулометрического состава в зависимости

от нормативных значений удельного сопротивления внедрению конуса  $q_c$  (табл. 1).

Сравнение с аналогичными по гранулометрическому составу дисперсными песками показывает смещение значений удельного сопротивления практически в каждой области в большую сторону. Наличие цемента в структуре песчаника, пусть и по большей части слабого, приводит к тому, что внедрение зонда в массив становится более сложным, что и находит отражение в увеличении значения удельного лобового сопротивления. При этом реальная плотность оказывается ниже, а деформативность выше ожидаемых. В этой связи особенно опасным с практической точки зрения является расчет несущей способности и осадок забивных

**Таблица 1. Плотность сложения песчаников по данным статического зондирования**

Песчаники	Плотность сложения при $q_c$ , МПа		
	плотные	средней плотности	рыхлые
среднезернистые независимо от влажности	>16	7–16	<7
мелкозернистые независимо от влажности	>14	6–14	<6
тонкозернистые: неводонасыщенные водонасыщенные	>12	4–12	<4
	>10	3–10	<3



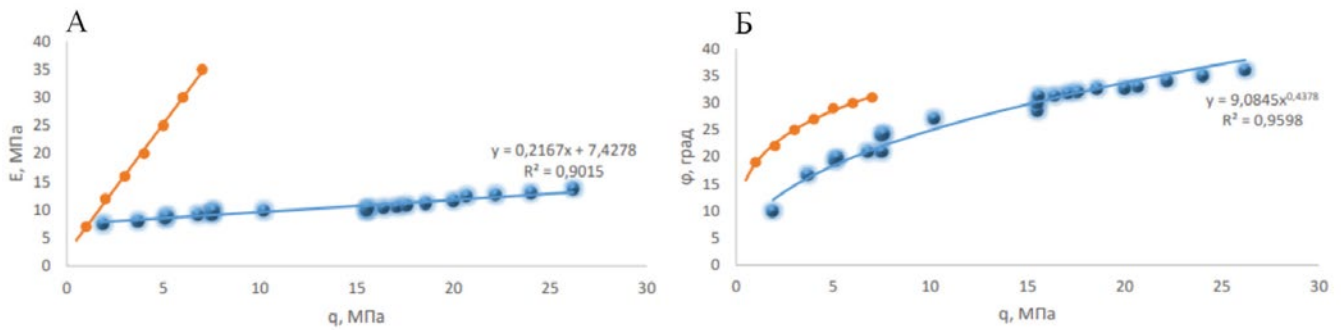


Рис. 5. Экспериментальные (синие линии) и нормативные (красные линии) зависимости модуля деформации E (А) и угла внутреннего трения (Б) от удельного лобового сопротивления зондированию q для тонкозернистого песчаника

свай по данным статического зондирования, т.к. в процессе забивки свай происходит разрушение цемента и, как следствие, значительно ухудшаются прочностные и деформационные свойства грунтового массива.

Вышесказанное иллюстрируется зависимостями модуля деформации и угла внутреннего трения от удельного лобового сопротивления зондированию (рис. 5).

Видно, что наиболее существенные расхождения с нормативными значениями наблюдаются между параметрами зондирования и деформационными характеристиками песчаников. Несмотря на наличие отдельных высоких значений удельного лобового сопротивления до 27 МПа, максимальное значение модуля деформации не превышает 18 МПа.

В таблицах 2, 3 и 4 приведены нормативные значения модуля деформации, угла внутреннего трения и удельного сцепления соответственно, определенные на основании статистической обработки 1762 точек статического зондирования.

Венчают разрезы массивов терригенных пород казанского яруса элювиальные пески, развивающиеся по кровле разуплотненных песчаников зоны выщелачивания. Мощность элювиального слоя, как правило, небольшая, варьирует от 0,2 до 0,6 м. Отсутствие более мощных элювиальных покровов объясняется постоянным сносом рыхлых песков в ближайшие понижения рельефа и речные долины. В отличие от подстилающих песчаников, пески характеризуются отсутствием первичной косослоистой текстуры, более плотным сложением, несколько большим содержанием глинистого мате-

**Таблица 2. Нормативные значения модуля деформации для песчаников по данным статического зондирования**

Вид грунта	Нормативный модуль деформации E <sub>n</sub> при q <sub>c</sub> , МПа													
	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28
среднезернистые независимо от влажности	12	15	18	19	21	22	23	25	25	26	28	30	-	-
мелкозернистые независимо от влажности	11	14	16	16	18	20	21	22	23	24	25	26	28	-
тонкозернистые: неводонасыщ. водонасыщ.	8 7	9 8	10 8	11 9	12 10	12 10	13 11	13 11	14 12	15 13	16 13	17 15	18 16	21 18

**Таблица 3. Нормативные значения угла внутреннего трения для песчаников по данным статического зондирования**

Вид грунта	Нормативный угол внутреннего трения φ <sub>n</sub> при q <sub>c</sub> , град.									
	2	3	4	5	9	13	17	21	25	28
среднезернистые независимо от влажности	22	23	25	26	27	27	29	33	-	-
мелкозернистые независимо от влажности	21	23	23	24	25	26	28	30	32	-
тонкозернистые: неводонасыщенные водонасыщенные	17 16	20 18	22 21	23 21	25 23	26 24	27 25	27 26	29 27	30 29

**Таблица 4. Нормативные значения удельного сцепления для песчаников по данным статического зондирования**

Вид грунта	Нормативное удельное сцепление $c_n$ при $q_0$ град.									
	2	3	4	5	9	13	17	21	25	28
среднезернистые независимо от влажности	14	17	20	25	28	30	33	35	–	–
мелкозернистые независимо от влажности	15	18	21	27	32	34	36	37	38	–
тонкозернистые: неводонасыщенные водонасыщенные	17 16	20 18	24 22	30 28	35 34	42 40	48 46	52 51	57 55	59 57

**Таблица 5. Минералогический состав песчаников**

Литология	Минералогический состав (вес %)									
	Кальцит	Доломит	Гематит	Каолинит	Роговая обманка	Мусковит	Смешанно-слоистые	Альбит	Микроклин	Кварц
Зона А Зона элювиальных песков (30 образцов)	–	–	1÷3 2	1÷5 3	1÷3 2	2÷8 4	14÷18 17	22÷34 28	12÷20 12	28÷39 32
Зона Б Зона элювированных песчаников (30 образцов)	1÷2 1	1÷2 1	1÷2 1	1÷2 1	1÷2 1	1÷4 3	18÷26 21	28÷34 30	6÷10 8	30÷38 33
Зона В Зона химической дезинтеграции (30 образцов)	3÷12 6	1÷2 1	1÷2 1	1÷2 1	1÷2 1	2÷5 3	4÷10 8	26÷34 30	6÷10 8	38÷45 41
Зона Г Зона сохранного массива (30 образцов)	28÷35 30	1÷3 2	1÷3 1	1÷2 1	1÷3 1	1÷2 1	3÷8 5	9÷18 12	1÷3 2	35÷48 45

**Таблица 6. Результаты испытаний песчаников зоны сохранного массива на морозостойкость после 30 циклов**

№ образца	Разрушающая нагрузка, кН	Площадь поверхности разрушения образца, см <sup>2</sup>	Предел прочности при одноосном сжатии, МПа	Коэффициент морозостойкости
	$P$	$F$	$R_c$	$K_{мрз}$
Исходный образец (Альметьевск)	9,53	25,08	38	–
1.1	8,18	25,48	32,1	0,84
1.2	8,32	25,01	33,25	0,88
1.3	8,91	25,04	35,60	0,94
1.4	7,85	25,73	30,52	0,80
1.5	7,93	25,08	31,60	0,83
Исходный образец (Муслюмово)	3,20	25,92	12,33	–
2.1	3,01	25,22	11,94	0,97
2.2	2,56	24,09	10,63	0,86
2.3	2,71	25,92	10,44	0,85
2.4	2,62	25,50	10,29	0,83
2.5	2,55	24,89	10,24	0,83

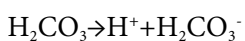
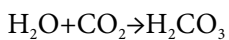
Зона \ Элемент		Na <sub>2</sub> O (%)	MgO (%)	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	SiO <sub>2</sub> (%)	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (%)	K <sub>2</sub> O (%)	TiO <sub>2</sub> (%)	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	CaO (%)	SrO (%)	MnO (%)
Зона элювиальных песков	Зона А	3,81	4,02	16,29	62,68	0,196	1,338	0,422	4,397	1,598	0,019	0,066
Зона элювированных песчаников	Зона Б	3,44	3,55	14,36	56,15	0,174	1,178	0,404	4,173	7,187	0,027	0,150
Зона химической дезинтеграции	Зона В	3,02	3,41	13,56	51,93	0,160	1,106	0,363	3,688	10,491	0,029	0,276
Зона сохранного массива	Зона Г	2,39	3,09	10,20	38,74	0,123	0,777	0,294	2,933	21,066	0,034	0,254

Рис. 6. Элементная зональность песчаников

риала, полным отсутствием кальцитового цемента. Находясь в зоне с контрастными перепадами температур и влажности, обломочные зерна приобрели более устойчивую структурную упаковку, приближенную к ромбоэдрической. Между обломками горных пород и минералов преобладают механические типы структурных связей. Глинистые минералы постоянно удаляются транзитными поверхностными водными потоками.

Процесс изменения структуры и минералогического состава песчаников различных зон проиллюстрирован в таблице 6 и на рисунке 6.

Как видно, процесс химического выветривания в песчаниках можно охарактеризовать протеканием процесса растворения карбонатов:



Таким образом, анализ стадийности изменений массивов песчаников показывает, что основным движущим процессом их гипергенного преобразования является выщелачивание кальцитового цемента. В результате этого первичные структурные связи цементационного типа сменяются более слабыми — коагуляционными и механическими. Особенностью процесса выветривания среднепермских песчаников является относительная сохранность положения минеральных частиц в объеме породного массива, неизменность их структурных и текстурных особенностей, приобретенных на стадии седиментации.

По существу, частично меняется лишь минеральный состав пород за счет удаления кальцита из их порового пространства. Конкурирующий процесс цементации минеральных частиц гидроксидами железа сказывается на увеличении сил сцепления в скелете песчаника и практически не отражается на других свойствах элювированных пород.

Влияние климатических факторов на дезинтеграцию песчаников оценивалось путем проведения испытаний образцов кубической формы размерами 50x50 мм на морозостойкость. Испытания проводились по базовому методу — замораживание образцов, предварительно насыщенных водой, и последующее их оттаивание в воде по следующему режиму: замораживание при температуре  $-18 \pm 2^\circ C$  в течение 24 часов и последующее оттаивание при температуре  $20 \pm 5^\circ C$  в течение не менее 2 часов. Разрушение образцов сопровождалось уменьшением их размеров, массы и соответственно плотности. Для исследования образцы отбирались на 16 различных участках территории Восточного Закамья (по пять образцов на каждом участке).

Для образцов песчаника, выдержавших многократные циклы замораживания и оттаивания, был определен коэффициент морозостойкости  $K_{мрз}$  по формуле:

$$K_{мрз} = \frac{R_{мрз}}{R_c}$$

где  $R_{мрз}$  — предел прочности при сжатии образца после испытания на замораживание-оттаивание,  $R_c$  — предел прочности на одноосное сжатие образца, не подвергнутого испытанию.

Выполненное исследование показало, что песчаники зоны сохранного массива, за редким исключением, могут быть классифицированы как морозостойкие (коэффициенты морозостойкости 0,80–0,98). В таблице 6 в качестве примера приведены результаты испытаний образцов песчаников, отобранных в районе г. Альметьевск и г. Муслумово.

Для образцов, не выдержавших испытание на морозостойкость, определялась потеря массы и, соответственно, величина уменьшения плотности. У таких образцов наблюдалось появление трещин, сколов и других дефектов. Доля таких образцов от общего количества составила 13,3% (12 образцов из общего количества 90 штук), что подтверждает тезис о том, что при гипергенном изменении песчаников преобладающими являются процессы химического выветривания.

### Выводы

В результате выполненных исследований установлено, что гипергенные преобразования песчаников территории Восточного Закамья обусловлены в основном процессами химического выветривания, а физическое выветривание под действием отрицательных температур имеет вторичное значение.

Основным движущим процессом гипергенного преобразования песчаников является выщелачива-

ние кальцитового цемента, в результате чего первичные структурные связи цементационного типа сменяются более слабыми — коагуляционными и механическими. В результате этого процесса в профиле выветривания песчаников сформировались следующие четыре отличные друг от друга в инженерно-геологическом отношении зоны: зона неизменных плотных песчаников, зона химической дезинтеграции, зона элювированных песчаников, зона элювиальных песков.

Оценка плотности сложения и определение параметров механической прочности элювированных песчаников с использованием метода статического зондирования может проводиться только на основании региональных зависимостей и таблиц, построенных для каждого конкретного региона.

