

Московский государственный университет
имени М.В. Ломоносова

Геологический факультет



НАУЧНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ

***ЛОМОНОСОВСКИЕ
ЧТЕНИЯ***

СЕКЦИЯ ГЕОЛОГИИ

***Подсекция
инженерной и экологической геологии***

Руководитель – зав. кафедрой, профессор Трофимов В.Т.

СБОРНИК
ТЕЗИСОВ ДОКЛАДОВ

Москва
2026

Содержание:

1.	Из опыта гидротехнического строительства на глинистых грунтах	
	Т.И.Аверкина	2
2.	Влияние характеристик технолитотопа эколого-геологических систем оборонно-промышленных комплексов сухопутных территорий субарктической зоны России на биоценозы	
	М.А. Харькина, В.В. Фуникова	4
3.	К инженерно-геологической характеристике эоловых отложений урочища «Кузоменские пески»	
	С.Д. Балыкова, А.Е. Харламова	6
4.	Сравнительный анализ процессов компрессии-декомпрессии дисперсных грунтов на основе интегральных энергетических показателей	
	В.В. Матвеев, В.А. Королёв	9
5.	Структурные особенности дисперсных грунтов после обработки гидравлическими гидратационными вяжущими	
	Е.Н. Самарин, М.С. Чернов, А.Ю. Мирный, В.А. Алексеенко	11
6.	Испаряющая способность дисперсных грунтов	
	Л.Б. Блудушкина	13

ИЗ ОПЫТА ГИДРОТЕХНИЧЕСКОГО СТРОИТЕЛЬСТВА НА ГЛИНИСТЫХ ГРУНТАХ

Т.И. Аверкина

Наличие глинистых грунтов в основании гидротехнических сооружений во многих случаях является осложняющим фактором. Причиной осложнений могут быть следующие особенности данных грунтов: 1) высокая сжимаемость и низкое сопротивление сдвигу; 2) разжижение при динамических нагрузках (особенно актуально для берегов озер, морей и водохранилищ, испытывающих динамические воздействия во время штормов); 3) размываемость и размокаемость в воде; 4) способность к разуплотнению и быстрому выветриванию в открытых котлованах; 5) склонность к оползневым смещениям.

Проблемы, возникающие при строительстве на глинистых толщах, а также способы их решения у разных видов сооружений несколько различаются.

Плотины и здания ГЭС

Первым крупным гидротехническим объектом, построенным на глинистых грунтах с низкими показателями деформационных и прочностных свойств, является *Нижнесвирская ГЭС*. Из-за угрозы больших и неравномерных осадок было разработано 6 различных проектов основных сооружений. Утвердили распластанный подземный контур плотины с минимальным заглублением и монолитной фундаментной плитой. Для здания ГЭС было принято смелое решение – установить вертикальные валы турбин с наклоном в сторону нижнего бьефа, чтобы после заполнения водохранилища они приняли нормальное положение. Время подтвердило правильность выполненных расчетов и прогнозов [1].

В ходе строительства *Чебоксарской* и *Воткинской ГЭС* были получены важные сведения об изменении дочетвертичных глин при вскрытии котлованов, их разуплотнении, выветривании и размокании. Стала очевидной защита грунтов оснований сооружений от внешних воздействий в строительный период. Было рекомендовано после зачистки не оставлять основания открытыми больше, чем на несколько часов.

При возведении гидроузлов на равнинных реках нередко приходится сталкиваться с погребенными речными долинами. В районе *Загорской ГАЭС* на участке размещения основных сооружений были выявлены крупные оползневые смещения глин различного возраста, приуроченные к древнему врезу. Строительство оживило давно стабилизированный оползневой процесс и потребовало дорогой инженерной защиты.

Водохранилища

На равнинных водохранилищах обычно активно проявляется процесс переработки берегов. Он нередко приводит к активизации древних или развитию новых оползней.

Процессу переработки способствует склонность глинистых грунтов к набуханию и усадке, разуплотнению и выветриванию. По этой причине размыв глинистых берегов продолжается долго и может достигать значительных объемов. Так, на *Рыбинском водохранилище* отступление берега в четвертичных отложениях местами доходило до 100–110 м, в мезозойских – до 180 м. В пределах *Горьковского водохранилища* максимальный размер переработки в четвертичных глинах составил 123 м, в верхнепермских – 35 м.