Изучение процессов выветривания песчаников с точки зрения описания инженерно-геологических особенностей территории Восточного Закамья становится важным для безопасности и устойчивого развития региона. Полученные данные и результаты исследований позволяют эффективно прогнозировать риски и разрабатывать меры по инженерной защите от неблагоприятных геологических процессов, а также оптимизировать проектирование и строительство инфраструктуры и сооружений на данной территории.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Александров С. А., Гуман О. М. Опыт изучения элювиальных глинистых грунтов уральского региона / Перспективы развития инженерных изысканий в строительстве в Российской Федерации // Материалы Пятнадцатой Общероссийской научно-практической конференции изыскательских организаций. — М.: «Геомаркетинг», 2019. — с. 78–82.
2. Барановский А. Г. Отечественный и мировой опыт изучения скальных и дисперсных элювиальных глинистых грунтов для инженерно-геологических целей // Инженерные изыскания. — 2015. — № 12. — С. 34–41.
3. Бондарик Г. К. Основы теории изменчивости инженерно-геологических свойств горных пород. — М.: Недра, 1971. — С. 272.
4. Бондарик Г. К., Пендин В. В., Ярг Л. А. Инженерная геодинамика. — М.: КДУ, 2007. — 440 с.
5. Галкин А. Н. Грунтовые толщи Беларуси // Литосфера. — 2016. — № 1. — С. 73–79.
6. Голодковская Г. А. О влиянии тектонических процессов на формирование инженерно-геологических свойств горных пород // Вопросы инженерной геологии и грунтоведения. — М.: Изд. МГУ, 1968. — С. 17–34.
7. Золотарев Г. С. Современные задачи инженерно-геологического изучения процессов и кор выветривания // Вопросы инженерно-геологического изучения процессов и кор выветривания. — М.: Изд. МГУ, 1971. — С. 4–25.
8. Золотарев Г. С. Инженерная геодинамика. — М.: Изд-во МГУ, 1983–328 с.
9. Илалова Р.К., Гульбин Ю. Л. Особенности химического состава и термометрия хлоритов остаточной коры выветривания Кольского массива (Северный Урал) // Юбилейный съезд РМО «200 лет РМО»: / Материалы конференции. — СПб.: Горный университет, 2017. — С. 226–228.
10. Коломенский Н. В. Инженерная геология. — М.: Госгеолиздат, 1951–1956. — Т. 1–2. — 320 с.
11. Конев А. М. Строение, состав и свойства латеритные коры выветривания региона Димбокро (Кот д'Ивуар) // Изв. вузов. Геология и разведка. — 2012. — № 1. — С. 4–55.

12. Ломтадзе В. Д. Инженерная геология. Инженерная петрология: учебник для вузов. — Л.: Недра, 1970. — 527 с.
13. Лукашев К. И. Зональные геохимические типы коры выветривания на территории СССР. — Минск: БГУ, 1956. — 305 с.
14. Маслов Н. Н. Основы инженерной геологии и механики грунтов: учебник для вузов — М.: Высшая школа, 1982. — С. 511.
15. Сафронова А. А. Особенности образования карбонатной муки // Карстоведение XXI: теорет. и практич. значение. — Пермь, 2004. — С. 78–81.
16. Сергеев Е. М. Теоретические основы инженерной геологии. Механико-математические основы / Под ред. акад. Е. М. Сергеева. — М.: Недра, 1986. — С. 254.
17. Трофимов В. Т. Закономерности пространственной изменчивости инженерно-геологических условий Западно-Сибирской плиты. — М.: Изд-во МГУ, 1977. — 276 с.
18. Чаповский Е. Г. Инженерная геология (основы инженерно-геологического изучения горных пород). — М.: Высшая школа, 1975. — 296с.
19. Черняк Э. Р. Будущее — за региональными таблицами нормативных и расчетных показателей физико-механических свойств грунтов // Инженерная геология. — 2011. — № 9. — С. 4–9.
20. Шванов В. Н. Песчаные породы и методы их изучения (распространение, структуры, текстуры). — Л.: Недра, 1969. — 248 с.
21. Швец В. Б. Элювиальные грунты как основания сооружений. — 2-е изд., перераб. и доп. — М.: Стройиздат, 1993. — 224 с.
22. Шестернев Д. М. Физическое и химическое выветривание массивов горных пород в криолитозоне // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2017. — № 3. — С. 350–360.
23. Широков В. Н. и др. Рекомендации по оценке просадочности элювиальных грунтов Челябинской области. — Челябинск: ЧПИ, 1989. — 23 с.
24. Ярг Л. А. Изменение физико-механических свойств пород при выветривании. — М.: Недра, 1974. — 144 с.
25. Derakhshan-Babaei F., Nosrati K., Tihomirov D., Chistl M., Sadough H., & Egli M. Relating the spatial variability of chemical weathering and erosion to geological and topographical zones. *Geomorphology*. 363–2020. — 107235.
26. Dixon J., von Blankenburg F. Soils as pacemakers and limiters of global silicate weathering Les sols, des «pacemakers» et des «limiteurs» pour l'altération globale des silicates // *Comptes Rendus Geoscience*. — vol. 344 Iss.11–12. — 2012. — P. 597–609.
27. Dosseto A., Turner S., Chappel J. The evolution of weathering profiles through time: New insights from uranium-series isotopes // *Earth and Planetary Science Letters*. — 2008. — P. 359–371.
28. Fookes P. G. The classification and description of near-shore carbonate sediments for engineering purpose / *Geotechnique*. — vol. 25 Iss.2 1975. — P. 406–411.
29. Little A. L. The engineering classification of residual tropical soils. *Proc. Seventh International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, Mexico City*. — 1969. — 1. — P. 1–10
30. Mayne P. Stress-strain-strength-flow parameters from enhances in-situ tests. *International Conference on In-Situ Measurement of Soil Properties and Case Histories*. — 2001. — P. 27–48.
31. Meyer N., Kuhwald M., Petersen J., & Duttman R. Soil development in weathering pits of a granitic dome (Enchanted Rock) in central Texas. *Catena*. — 199. — 2021. — 105084.
32. Migoñ P. Structural control in the evolution of granite landscape. *Acta Universitatis Carolinae, Geographica*, 39. — 2004. — 1. — P. 19–32.
33. Ollier C. D. *Geomorphology: Weathering* Elsevier — New York, 1969. — 304 p. *Geomorphology Texts*, vol 2.
34. Taylor G., Eggleton R. A. *Regolith Geology and Geomorphology*. Chichester. — New York, 2001. — 375 p.
35. Xiaolidong M., Cohen J., Martin D., McLaughlin A., BradMurray N., Ward M., Flint J., & Heffernan B. Ecohydrologic processes and soil thickness feedbacks control limestone-weathering rates in a karst Landscape. *Chemical Geology*. 527–2019. — 118774.
36. Yongsheng Cheng. Analysis on mineralization geological conditions of Danchi metallogenetic belt. Guanxi, China. *Procedia Environmental sciences*. 12–2012. — P. 978–983.

DOI 10.53278/2306-9139-2024-1-22-44-56

ORCID: 0000-0002-6784-924X

УДК 624.131.23

## СОСТАВ И СВОЙСТВА ГРУНТОВ СОВРЕМЕННЫХ ТЕХНОГЕННЫХ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ТЕЛ, ОБРАЗОВАННЫХ В УСЛОВИЯХ АГРОМЕЛИОРАЦИИ

## COMPOSITION AND PROPERTIES OF SOILS OF MODERN ANTHROPOGENIC GEOLOGICAL BODIES FORMED UNDER AGRO-AMELIORATION CONDITIONS

© 2024 г. А. Ю. Герасимов<sup>1</sup>, А. А. Лаврусевич<sup>2</sup>, И. А. Лаврусевич<sup>3</sup>© 2024 A. U. Gerasimov<sup>1</sup>, A. A. Lavrusevich<sup>2</sup>, I. A. Lavrusevich<sup>3</sup><sup>1</sup>ООО «Гипростроймост-Геотех», Подсосенский пер., д. 7, стр. 4, Москва, 105062, Россия<sup>1</sup>LLC "Giprostroymost-Geotech", bld.7, p. 4, Podsosenskiy per., Moscow, 105062, Russia<sup>1,3</sup>Кафедра Инженерных изысканий и геоэкологии (ИИиГЭ) НИУ МГСУ «Московский Государственный Строительный Университет», Ярославское шоссе, д. 26, Москва, 129337, Россия<sup>1,3</sup>Department of Engineering Surveys and Geoecology (IE&GE) NIU MGSU "Moscow State Construction University", bld.26, Yaroslavskoe shose, Moscow, 129337, Russia<sup>2</sup>ФГБУ «Всероссийский научно-исследовательский институт по проблемам гражданской обороны и чрезвычайных ситуаций МЧС России», Давыдовская улица, д. 7, Москва, 121352, Россия<sup>2</sup>Russian Research Institute for Civil Defense and Emergencies, bld.7, Davydkovskaya Street, Moscow, 121352, Russiaalexandergerasimovmo@yandex.ru<sup>1</sup>, lavrusevich@yandex.ru<sup>2</sup>, 4914907@gmail.com<sup>3</sup>

**Аннотация.** В статье приводится анализ результатов исследования свойств современных техногенно преобразованных аллювиальных грунтов в рамках строительства автомобильной дороги А 289 (Краснодарский край). Особый интерес представляют грунты, залегающие в верхней части геологического разреза, структурно-текстурные особенности которых были изменены под влиянием техногенной нагрузки территории.

При исследовании грунтов были получены и проанализированы данные гранулометрического и минерального составов грунтов, показатели их физико-механических свойств, в результате чего выявлена сходимость условий формирования свойств грунтов в верхней части исследуемой грунтовой толщи, что позволяет отнести их к современным техногенным геологическим телам, образованным в условиях агромелиорации.

**Abstract.** The article analyzes the results of the study of properties of modern technogenically transformed alluvial soils within the framework of the construction of highway A 289 (Krasnodar region). Of particular interest are the soils occurring in the upper part of the geological section, the structural and textural features of which were changed under the influence of technogenic load of the territory.

The results of granulometric and mineral composition of soils, physical-mechanical properties of soils were obtained and analyzed during the study of soils. The results of the analysis revealed the convergence of the conditions of formation of soil properties in the upper part of the studied soil strata, which allows us to attribute them to modern technogenic geological bodies formed under agromelioration conditions.

**Ключевые слова:** Техногенез, современные техногенно преобразованные аллювиальные грунты, относительная деформация просадочности, лессовидные отложения, аридный климат.

**Keywords:** Technogenesis, modern technogenically transformed alluvial soils, relative subsidence strain, loess-like sediments, arid climate.



## Введение

В рамках развития автодорожной инфраструктуры Краснодарского края строится автомобильная дорога А-289, проходящая через недействующую рисовую оросительную систему совхоза Краснооктябрьский. Объектом исследования являются современные техногенно преобразованные аллювиальные грунты, являющиеся основанием насыпи автомобильной дороги А-289.

Современные техногенно преобразованные аллювиальные отложения представлены супесью пылевой твердой, суглинками тяжелыми пылеватыми твердыми и полутвердыми, глинами тяжелыми твердыми и полутвердыми. Данные грунты обладают высокой пористостью. Структура пор в массиве грунта открытая, их диаметр в основном 0,2–0,3 см, местами достигает 0,4–0,5 см. (рис. 1).

Стоит отметить, что именно в верхней части геологического разреза современные аллювиальные отложения были преобразованы при функционировании рисовой оросительной системы в современные техногенные геологические тела, где и претерпели свои основные изменения свойств и структуры. Первоначально исследуемая грунтовая толща находилась в пойменных условиях (долина реки Кубань), для которых характерен недостаток кислорода (восстановительная среда). Основным механизмом образования современных техногенных геологических тел послужили механическая, физическая и последующая химическая трансформации верхней части исследуемой грунтовой толщи. Антропогенное воздействие на грунтовый массив проявлялось в следующем: изменение температурно-влажностных характеристик грунтов, изменение природного напряженно-деформируемого состояния грунтовой толщи. Природные формы рельефа были серьезно преобразованы при строительстве.

Под воздействием хозяйственной деятельности человека произошло изменение гидрогеологических условий территории, а последующее виброуплотнение грунтов трамбовками привело к уменьшению проницаемости среды и переуплотнению грунтов основания рисовых чеков, что в целом изменило структурно-текстурные особенности грунтов. В границах строительства рисовых оросительных систем образовалась переуплотненная зона современных аллювиальных грунтов, достигающая по мощности 3, изредка 4 метров. В силу отсутствия дренированности уплотненного массива в основании рисовой оросительной системы, зона переуплотнения приобрела особые, как температурные, так и влажностные, условия среды, отличные от природных.



Рис. 1. Фотофиксация монолита просадочных грунтов, с глубины 1,8 м ПК 986

При постоянном использовании рисовых чеков уменьшается количество кислорода, что негативно влияет на аэробные процессы в почвах. Для улучшения аэробного процесса в почвах применялся рисовый севооборот, заключающийся в засаживании чеков незатапливаемой культурой, а именно люцерной. На момент вывода из эксплуатации рисовой оросительной системы совхоза «Краснооктябрьский» в 1991 году рисовые чеки были засажены люцерной, именно тогда в верхней части грунтовой толщи стали преобладать окислительные процессы, а также сменились тепловлажностной и термодинамический режимы грунтов в основании рисовых чеков.

С момента прекращения эксплуатации исследуемых территорий началась дополнительная приповерхностная дегидратация грунтовой толщи в условиях аридного климата. Зона переуплотнения в основании рисовых чеков начала иссушаться с момента ввода в эксплуатацию и по настоящее время, что составляет более 60 лет. Соответственно, исследуемые техногенные геологические тела приобрели свойство просадочности под влиянием техногенеза, а именно агромелиорации, что позволяет рассматривать свойство просадочности как эпигенетическое свойство.



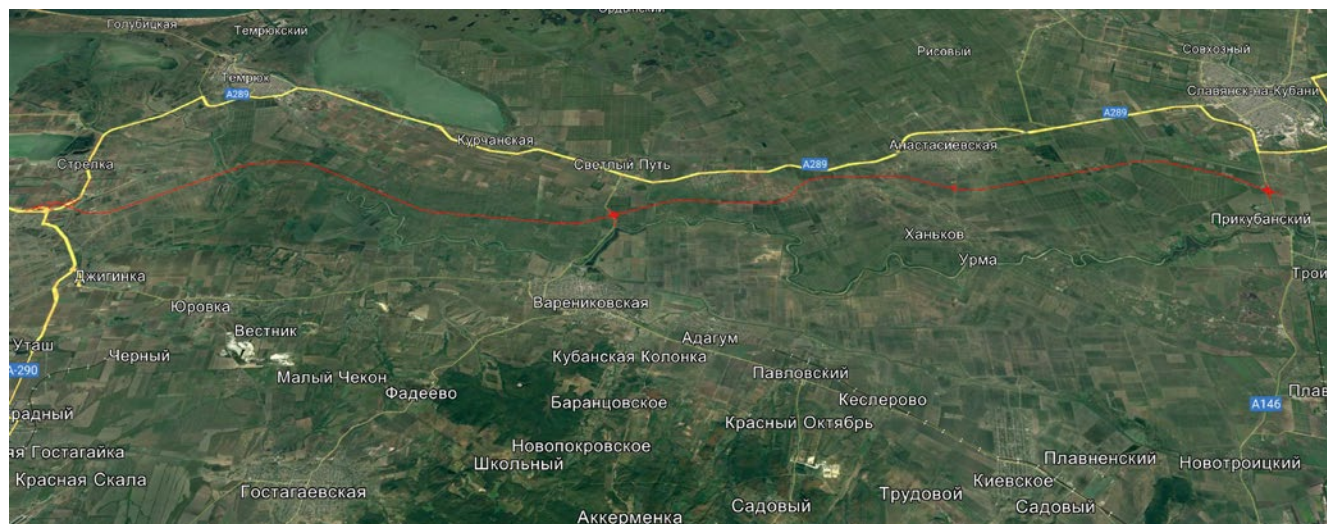


Рис. 2. Местоположение участка исследований. Схематичные инженерно-геологические разрезы на исследуемых участках представлены на рисунке 3. Нумерация скважин соответствует пикетажу автомобильной дороги А 289.

Исследуемую грунтовую толщу, подвергшуюся техногенезу, стоит считать единым литологическим слоем мощностью 3–4 м. Однако следует принять во внимание, что из-за особенностей состава и свойств не все грунты зоны переуплотнения проявили свойство просадочности. Можно предположить, что со временем указанные грунты также проявят эпигенетическое свойство просадочности.

В рамках настоящей статьи были поставлены следующие задачи:

- подтверждение техногенного преобразования структуры и свойств современных аллювиальных грунтов, а также возможности отнесения их свойства просадочности к эпигенетическим;
- анализ минерального и гранулометрического составов просадочных грунтов и поиск взаимосвязей с параметрами влажности, плотности и глубиной залегания образцов грунтов;
- влияние природной влажности образцов просадочных грунтов на величину относительной деформации просадочности.

Местоположение участка исследованных грунтов приурочено к ПК 985 — ПК 1043 строящейся автомобильной дороги А 289 (рис. 2).

### Результаты исследования и обсуждение

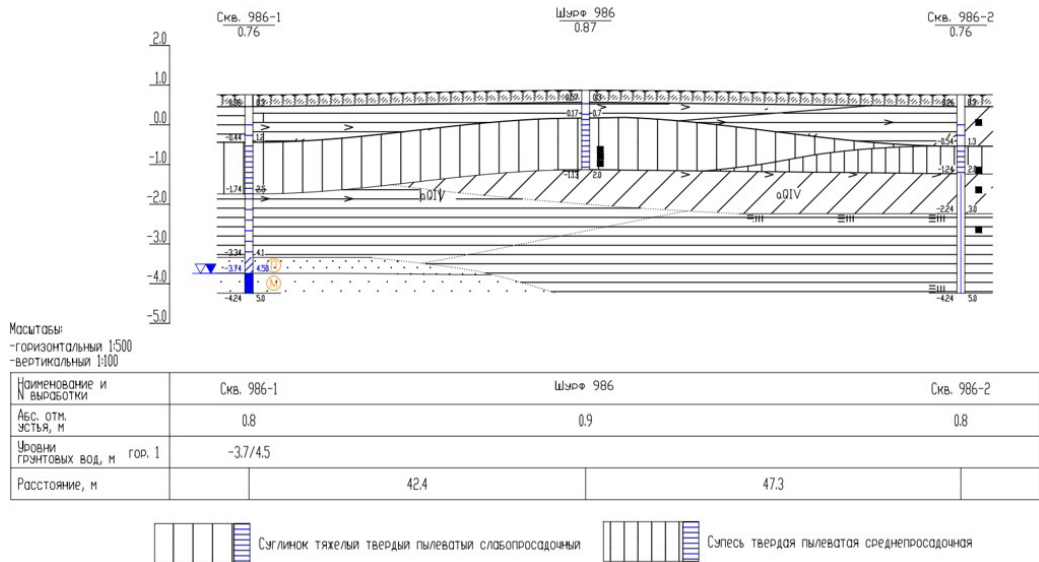
При исследовании техногенно преобразованных современных аллювиальных просадочных грунтов были получены результаты анализа минерального состава грунтов рентгенодифракционным методом [3], которые представлены в таблице 1. Общее количество исследуемых образцов составило 9. Образцы отбирались из пройденных шурфов с глубины 1,4–2,0 м от дневной поверхности.

Исследование минерального состава проб просадочных грунтов на ПК 986, ПК 1006, ПК 1014 выявило следующее (табл. 1):

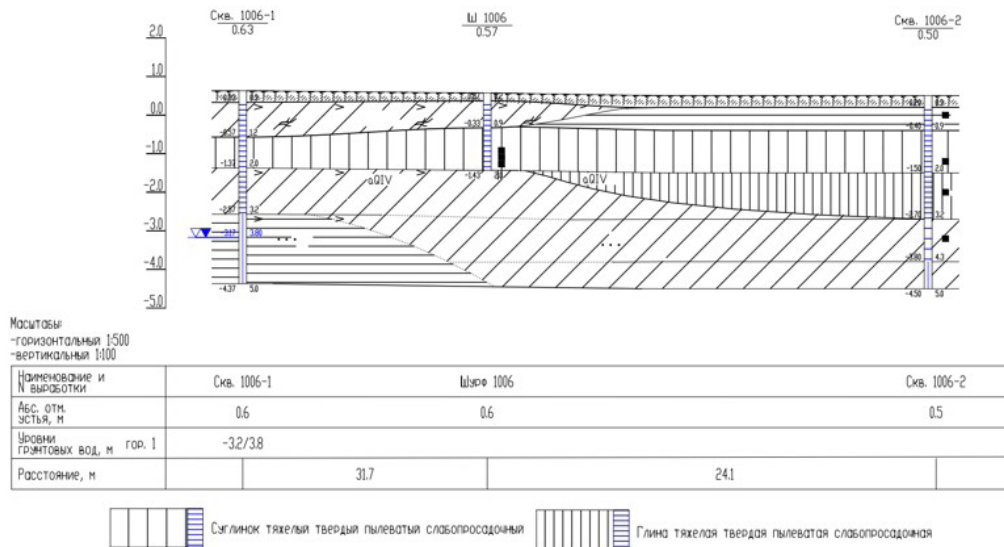
- содержание аллотигенных порообразующих минералов в образцах на ПК 986 и ПК 1006 фактически не изменяется и составляет от 63,8% и до 62,1% на ПК 986 и ПК 1006 соответственно, чего нельзя сказать об образце на ПК 1014, где содержание составило 34,6%;
- количество аутигенных минералов в образцах на ПК 986, ПК 1006, ПК 1014 в исследуемых образцах варьирует незначительно (от 5,3% и до 7,4%);
- содержание глинистых минералов существенно варьирует от 30,5% на ПК 985 и до 60,1% на ПК 1014, преобладают смектиты и иллит, которые отличаются внутрикристаллическим разбуханием и содержанием до 100% разбухающих слоев от общего числа слоев в образце. На ПК

Таблица 1. Минеральный состав исследуемых просадочных грунтов

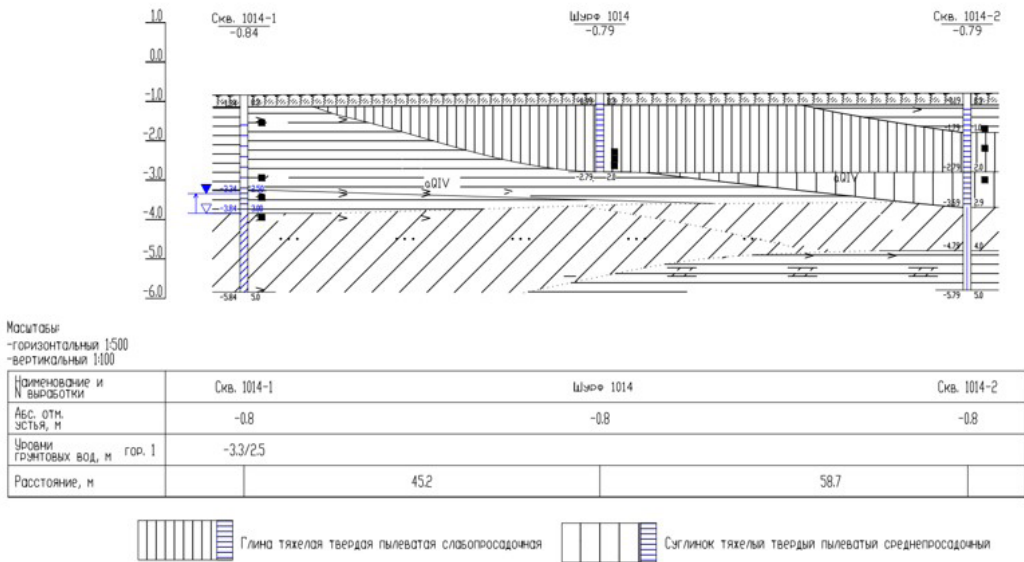
Минеральный состав	ПК 986	ПК 1006	ПК 1014
Аллотигенные минералы (кварц, плагиоклазы, полевошпатовый шпат, амфиболы)	63,8	62,1	34,6
Глинистые минералы (смектит, иллит, каолинит, хлорит)	30,6	30,5	60,1
Аутигенные минералы (кальцит, анкерит, доломит)	5,6	7,4	5,3
Наименование исследуемых грунтов	Суглинок тяжелый пылеватый полутвердый слабопросадочный	Суглинок тяжелый пылеватый твердый слабопросадочный	Глина тяжелая твердая слабопросадочная



А) Инженерно-геологический разрез на ПК 986



Б) Инженерно-геологический разрез на ПК 1006



В) Инженерно-геологический разрез на ПК 1014

Рис. 3. А, Б, В. Схематичные инженерно-геологические разрезы на объекте исследования.

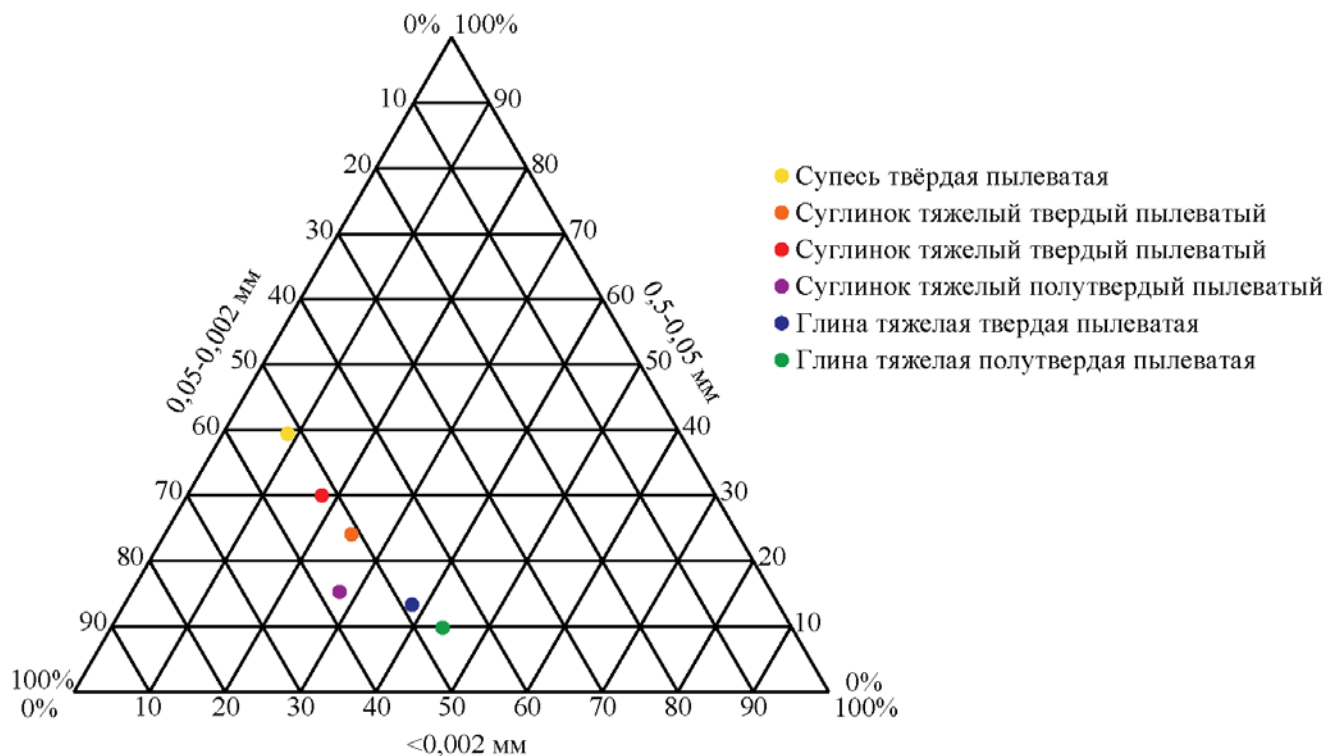


Рис. 4. Гранулометрический состав исследуемых просадочных грунтов

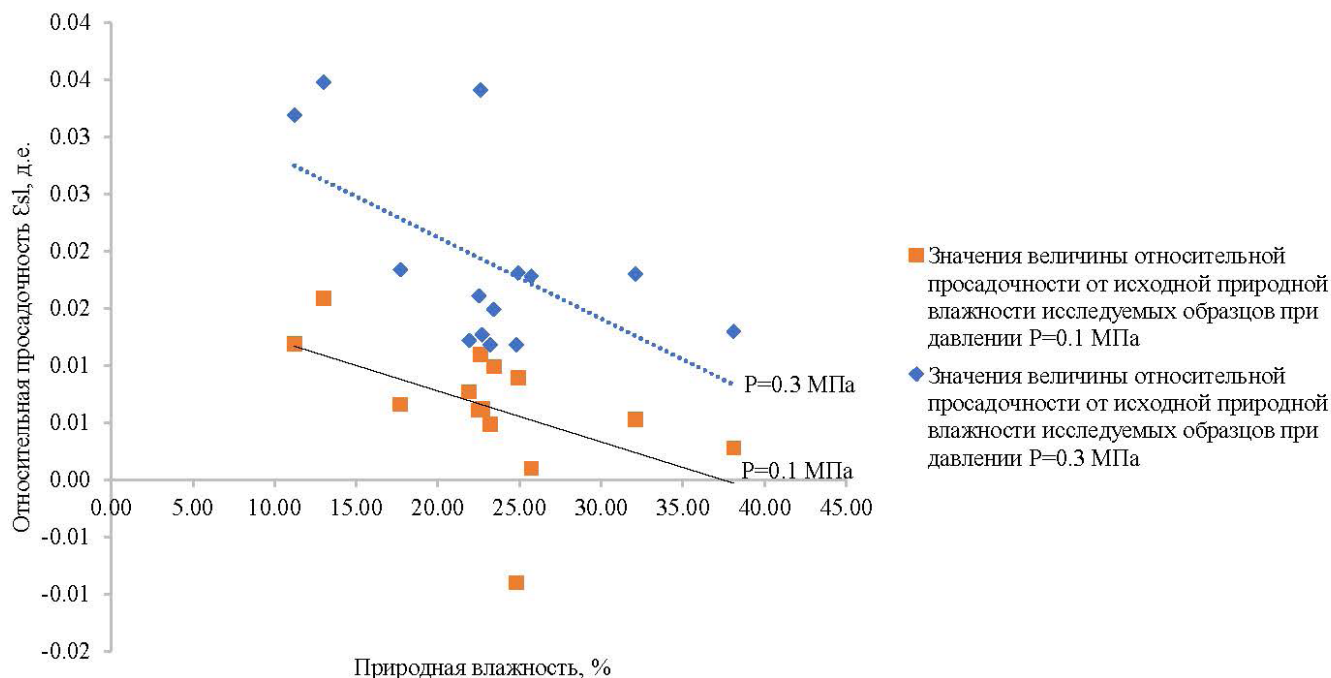


Рис. 5. Зависимость величины относительной деформации просадочности грунтов от природной влажности в интервале глубин 0,0–1,0 м, давление при замачивании 0,1 и 0,3 МПа

1014 произошло резкое увеличение содержания иллита до 30,4%, сделав его преобладающим по содержанию в образце.

Минералы смектиновой группы способны адсорбировать молекулы воды в межслойном пространстве и увеличивать межплоскостное расстояние. Гидратация внутренних базальных поверхностей приводит к снижению плотности глинистых минералов, увеличению объема адсорбированной ими воды, изменению физических свойств [4].

В соответствии с разделением смектитов по структурным и физико-химическим показателям на исследуемых образцах можно сказать, что количество разбухающих слоёв, в % соотношении составляет 90–100% от общего количества слоёв [5]. Способность к внутрикристаллическому разбуханию и, главное, чрезвычайно высокая дисперсность обуславливают высокую физико-химическую активность смектитов [6].

Условия среды формирования были щелочными, о чем свидетельствует преобладающее содержание смектитов и иллита в минеральном составе, а также  $pH=7,4$  исследуемых проб.

В рамках лабораторных исследований образцов просадочных грунтов были получены физические и физико-механические свойства. В таблицах 3–6 представлены результаты определения природной влажности и природной плотности, а также компрессионных испытаний грунтов по схеме 2-кривых (относительная деформация просадочности, начальное просадочное давление, начальная просадочная влажность). Лабораторные исследования проводились в сертифицированной грунтовой лаборатории АО «МОСТДОРГЕОТРЕСТ» в соответствии с ГОСТ 12536-2014, ГОСТ 23161-2012 [7,8]. Грунты классифицированы в соответствии с ГОСТ 25100-2020 [9].

Определение гранулометрического (зернового) состава грунтов ареометрическим методом, проведенное с использованием в качестве диспергатора иона аммония, показало, что образцы представлены пылеватыми супесями, тяжелыми суглинками и тяжелыми глинами. Данные гранулометрического состава по выделенным разновидностям дисперсных связных грунтов представлены в таблице 2.

В их составе содержится от 15,3 и до 39,4% частиц крупнее 0,05 мм, от 8,6% и до 27,5% менее 0,002 мм, пылеватых частиц от 51,2% и до 57,2%, из них крупнопылеватых (0,05–0,01 мм) от 29,0% и до 41,8%. Просадочные супеси и тяжелые суглинки следует относить к лессовидным грунтам.

У глинистых грунтов, которые по результатам лабораторных исследований обладают также просадочными свойствами, был определен гра-

нулометрический состав. Содержание пылеватой фракции незначительно ниже 50,0% и составляет 46,3 и 48,6% соответственно, из них крупнопылеватых от 23,6 и до 22,2%. В составе просадочных глин значительно снижено содержание фракций частиц крупнее 0,05 мм и составляет 13,3 и 9,8% против 15,3 и 39,4% у лессовидных супесей и суглинков. Содержание глинистой фракции варьирует от 38,1 и до 43,9% (рис. 4). Учитывая вышесказанное, по мнению авторов, просадочные глинистые грунты стоит относить к лессовидным глинам.

Важным аспектом служит фактор литологической неоднородности разреза и многочисленных фациальных замещений как геологического, так и техногенного характера в рамках земляных планировочных решений рисовых чеков и каналов. Лессовидные супеси, суглинки и глины сменяются на непросадочные грунты, залегают, в основном, с поверхности под уплотненным культурным (плодородным) слоем, а также местами носят погребенный характер и подстилают непросадочные грунты. В целом, исследуемая территория имеет непростые инженерно-геологические условия, осложненные особенностями рисо-опытных хозяйств, особым составом первого от поверхности четвертичного аллювиального горизонта, который имеет гидравлическую связь с солончаками и лиманами. Стоит принять во внимание, что значительное количество солей, проникающих в геологический массив, привносятся как путем осаждения на земной поверхности, так и посредством перетекания локально засоленных грунтовых вод.

При исследовании физических и физико-механических характеристик просадочных грунтов в силу разного бытового давления на глубинах отбора образцов было принято решение об изучении грунтов в интервалах 0,0–1,0 м, 1,0–2,0 м, 2,0–3,0 м и свыше 3,0 м от дневной поверхности. В таблице 3 представлены результаты лабораторных определений физических, физико-механических характеристик грунтов, а также значения бытового давления на глубине отбора образцов грунтов в интервале отбора 0,0–1,0 м.

Грунты, исследуемые в интервале отбора 0,0–1,0 м от дневной поверхности, относятся к I типу просадочности по грунтовым условиям территории.

Значения величины относительной деформации просадочности  $Es1$  в интервале глубин 0,0–1,0 м носят убывающий относительно пологий характер при увеличении природной влажности грунтов. При наименьшей природной влажности наибольшие показатели величины относительной деформации просадочности (рис. 5).

**Таблица 2. Результаты гранулометрического состава по выделенным разновидностям грунтов**

Наименование грунтов	0,5–0,05 мм	0,05–0,002 мм	<0,002 мм	Интервал залегания, м
Супесь пылеватая твёрдая среднеспасадочная	39,4	52,0	8,6	0–2 м
Суглинок тяжелый пылеватый твердый слабоспасадочный	24,1	51,2	24,7	0–2 м
Суглинок тяжелый пылеватый твердый среднеспасадочный	30,1	52,1	17,8	0–2 м
Суглинок тяжелый пылеватый полутвердый слабоспасадочный	15,3	57,2	27,5	0–2 м
Глина тяжелая твердая слабоспасадочная	13,3	48,6	38,1	0–3 м
Глина тяжелая полутвердая слабоспасадочная	9,8	46,3	43,9	0–1 м

**Таблица 3. Физические и физико-механические характеристики просадочных грунтов, отобранных в интервале отбора 0,0–1,0 м от дневной поверхности**

№ ПК	Глубина, м	Природная влажность, %	Природная плотность грунтов, г/см <sup>3</sup>	Плотность грунтов (S <sub>r</sub> =1,0 д.е.), г/см <sup>3</sup>	Бытовое давление (S <sub>r</sub> =1,0 д.е.), МПа	Начальная просадочная влажность W <sub>s1</sub> , %	Начальное просадочное давление P <sub>s1</sub> , МПа	Относительная деформация просадочности ε <sub>s1</sub> , д.е.			
								P=0,05 МПа	P=0,1 МПа	P=0,2 МПа	P=0,3 МПа
988–2	0,6	21,9	1,89	1,96	0,012	23,7	0,178	–0,000	0,008	0,011	0,012
1008–2	0,5	23,4	1,91	1,99	0,010	26,6	0,107	0,003	0,010	0,013	0,015
1010–1	0,7	24,8	1,93	1,98	0,014	27,5	0,271	–0,014	–0,009	0,006	0,012
1010–2	0,5	22,7	1,93	2,00	0,010	27,7	0,204	–0,004	0,006	0,010	0,013
1012–1	0,8	25,7	1,86	1,94	0,016	27,7	0,196	–0,013	0,001	0,010	0,018
1016–1	0,4	22,6	1,88	1,98	0,008	24,8	0,097	–0,006	0,011	0,024	0,034
1020–2	0,7	17,7	1,95	1,93	0,014	22,0	0,155	0,000	0,007	0,013	0,018
1022–1	0,6	24,9	1,86	1,95	0,012	29,0	0,132	–0,006	0,009	0,014	0,018
1022–2	0,3	22,5	1,92	1,96	0,006	24,9	0,147	–0,042	0,006	0,012	0,016
1024–2	0,8	23,2	1,93	2,00	0,016	26,3	0,243	–0,009	0,005	0,009	0,012
1028–2	0,8	13,0	1,77	1,99	0,016	20,1	0,066	0,007	0,016	0,026	0,035
1033–1	0,5	11,2	1,76	1,97	0,010	17,3	0,087	0,004	0,012	0,023	0,032
1036–2	0,6	32,1	1,65	1,79	0,011	38,9	0,175	–0,008	0,005	0,012	0,018
1037–1	0,4	38,1	1,65	1,76	0,007	43,2	0,247	–0,009	0,003	0,008	0,013

В таблице 4 представлены результаты лабораторных определений физических, физико-механических характеристик грунтов, а также значения бытового давления на глубине отбора образцов грунтов в интервале отбора 1,0–2,0 м.

Грунты, исследуемые в интервале отбора 1,0–2,0 м от дневной поверхности, относятся к I типу просадочности.

Значения величины относительной деформации просадочности ε<sub>s1</sub> в интервале глубин 1,0–2,0 м носят убывающий более резкий характер, нежели

в интервале 0,0–1,0 м, при увеличении природной влажности грунтов. При наименьшей природной влажности наибольшие показатели величины относительной деформации просадочности (рис. 6).

В таблице 5 представлены результаты лабораторных определений физических, физико-механических характеристик грунтов, а также значения бытового давления на глубине отбора образцов грунтов в интервале отбора 2,0–3,0 м. Грунты, исследуемые в интервале отбора 2,0–3,0 м от дневной поверхности, относятся к I типу проса-



**Таблица 4. Физические и физико-механические характеристики просадочных грунтов, отобранных в интервале отбора 1,0–2,0 м от дневной поверхности**

№ ПК	Глубина, м	Природная влажность, %	Природная плотность грунтов, г/см <sup>3</sup>	Плотность грунтов ( $S_r=1,0$ д.е.), г/см <sup>3</sup>	Бытовое давление ( $S_r=1,0$ д.е.), МПа	Начальная просадочная влажность $W_{sl}$ , %	Начальное просадочное давление $E_{sl}$ , МПа	Относительная деформация просадочности $\varepsilon_{sl}$ , д.е.			
								$P=0,05$ МПа	$P=0,1$ МПа	$P=0,2$ МПа	$P=0,3$ МПа
986–2	1,8	21,3	1,89	1,98	0,036	23,2	0,050	0,010	0,020	0,029	0,036
987–2	1,0	28,7	1,87	1,90	0,019	30,9	0,174	–0,005	0,006	0,012	0,016
991–2	1,3	15,3	1,85	2,01	0,026	18,4	0,056	0,009	0,020	0,028	0,034
994–2	1,4	21,2	1,92	2,14	0,030	23,9	0,228	–0,003	0,003	0,009	0,013
1002–2	1,1	18,2	1,75	1,93	0,021	23,8	0,053	0,009	0,018	0,024	0,030
1006–2	1,6	21,3	1,92	1,99	0,032	23,8	0,060	0,009	0,014	0,015	0,016
1008–2	1,1	13,3	1,70	1,94	0,021	19,1	0,077	0,004	0,015	0,026	0,036
1010–2	1,5	23,7	1,92	1,99	0,030	26,1	0,212	–0,006	0,002	0,009	0,015
1012–1	1,3	24,1	1,90	1,97	0,026	28,6	0,097	0,000	0,011	0,012	0,013
1012–1	1,8	13,9	1,69	1,83	0,033	19,2	0,085	0,003	0,013	0,021	0,029
1012–2	1,4	23,9	1,90	1,98	0,028	26,7	0,178	–0,003	0,006	0,011	0,014
1014–2	1,3	25,9	1,88	1,95	0,025	28,6	0,226	–0,006	0,001	0,008	0,014
1016–1	1,3	24,2	1,88	1,96	0,025	31,0	0,240	–0,003	0,007	0,009	0,011
1020–2	1,3	20,8	1,85	1,97	0,026	23,1	0,028	0,006	0,015	0,022	0,028
1024–1	1,4	26,8	1,78	1,89	0,026	29,3	0,109	–0,005	0,009	0,019	0,022
1024–2	1,7	13,0	1,78	1,97	0,033	20,1	0,129	0,001	0,008	0,013	0,017
1025–1	1,6	15,5	1,74	2,01	0,032	18,7	0,111	0,001	0,009	0,021	0,032
1027–1	1,2	21,6	1,76	1,91	0,023	25,5	0,154	–0,003	0,004	0,015	0,024
1027–1	1,5	25,2	1,79	1,90	0,029	27,6	0,146	0,000	0,005	0,017	0,026
1028–2	1,7	24,6	1,92	1,98	0,034	27,7	0,197	0,000	0,007	0,010	0,012
1029–1	1,2	17,4	1,86	2,00	0,024	19,2	0,043	0,016	0,034	0,040	0,045
1033–1	1,3	16,1	1,75	2,06	0,027	21,1	0,081	0,004	0,013	0,024	0,033
1033–2	1,0	18,5	1,76	1,94	0,019	22,1	0,046	0,012	0,024	0,038	0,049
1036–2	1,4	21,9	1,83	1,97	0,028	25,1	0,072	0,003	0,019	0,026	0,032
1037–1	1,5	20,9	1,92	2,01	0,030	25,2	0,125	0,003	0,009	0,012	0,014
1038–2	1,6	24,1	1,92	1,97	0,032	26,2	0,182	–0,003	0,001	0,012	0,021

дочности, кроме ПК 987–1, ПК 991–2, ПК 1010–1, ПК 1014–2, ПК 1029–1, у которых просадка возникает вследствие действия давления от собственного веса грунта при его полном водонасыщении (II тип просадочности).

Значения величины относительной деформации просадочности  $\varepsilon_{sl}$  в интервале глубин 2,0–3,0 м носят более убывающий резкий характер, нежели в интервале 1,0–2,0 м, при увеличении природной влажности грунтов. При наименьшей природной влажности наибольшие показатели

величины относительной деформации просадочности (рис. 7).

В таблице 6 представлены результаты лабораторных определений физических, физико-механических характеристик грунтов, а также значения бытового давления на глубине отбора образцов грунтов в интервале отбора свыше 3,0 м.

Грунты, отобранные с глубин более 3,0 м от дневной поверхности, относятся ко II типу просадочности, кроме ПК 1012–2, на котором бытовое давление при полном водонасыщении ниже, чем

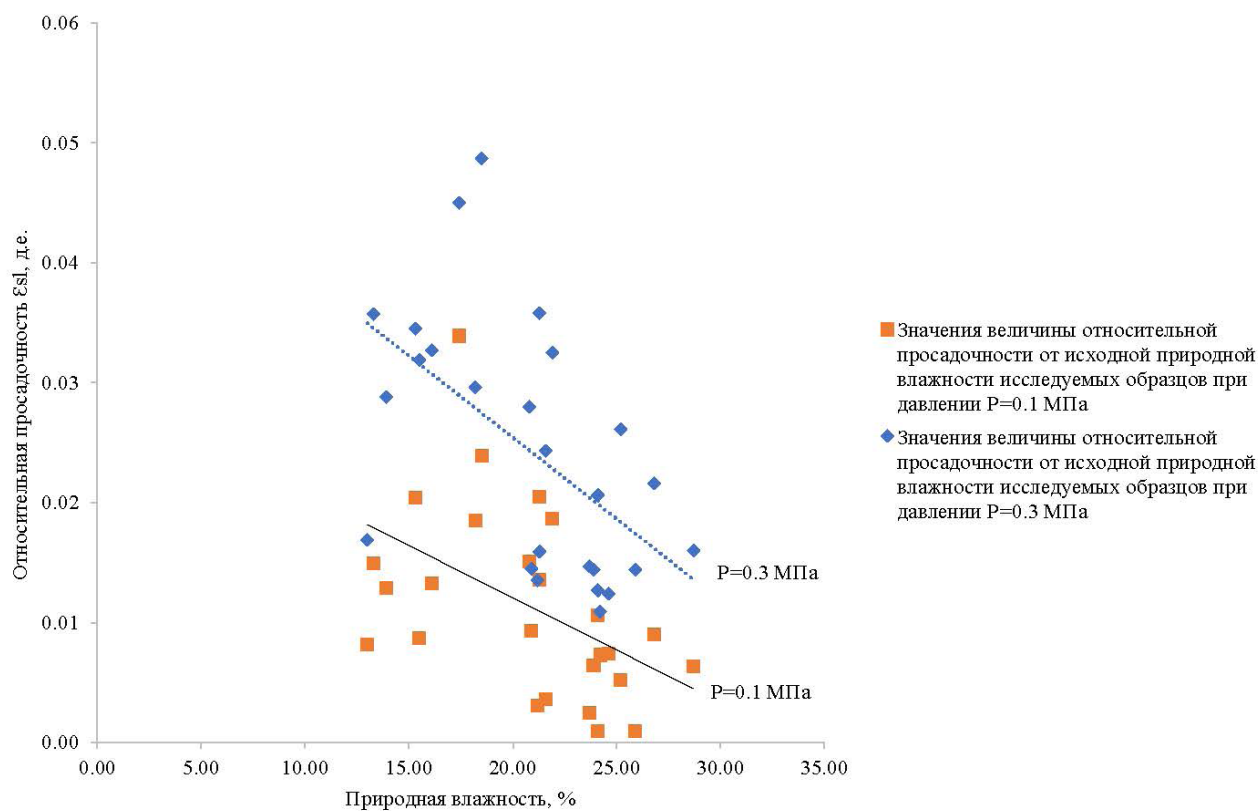


Рис. 6. Зависимость величины относительной деформации просадочности грунтов от природной влажности в интервале глубин 1,00–2,00 м, давление при замачивании 0,1 МПа и 0,3 МПа.

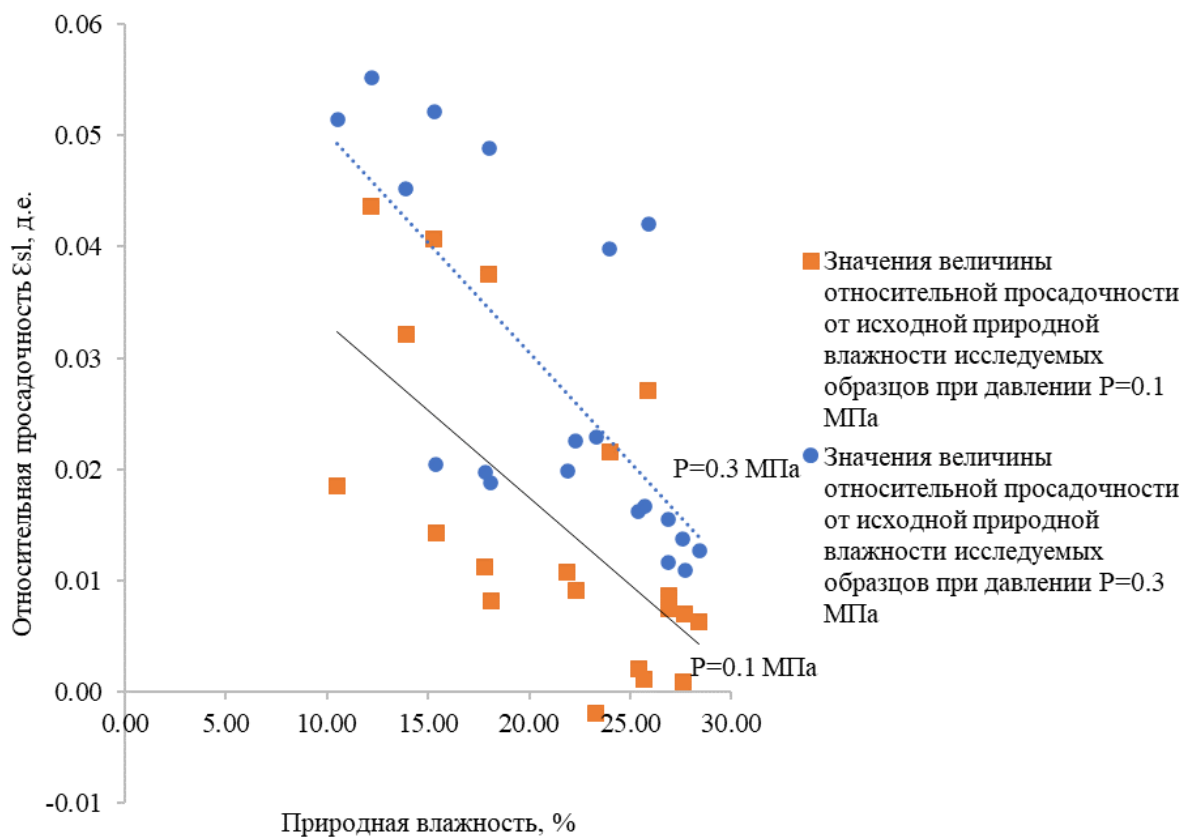


Рис. 7. Зависимость величины относительной деформации просадочности грунтов от природной влажности в интервале глубин 2,0–3,0 м, давление при замачивании 0,1 МПа и 0,3 МПа



**Таблица 5. Физические и физико-механические характеристики просадочных грунтов, отобранных в интервале отбора 2,0–3,0 м от дневной поверхности**

№ ПК	Глубина, м	Природная влажность, %	Природная плотность грунтов, г/см <sup>3</sup>	Плотность грунтов (Sr=1,0 д.е.), г/см <sup>3</sup>	Бытовое давление (Sr=1,0 д.е.), МПа	Начальная просадочная влажность W <sub>sl</sub> , %	Начальное просадочное давление P <sub>sl</sub> , МПа	Относительная деформация просадочности ε <sub>sl</sub> , д.е.			
								P=0,05 МПа	P=0,1 МПа	P=0,2 МПа	P=0,3 МПа
986-2	2,3	23,3	1,84	1,95	0,045	27,0	0,169	-0,005	-0,002	0,013	0,023
987-1	2,8	12,2	1,79	2,00	0,056	14,7	0,026	0,028	0,044	0,0501	0,055
987-2	2,3	25,4	1,80	1,90	0,044	31,1	0,201	-0,005	0,002	0,010	0,016
988-2	2,6	22,3	1,92	1,98	0,051	25,8	0,116	-0,005	0,009	0,017	0,023
991-2	2,0	15,3	1,62	1,88	0,038	17,6	0,029	0,026	0,041	0,047	0,052
993-2	2,6	25,7	1,84	1,94	0,050	29,5	0,203	-0,008	0,001	0,010	0,017
994-2	2,8	27,7	1,88	1,94	0,054	32,6	0,245	-0,004	0,007	0,009	0,011
1002-2	2,1	17,8	1,82	1,98	0,042	24,0	0,092	0,004	0,011	0,016	0,020
1006-2	2,4	28,4	1,89	1,94	0,047	29,7	0,203	-0,009	0,006	0,010	0,013
1008-2	2,5	10,5	1,69	1,97	0,049	17,3	0,056	0,009	0,019	0,037	0,051
1010-1	2,6	13,9	1,77	1,98	0,051	16,7	0,025	0,021	0,032	0,040	0,045
1010-2	2,3	27,6	1,86	1,93	0,044	31,3	0,231	-0,011	0,001	0,008	0,014
1012-2	2,2	15,4	1,81	1,90	0,042	23,5	0,072	0,007	0,014	0,018	0,020
1014-2	2,1	25,9	1,88	1,96	0,041	20,2	0,036	0,016	0,027	0,035	0,042
1022-1	2,5	18,1	1,83	2,02	0,051	25,0	0,126	0,001	0,008	0,014	0,019
1022-2	2,0	26,9	1,87	1,94	0,039	31,9	0,213	0,000	0,007	0,010	0,012
1024-1	2,0	24,0	1,83	1,93	0,039	26,7	0,064	0,005	0,022	0,031	0,040
1025-1	2,3	21,9	1,90	1,99	0,046	25,3	0,097	-0,003	0,011	0,016	0,020
1029-1	2,0	18,0	1,73	1,92	0,038	21,2	0,039	0,020	0,038	0,044	0,049
1038-2	2,1	26,9	1,91	1,96	0,041	30,5	0,150	-0,004	0,009	0,012	0,015

Примечание: зеленым цветом выделены образцы грунтов, которые по оценке начального просадочного давления и бытового давления на глубине их отбора при полном водонасыщении относятся ко II типу просадочности

**Таблица 6. Физические и физико-механические характеристики просадочных грунтов, отобранных с глубины более 3.00 м от дневной поверхности**

№ ПК	Глубина, м	Природная влажность, %	Природная плотность, г/см <sup>3</sup>	Плотность грунтов (Sr=1,0 д.е.), г/см <sup>3</sup>	Бытовое давление (Sr=1,0 д.е.), МПа	Начальная просадочная влажность W <sub>sl</sub> , %	Начальное просадочное давление P <sub>sl</sub> , МПа	Относительная деформация просадочности ε <sub>sl</sub> , д.е.			
								P=0,05 МПа	P=0,1 МПа	P=0,2 МПа	P=0,3 МПа
1010-2	3,5	16,7	1,66	1,90	0,067	19,8	0,026	0,024	0,039	0,049	0,057
1012-2	3,0	2,3	1,91	1,95	0,059	29,9	0,207	-0,002	0,006	0,010	0,013
1024-1	3,4	24,9	1,70	1,85	0,063	29,3	0,043	0,011	0,019	0,029	0,038

Примечание: зеленым цветом выделены образцы грунтов, которые по оценке начального просадочного давления и бытового давления на глубине их отбора при полном водонасыщении относятся ко II типу просадочности

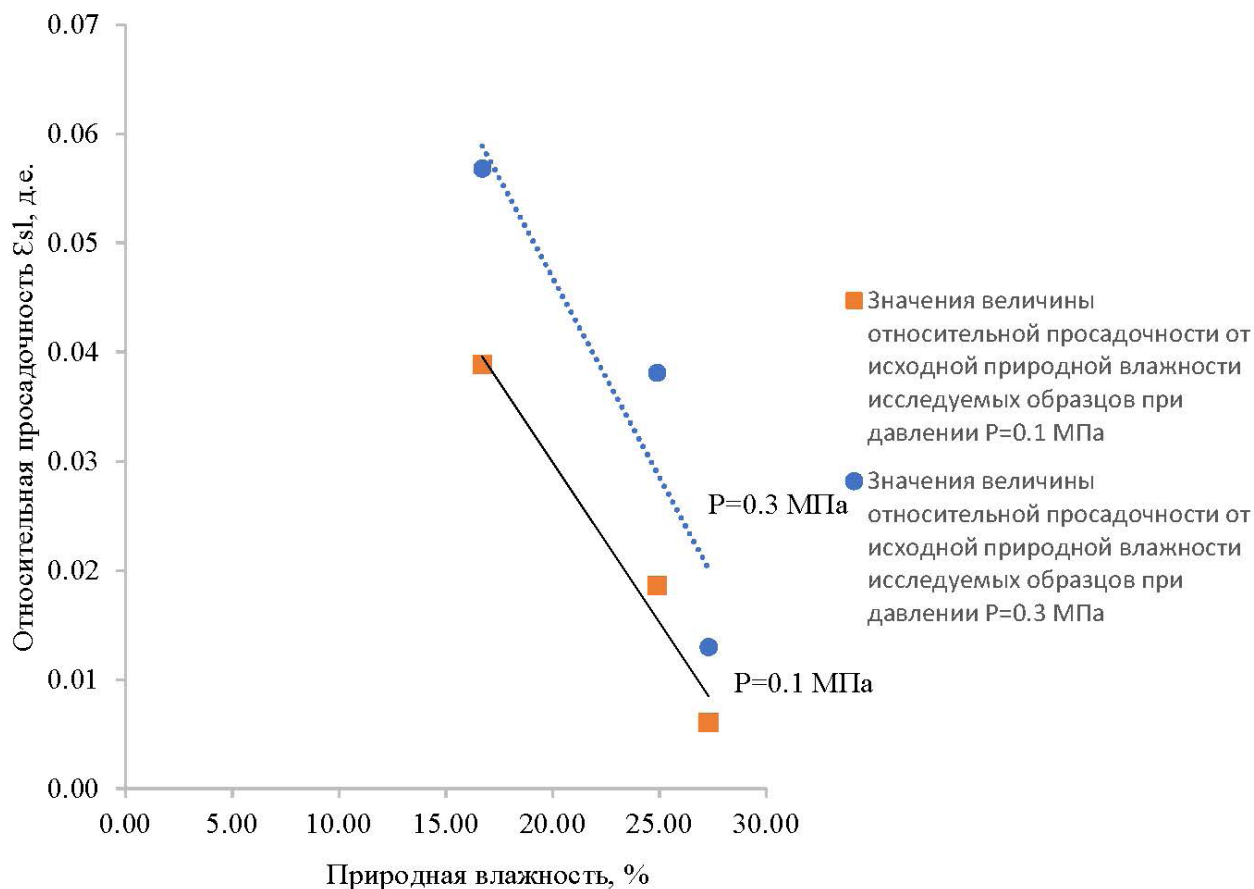


Рис. 8. Зависимость величины относительной деформации просадочности грунтов от природной влажности с глубины более 3,0 м, давление при замачивании 0.1 МПа и 0.3 МПа

Таблица 7. Сводные характеристики просадочных грунтов по глубинам исследования

Интервал отбора, м	Природная влажность, %	Природная плотность грунтов, г/см <sup>3</sup>	Начальное просадочное давление, МПа	Относительная деформация просадочности $\epsilon_{sl}$ , д.е.	
				слабопросадочные	среднепросадочные
0,0–1,0	11,2–38,1	1,65–1,95	0,066–0,027	0,015	0,034
1,0–2,0	13,0–28,7	1,69–1,92	0,046–0,240	0,019	0,037
2,0–3,0	10,5–28,4	1,62–1,92	0,036–0,245	0,017	0,048
>3,00	16,7–27,3	1,66–1,91	0,026–0,207	0,013	0,047

начальное просадочное давление при полном водонасыщении.

Значения величины относительной деформации просадочности  $\epsilon_{sl}$  для образцов, отобранных с глубин более 3,0 м, осредняются прямой с самым резким характером при увеличении природной влажности грунтов. При наименьшей природной влажности наибольшие показатели величины относительной деформации просадочности (рис. 8).

Сводные характеристики, полученные в рамках лабораторных исследований представлены в таблице 7.

Принимая во внимание результаты сводных характеристик просадочных грунтов, полученные по интервалам исследований, стоит отметить, что природная влажность имеет сходные значения на всех интервалах отбора проб, что свидетельствует о едином влажностном режиме в толще просадочных грунтов.

Дальнейшее нарастание увлажнения массива ведет к ускорению разрушения неводостойких агрегатов и увеличению величины относительной деформации просадочности. Массовое разрушение неводостойких агрегатов приурочивается

к моменту появления в межчастичных порах свободной воды, когда начинается собственно процесс просадочности [10].

По результатам лабораторных исследований значения природной плотности просадочных грунтов также имеют сходимость по интервалам исследований, что позволяет сделать вывод о способности толщи грунтов в целом вести себя единообразно и резко доуплотняться при увлажнении под более высокими нагрузками.

Полученные значения начального просадочного давления исследуемых грунтов имеют фактически одинаковые диапазоны изменения значений по интервалам отбора и только локально, на определенных ПК автомобильной дороги А 289, превышают значения бытового давления на глубине отбора образцов просадочных грунтов.

Значения величины относительной деформации просадочности были получены для слабопросадочных и среднепросадочных разновидностей глинистых грунтов. В основном исследуемая толща характеризуется как слабопросадочная, только на определенных ПК и интервалах отбора образцов значения относительной деформации просадочности соответствовали среднепросадочным грунтам, которые, в соответствии с таблицей Б.18 ГОСТ 25100-2020, имеют в своем минеральном составе преобладающее количество смектитов и иллитов после содержания кварца.

### Выводы

Современные просадочные грунты в разрезе на участке ПК 985–1043 автомобильной дороги А 289 первоначально образовались в аллювиальных условиях и только потом были техногенно преобразованы.

По результатам анализа полученных лабораторных данных можно утверждать, что толща исследуемых грунтов мощностью от 2,0 м до 3,7 м обладает схожими влажностными и плотностными

характеристиками в интервалах исследования, что свидетельствует о первоначальном едином процессе осадконакопления отложений, а также схожем техногенном воздействии на грунты природного сложения. Начальное просадочное давление в образцах грунтов значительно превышает бытовое давление образцов на глубине при их полном водонасыщении, что позволяет сказать о необходимости внешней нагрузки для проявления процесса просадочности и отсутствии просадочности от собственного веса. Участок исследования на ПК 985–1043 в границах бывшего рисо-опытного совхоза «Краснооктябрьский» относится к I типу просадочности. Дисперсные связные просадочные грунты в основном слабопросадочные, в соответствии с таблицей Б.18 ГОСТ 25100-2020. Однако среди исследуемых образцов часть была классифицирована как среднепросадочные.

Дальнейшие исследования необходимо проводить с учетом внешней нагрузки от веса автомобильной насыпи, так как механизм доуплотнения просадочных грунтов в границах сжимаемой толщи будет протекать неравномерно в силу затухания с глубиной эпюр напряжений в грунтовом массиве.

На интервалах отбора проб свыше 2,0 м от дневной поверхности у ряда образцов с низкими значениями природной плотности и невысокими показателями природной влажности отмечены следующие особенности:

- значения начального просадочного давления на глубине отбора пробы значительно ниже значений бытового давления при полном водонасыщении;
- значения относительной деформации просадочности при нагрузке на первой ступени давления 0,05 МПа зафиксированы в диапазоне 0,01–0,04 д.е.

Принимая во внимание все вышесказанное, авторы считают, что данные образцы грунтов относятся к II типу просадочности.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Трофимов В. Т. Теория формирования просадочности лёссовых пород. — М.: ГЕОС, 2003. — 275 с., 85 илл.
2. Суздалева А. Л. Вторая геология — наука о техногенных телах литосферы: монография — М.: РадиоСофт, 2022. — 584 с.
3. Герасимов А. Ю. Минеральный состав современных просадочных отложений в основании строящейся автомобильной дороги А 289 / А. Ю. Герасимов, А. А. Лаврусевич // Вестник Евразийской науки. — 2023. — Т. 15. — № 2. — URL: <https://esj.today/PDF/54NZVN223.pdf>.
4. Осипов В.И., Соколов В. Н. Глины и их свойства. Состав, строение и формирование свойств — М.: ГЕОС, 2013. — 576 с.
5. Шлыков В. Г. Использование структурных характеристик глинистых минералов для оценки физико-химических свойств дисперсных грунтов // Геоэкология. — 2000. — № 1. — С. 43–52.
6. Грунтоведение: учебник под ред. В. Т. Трофимова.

- 6-е изд., перераб. и доп. – М.: Изд-во МГУ, 2005. — 1024 с.
7. ГОСТ 12536-2014 ГРУНТЫ. Методы лабораторного определения гранулометрического (зернового) и микроагрегатного состава. Официальное издание. — М.: Стандартинформ, 2019. — 23 с.
  8. ГОСТ 23161-2012. ГРУНТЫ. Метод лабораторного определения характеристик просадочности. Официальное издание. — М.: Стандартинформ, 2019. — 15 с.
  9. ГОСТ 25100-2020. ГРУНТЫ. Классификация. Официальное издание. — М.: Стандартинформ, 2020. — 41 с.
  10. Ларионов А.К., Приклонский В. А., Ананьев В. П. Лёссовые породы и их строительные свойства. — М.: ГОСГЕОЛТЕХИЗДАТ, 1959. — 368 с.

## ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ СОСТАВА И ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ТЕХНОГЕННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ, ПРЕДСТАВЛЕННЫХ ОТХОДАМИ УГЛЕОБОГАЩЕНИЯ

### SPECIFICITY OF THE FORMATION OF THE COMPOSITION AND PHYSICAL AND MECHANICAL PROPERTIES OF TECHNOGENIC SOILS, FORMED FROM COAL PROCESSING WASTE

© 2024 В. Н. Кондакова<sup>1</sup>, Г. Б. Поспехов<sup>2</sup>

© 2024 V. N. Kondakova<sup>1</sup>, G. B. Pospehov<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup> Санкт-Петербургский горный университет, 21-я линия В.О., д. 2,  
Санкт-Петербург, 199106, Россия,

<sup>1,2</sup> St. Petersburg Mining University, bld. 2, 21-st line, Saint-Petersburg, 199106, Russia

post@spmi.ru

**Аннотация.** Накопленные отходы переработки угля оказывают масштабное и длительное воздействие на окружающую среду, а под их складирование изымается большое количество земельных ресурсов. Однако задаче изучения формирования и изменения свойств отходов углеобогащения, складированных в насыпных отвалах, уделено недостаточно внимания. При этом учет характера техногенеза отходов углеобогащения позволяет реализовывать их безопасное и эффективное складирование, а именно установить закономерности деформирования массива на основании прогнозируемых изменений техногенных отложений. В данной публикации изложены основные факторы, определяющие генезис и характер постгенетических процессов для техногенных грунтов отвалов, формирующихся из отходов углеобогащения.

**Abstract.** Accumulated coal processing waste has a large-scale and long-term impact on the environment, and a large amount of land resources is being occupied by storage. However, the lack of studying the formation and changing the properties of coal processing waste stored in dumps. At the same time, taking into account the technogenesis of coal processing waste makes it possible to implement their safe and efficient storage. This publication shows the basic factors determining the genesis and nature of postgenetic processes for technogenic soils of dumps formed from coal processing waste.

**Ключевые слова:** техногенные отложения, отходы углеобогащения, техногенез, инженерно-геологические свойства, физико-механические свойства, гранулометрический состав, прочность на сдвиг

**Keywords:** technogenic soils, coal processing waste, technogenesis, geotechnical properties, mechanical properties, soil particle, shear strength

#### Введение

Среди всех видов горной промышленности наибольший по объёму вклад в накопление отходов вносит угольная [1,10]. К углеотходам относятся вскрышные и шахтные породы, отходы углеобогащения, угольная зола и шлаки. Все большая доля углей обогащается, что ведет к росту темпов накопления отходов, которые оказывают масштабное и длительное воздействие на окружающую среду, становятся причиной ухудшения здоровья населения в районах добычи. Под складирование изымается большое количество земельных ресурсов: до 60% площади горного отвода может быть отдано

под размещение отходов, а в случае обогатительного предприятия, в среднем, для складирования отходов требуется 2–3 тыс. га [2]. С точки зрения инженерной геологии первостепенной задачей можно считать изучение свойств техногенных отложений, что в дальнейшем позволит осуществлять недропользование наиболее рационально [5]. Более глубокое понимание свойств техногенных пород и, в частности, отходов угольной промышленности, могло бы ускорить процесс их внедрения в различные сферы производства и расширить область их применения [11]. Кроме того, внимания требует также тема взаимосвязи различных свойств, выде-



ления наиболее актуальных и ключевых, определяющих поведение пород во времени. Имеющиеся к настоящему времени экспериментальные и теоретические данные о свойствах техногенных грунтов недостаточны для прогнозирования изменений их свойств и поведения. В связи с этим темой данной работы стало выявление природных и техногенных факторов, влияющих на процесс генерации состава и свойств техногенных отложений, представленных отходами обогащения и складированных в полусухом виде в отвалах.

### **Особенности техногенеза отходов углеобогащения**

Вопрос об изменении свойств грунтов под влиянием инженерно-хозяйственной деятельности человека как один из основных в инженерной геологии был сформулирован ещё в 1970-х годах [3, 8]. Преобразование и появление новых типов пород, связанные с деятельностью человека, относятся к глобальному процессу литогенеза и определены А. Е. Ферсманом как техногенез. Теорию техногенеза значительно развил Н. М. Страхов, на работах которого основывались все последующие авторы, изучавшие вопросы формирования техногенных отложений [4].

В отношении отходов углеобогащения, представленных намывными отложениями гидроотвалов и хвостохранилищ, закономерности техногенеза рассматривались в работах Н. А. Кутеповой. Автором была определена роль и взаимосвязь природных и технологических факторов на различных этапах формирования техногенных грунтов из отходов углеобогащения. Так, для формирования намывных образований наибольшее значение имеет процесс фракционирования материала, происходящего при распределении пульпы по карте намыва. Кроме того, на стадии седиментогенеза проявлены процессы коагуляции дисперсных частиц, агрегирования и других процессов, протекающих при участии жидкой фазы [6,8].

Необходимость отдельного изучения процесса техногенеза «сухих» пород обусловлена спецификой материалов, слагающих намывные и насыпные сооружения, особенно проявляющейся на ранних стадиях техногенеза. Анализ работ Н. М. Страхова, А. М. Гальперина, В. Т. Трофимова, Н. А. Кутеповой и др. позволил разработать схему преобразования отходов углеобогащения, складированных «сухим» способом (рис. 1). Несмотря на их схожесть в технологических приёмах и составе с намывными отложениями, схема технолитогенеза исследуемых материалов обладает своей спецификой. В связи с этим были рассмотрены этапы преобразования

отходов углеобогащения, формирующихся на одной из обогатительных фабрик, и описаны основные факторы диагенетических преобразований техногенных отложений данного типа.

В техногенезе отходов углеобогащения так же, как и в природном литогенезе осадочных пород выделяется три этапа: разрушение исходного материала, его перемещение и преобразование. Протекание этапов определяют природные и техногенные факторы. На каждом из них под воздействием физико-химических процессов изменяются состояние и свойства формирующихся техногенных грунтов.

Первый этап техногенеза заключается в мобилизации материала, а именно угля и углевмещающих пород, в результате чего определяется исходный минералогический состав отходов. Дезинтеграция вещества также происходит на обогатительной фабрике при дроблении, грохочении, флотационном и гравитационном обогащении и сушке. Также определяется начальная влажность материала, который в дальнейшем поступает в отвал. Характеристика органического вещества углей и минеральных примесей, а также петрографический состав вмещающих пород, определяют не только выбор наиболее эффективных технологических процессов добычи и обогащения, но также свойства и поведение формирующихся из отходов обогащения техногенных грунтов.

В отвал материал попадает в деструктурированном виде, с большим содержанием глинистой фракции и относительно высокой влажности. Второй этап технолитогенеза связан с транспортировкой отходов в отвал и их отсыпкой. На данном этапе определяющим параметром для формирования состава и свойств грунтов является выбор технологии складирования, конструктивные особенности отвала и интенсивность нагружения. В отличие от намывных отходов обогащения, складированных в сильно гидратированном виде (соотношение твёрдой и жидкой компоненты 1:10), процесс минерального фракционирования не проявлен в той же степени в отвалах «сухих» отходов углеобогащения, как и процесс седиментогенеза с образованием первичных коагуляционных структур.

Третий этап связан с диагенетическими преобразованиями, то есть уплотнением и консолидацией, происходящими вследствие ряда физико-химических процессов в теле отвала. После отсыпки происходит структурная перестройка отложений с разрушением крупных структурных элементов и агрегированием более плотных, изменение влажности, окисление углей и т.д. Конечной стадией как природного диагенеза, так и техногенеза является

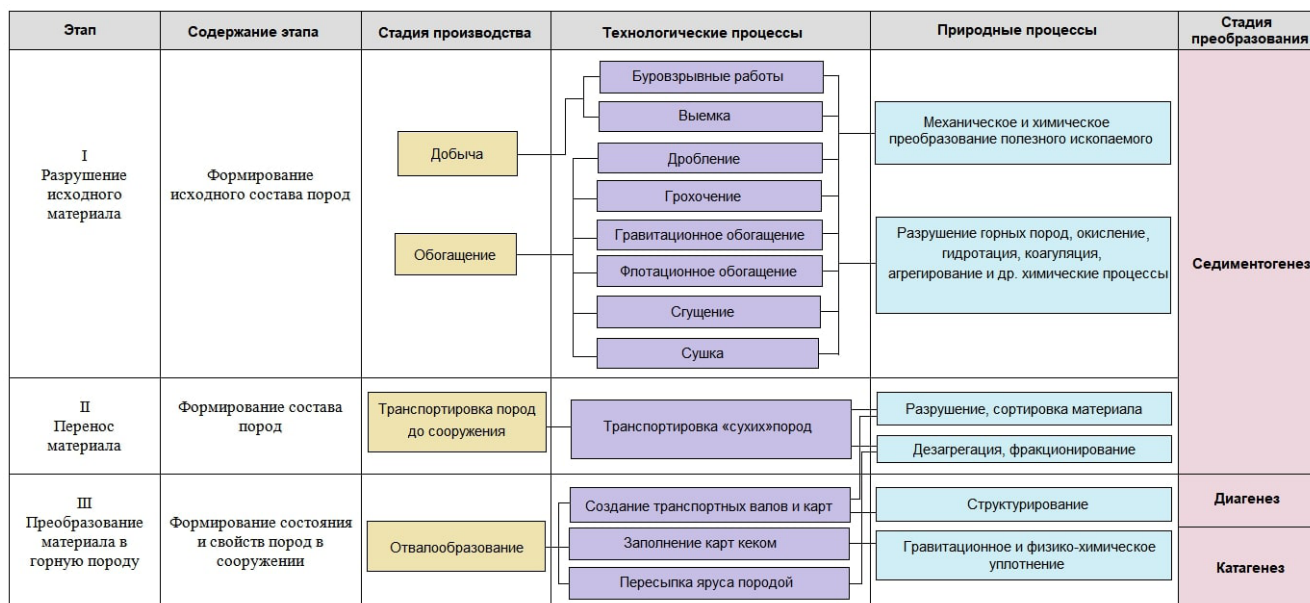


Рис. 1. Схема техногенеза отходов углеобогащения, складированных «сухим» способом

литификация вещества, однако образование ближних цементационных связей происходит в течение несоизмеримо большего временного периода, чем рассматриваемый.

Из представленной схемы (рис. 1) очевидно, что протекание процессов техногенеза определяется взаимосвязанными природным и антропогенным процессами, изучение которых позволяет понять особенности свойств и поведения изучаемых техногенных грунтов.

**Инженерно-геологические исследования состава и свойств отходов углеобогащения**

В настоящее время активно развивается метод полусухого совместного складирования отходов флотации и грохочения, что объясняет необходимость проведения их лабораторных испытаний, а также шлаков сжигания угля и материала, отобранного на породном отвале.

Минералогический анализ отходов углеобогащения свидетельствует, что в них преобладают глинистые минералы, представленные иллитом, каолинитом и хлоритом. Из обладающих способностью к набуханию минералов в образцах присутствует только хлорит в незначительном количестве, на основании чего отходы флотации можно охарактеризовать как отложения, не склонные к набуханию. Относительно отходов данного типа описаны трудности в определении их вещественного состава, связанного с наличием сростков вещества — прочно сцепленных минеральных и органических частиц. Исследуемые углеотходы содержат в своём составе минералы, подверженные вторичным изменениям. После складирова-

ния в отвал под действием факторов химического и физического выветривания их состав может существенно меняться, а степень изменений зависит от минералого-петрографического состава, условий и времени складирования в сооружении.

Среди исследованных образцов по содержанию мелких фракций сильно выделяются отходы флотации, представляющие собой глинисто-угольный тонкодисперсный материал, средний диаметр частиц которого  $d_{50}=0,05$  мм, в то время как для остальных материалов он больше 2 мм. Следует также отметить, что гранулометрический состав породы с фабрики и из существующего отвала сильно отличается, что можно объяснить физическим выветриванием складированной породы с фабрики, приводящим к дезинтеграции крупных кусков, а также действием вышележащих отходов при наращивании отвала. Следовательно, в процессе транспортирования и укладки отходов в отвал, а также в дальнейшем под действием различных факторов их зерновой состав может существенно меняться.

Результаты определения характеристик физических свойств отходов представлены в таблице 1.

Представленные результаты лабораторных испытаний (по параметру  $I_p$ ) позволяют классифицировать отходы флотации как суглинок  $7 < I_p < 17$ . Для этих отложений были выполнены определения коэффициента фильтрации, который в среднем составил  $2,6 \cdot 10^{-5}$  м/сут, что объясняется гранулометрическим составом материала, который близок к суглинистым грунтам природного происхождения. Такие значения коэффициента фильтрации означают, что в данных техногенных грунтах может

**Таблица 1. Физические свойства материалов**

Параметр	Единицы измерения	Материал			
		Отходы флотации	Отходы грохочения	Шлак	Отвал
Естественная влажность, $W$	доли ед.	0,29	0,04	0,28	0,06
Влажность на границе текучести, $W_L$	доли ед.	0,29			0,22
Влажность на границе раскатывания, $W_p$	доли ед.	0,21			0,16
Число пластичности, $I_p$		8			6
Показатель текучести, $I_L$	доли ед.	1,00			-1,67
Плотность грунта, $\rho$	г/см <sup>3</sup>	1,43			2,06
Плотность скелета, $\rho_d$	г/см <sup>3</sup>	1,11			1,94
Плотность частиц грунта, $\rho_s$	г/см <sup>3</sup>	1,63	2,30	1,87	2,38
Коэффициент пористости, $e$	доли ед.	0,47			0,23
Коэффициент водонасыщения, $S_r$	доли ед.	1,00			0,64
Полная влагоёмкость, $W_{sat}$	доли ед.	0,29			0,09

возникать избыточное поровое давление, которое не успевает рассеиваться за период нагружения массива при интенсивном наращивании высоты отвала.

Параметры деформационных свойств складированных в отвалы пород и их структурной прочности определяют значения эффективных напряжений в массиве, гравитационного уплотнения, изменение пористости и характер развития порового давления, что доказано в работах Н. А. Кутеповой на примере намывных массивов отходов углеобогащения [7], в которых был описан сложный характер происходящих при уплотнении глинистых пород процессов. Очевидно, что для решения задачи прогноза поведения массива, сложенного техногенными грунтами, необходимо, в первую очередь, заниматься изучением их прочностных свойств.

Все виды отходов фабрики испытывались методом одноплоскостного среза. Результаты испытаний приведены в таблице 2. График испытаний для отходов флотации представлен на рисунке 2.

Для образцов отходов флотации проводились компрессионные испытания с целью оценки

**Таблица 2. Прочностные параметры отходов флотации, крупнообломочных отходов и шлака в водонасыщенном состоянии по результатам испытаний на одноплоскостной срез**

Показатель	Материал			
	Отходы флотации	Отходы грохочения	Шлак	Отвал
Сцепление, кПа	28	47	51	60
Угол внутреннего трения, °	31	30	32	30

их деформационных характеристик. Испытания отходов флотации показали следующий их разброс в диапазоне нормальных напряжений 0,1–0,2 МПа: коэффициент сжимаемости — 0,180–0,194 МПа<sup>-1</sup>; одометрический модуль деформации — 7,5–8,2 МПа; компрессионный модуль деформации — 4,5–4,9 МПа. Данные значения позволяют считать отходы флотации сильносжимаемым грунтом.

Для верификации результатов испытаний на одноплоскостной срез были проведены исследования отходов флотации методом трёхосного сжатия, позволяющим учитывать влияние порового давления.

В результате испытаний по КД и КН-схемам в эффективных напряжениях параметры прочности получились близкими:

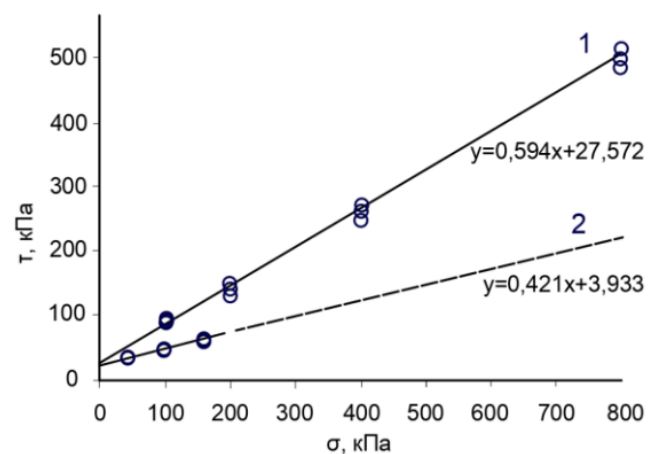


Рис. 2. Результаты испытаний отходов флотации на одноплоскостной срез: 1 — консолидированно-дренированный; 2 — неконсолидированный

- по схеме «КД» сцепление — 33 кПа, угол внутреннего трения — 31°;
- по схеме «КН» сцепление — 22 кПа, угол внутреннего трения — 32°.

По КН-схеме в полных напряжениях параметры прочности составили: сцепление — 0 кПа, угол внутреннего трения — 15°.

Более низкие значения прочности при недренированных трехосных испытаниях объясняются тем, что при одноплоскостном срезе, даже при больших скоростях среза, существует возможность отжатия воды по поверхности среза и боковой поверхности образца. По этой причине требуется учитывать величину порового давления, что обуславливает необходимость проведения трёхосных испытаний для подобных грунтов. Параметры прочности, соответственно, зависят от схемы испытания, напряженно-деформированного состояния образцов и величины порового давления. Увеличение порового давления и изменение напряжённого состояния приводит к уменьшению сцепления, значение угла внутреннего трения при этом не изменяется.

### Выводы

Разработанная схема техногенеза отходов углеобогащения позволила определить и исследовать факторы влияния на процесс формирования техногенных пород, главными из которых являются начальный химический и минералогиче-

ский состав обогащаемой породы, применяемая схема обогащения, конструктивные особенности отвала, а также время. Установлено, что несмотря на отличия в начальных составах и характеристиках отходов различных предприятий, техногенные породы обладают рядом общих признаков и являются закономерно сформированными, что подтверждает теорию техногенеза. Следовательно, процесс технолитогенеза можно рассматривать как тип природного литогенеза, в результате которого формируются осадочные породы из мобилизованного, перемещённого и изменённого материала.

Было обосновано, что на этапе преобразований, происходящих до складирования отходов в отвал, происходит формирование состава и начальных свойств, которые претерпевают изменения после складирования, где основным фактором преобразований материала, оказывающим влияние на его прочностные свойства, является давление, под действием которого изменяется структура, пористость и влажность отходов.

На основании лабораторных исследований выявлены различия в свойствах и поведении изучаемого материала и природных образований. Обосновано, что при изучении свойств отходов углеобогащения, складированных селективно, основное внимание должно уделяться отходам флотации в связи с большой вероятностью развития избыточного порового давления.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Государственный доклад «О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2021 году» — текст электронный // Официальный сайт Министерства природных ресурсов РФ. — URL: <https://www.mnr.gov.ru> (дата обращения 01.07.2023).
2. Боровков Ю. А. Техногенные месторождения Среднего Урала и оценка их воздействия на окружающую среду / Л. А. Амосов, А. В. Бурмистренко, Б. Б. Зобнин, С. И. Мормиль [и др.]. // Екатеринбург. НИА-Природа. — 2002. — 206 с.
3. Гальперин А. М. Управление состоянием намывных массивов на горных предприятиях. — М.: Недра, 1988. — 197 с.
4. Гальперин А. М. Освоение техногенных массивов на горных предприятиях / А. М. Гальперин, Ю. И. Кутепов, Ю. В. Кириченко [и др.]. — М.: Горная книга, 2012. — 336 с.
5. Кириченко, Ю. В. Геомеханическое обеспечение учебно-рекреационной рекультивации карьеров и отвалов / Ю. В. Кириченко, В. В. Ческидов. // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2006. — № 8. — С. 91–98.
6. Кутепов Ю. И. Изучение порового давления в намывных массивах / Ю. И. Кутепов, Н. А. Кутепова // Геоэкология. Инженерная геология, гидрогеология, геокриология. — 2006. — № 2. — С. 205–215.
7. Кутепов Ю. И. Закономерности формирования порового давления при гидроотвалообразовании и отсыпке «сухих» отвалов / Ю. И. Кутепов, Н. А. Кутепова. // ГИАБ. — 2008. — № 11. — С. 212–220.
8. Кутепова Н. А. Инженерно-геологическое обоснование прогноза гидрогеомеханических процессов при ведении горных работ: дисс. д. техн. наук: 25.00.16 «Горнопромышленная и нефтегазопромышленная геология, геофизика, маркшейдерское дело и геометрия недр» / Кутепова Надежда Андреевна. — Санкт-Петербург, 2011. — 424 с.

9. Ломтадзе В. Д. Инженерная геология: инженерная петрология: учебник для вузов / В. Д. Ломтадзе. — Л.: Недра, 1984. — 511 с.
10. Таразанов, И. Г. Итоги работы угольной промышленности России за январь-июнь 2019 года / И. Г. Таразанов, Д. А. Губанов. // Уголь. — 2019. — № 12. — С. 40–48.
11. Трофимов, В. Т. Классификация техногенных воздействий на геологическую среду // Геоэкология. Инженерная геология. Гидрогеология. Геокриология / В. Т. Трофимов, В. А. Королёв, А. С. Герасимова. — 1995. — № 5. — С. 96–107.



**СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ**

1. **Барановская Мария Леонидовна**, кафедра гидрогеологии и инженерной геологии Санкт-Петербургского горного университета императрицы Екатерины II, студентка  
Россия, 199106, г. Санкт-Петербург, 21-я линия В.О., д. 2  
mbaranowskaya@gmail.com
2. **Гараева Анастасия Николаевна**, кафедра общей геологии и гидрогеологии Института геологии и нефтегазовых технологий Казанского федерального университета, старший преподаватель  
Россия, 420008, г. Казань, ул. Кремлевская, д. 4/5, комната 218, тел. +7 (927) 043 97 00  
anastya-solnce@mail.ru
3. **Герасимов Александр Юрьевич**, ООО «Гипростроймост-Геотех», комплексный главный инженер проекта (КГИП), аспирант ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет» (НИУ МГСУ)  
Россия, 117246, г. Москва, Научный проезд, д. 13, тел. +7 (968) 582–20–93  
alexandergerasimovmo@yandex.ru
4. **Зеркаль Олег Владимирович**, кандидат геолого-минералогических наук, кафедра инженерной и экологической геологии геологического факультета Московского государственного университета им. М. В. Ломоносова, старший научный сотрудник  
Россия, 119991, г. Москва, ГСП-1, Ленинские горы, д. 1, тел.: +7 (495) 939–25–68  
igzov@mail.ru
5. **Кондакова Вероника Николаевна**, Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II, аспирант  
Россия, 199106, г. Санкт-Петербург, 21-линия В. О., д. 2  
s185009@stud.spmi.ru
6. **Королев Владимир Александрович**, заслуженный работник высшей школы РФ, доктор геолого-минералогических наук, кафедра инженерной и экологической геологии геологического факультета Московского государственного университета им. М. В. Ломоносова, профессор  
Россия, 119234, г. Москва, Ленинские горы, д. 1  
va-korolev@bk.ru
7. **Королев Эдуард Анатольевич**, кандидат геолого-минералогических наук, кафедра общей геологии и гидрогеологии Института геологии и нефтегазовых технологий Казанского федерального университета, заведующий кафедрой  
Россия, 420008, г. Казань, ул. Кремлевская, д. 4/5, комната 218, тел. +7 (906) 111–84–601,  
edik.korolev@gmail.com
8. **Лавруевич Андрей Александрович**, доктор геолого-минералогических наук, профессор ФГБУ «Всероссийский научно-исследовательский институт по проблемам гражданской обороны и чрезвычайных ситуаций МЧС России», ведущий научный сотрудник  
Россия, 121352, г. Москва, Давыдовская улица, д. 7, тел. +7 (925) 500–84–26  
lavrusevich@yandex.ru

9. **Лаврусевич Иван Андреевич**, кандидат технических наук, кафедра инженерных изысканий и геоэкологии ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет» (НИУ МГСУ)  
Россия, 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26, КМК, аудитория 345, тел. +7 (926) 166–88–88  
4914907@gmail.com
10. **Латыпов Айрат Исламгалиевич**, кандидат технических наук, кафедра общей геологии и гидрогеологии Института геологии и нефтегазовых технологий Казанского федерального университета, доцент  
Россия, 420008, г. Казань, ул. Кремлевская, д. 4/5, комната 218, тел. +7 (987) 297–35–67  
airatlat@mail.ru
11. **Норова Лариса Павловна**, кандидат геолого-минералогических наук, Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II, Научный центр геомеханики и проблем горного производства  
Россия, 199106, г. Санкт-Петербург, 21-линия В.О., д. 2, тел. 8(812) 328–82–27  
larisanorova@rambler.ru
12. **Поспехов Георгий Борисович**, кандидат геолого-минералогических наук, Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II, доцент, Научный центр геомеханики и проблем горного производства, ведущий научный сотрудник  
Россия, 199106, г. Санкт-Петербург, 21-линия В.О., д. 2  
pospehov@spmi.ru
13. **Смирнов Денис Михайлович**, кафедра геологии нефти и газа Санкт-Петербургского горного университета императрицы Екатерины II, студент  
Россия, 199106, г. Санкт-Петербург, 21-я линия В.О., д. 2  
dms-51@yandex.ru
14. **Цинкобурова Мария Георгиевна**, кандидат геолого-минералогических наук, кафедра исторической и динамической геологии Санкт-Петербургского горного университета императрицы Екатерины II, доцент  
Россия, 199106, г. Санкт-Петербург, 21-линия В.О., д. 2, тел. 8(812) 328–82–27  
maschek@mail.ru

---

Сдано в набор: 24.06.2024 Подписано в печать: 30.06.2024 Формат бумаги: 60x88 1/8  
Цифровая печать. Тираж 50 экз.

---

Учредитель: Охотинское общество грунтоведов

Отпечатано в типографии «СВЕН»