Образующийся в результате размыва берегов глинистый и пылеватый материал постепенно аккумулируется в глубоких частях водохранилищ, что приводит к их заилению. Это создает проблемы для судоходства, увеличивает давление на плотины, дамбы и в ряде случаев требует проведения специальных очистных мероприятий.

Каналы

До 1960-х годов каналы в нашей стране возводили в земляных руслах. В глинистых грунтах в этом случае неоднократно отмечались оседания и оползания откосов, другие негативные последствия. Например, в бортах *Волго-Балтийского канала* известны достаточно крупные оползни в ледниковых отложениях. На юге Дальнего Востока мелиоративные каналы в пылеватых глинах и суглинках оказались недолговечными, поскольку в верховьях их борта размокали, размывались и обрушивались, а в устьевых частях полностью заиливались и зарастали.

В Поволжье и Предкавказье многие каналы проложены в палеоген-неогеновых и четвертичных глинах, склонных к набуханию и усадке. В условиях засушливого климата они обычно имеют твердую и полутвердую консистенцию, а при замачивании теряют прочность и устойчивость в откосах. В подобных глинах устроены *Куйбышевский, Большой Ставропольский, Правоегорлыкский* и другие каналы. Примечательно, что, несмотря на глинистое русло, в них отмечались значительные фильтрационные потери, что объясняется трещиноватостью сухих глин. Если скорость заполнения канала превышает скорость набухания глин, утечки могут быть очень заметными.

Опыт строительства в земляных руслах привел к тому, что начиная с 1960-х гг. стали применять облицовку каналов, технология создания которой постоянно совершенствуется.

Литература

1. Карпышев Е.С. Нижнесвирская плотина на р. Свири //Геология и плотины. 1974. Т. VII. С. 6–12.

Исследование выполнено в рамках государственного задания МГУ имени М.В. Ломоносова «Исследование многообразия инженерно-геологических условий территории России».

ВЛИЯНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ТЕХНОЛИТОТОПА ЭКОЛОГО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ ОБОРОННО-ПРОМЫШЛЕННЫХ КОМПЛЕКСОВ СУХОПУТНЫХ ТЕРРИТОРИЙ СУБАРКТИЧЕСКОЙ ЗОНЫ РОССИИ НА БИОЦЕНОЗЫ

М.А. Харькина, В.В. Фуникова

Эколого-геологическая система (ЭГС) оборонно-промышленных комплексов – это открытая динамическая система, возникающая на техногенно освоенной территории и включающая три подсистемных блока: абиотический (технолитотоп и техноэдафотоп), биотический (техномикробоценоз, технофитоценоз, технозооценоз, социум) и источники техногенного воздействия, тесно связанные причинно-следственными связями, обуславливающими ее структурно-функциональное единство. В качестве источников техногенного воздействия арктической и субарктической зоне выступают военные базы. В 2017 году число военных баз РФ вместе со строящимися составило 10, восстановлено и реконструировано 16 глубоководных портов и 13 аэродромов. На архипелаге Новая Земля расположен Новоземельский ядерный полигон.

Основной особенностью технолитотопа ЭГС арктической и субарктической зоны является сплошное распространение многолетнемерзлых грунтов, их высокая льдистость, близкое к поверхности залеганием надмерзлотных грунтовых вод, наличие криопэгов и повсеместным расположением заболоченных территорий, а основной особенностью техноэдафотопа – распространение маломощных почв малой продуктивности, обладающих низкой биогенностью и слабой способностью к самовосстановлению.

Функционирование военных баз, включающих аэродромы и склады горючесмазочных материалов, сопровождается загрязнением нефтепродуктами (НП) и возникновением **техногенных геохимических аномалий**. Так, на острове Земля Александры (архипелаг Земля Франца Иосифа) находится действующий аэродром, являющийся источником загрязнения почв нефтепродуктами. По данным В.А. Шевчука техногенные геохимические аномалии возникли в связи с разливами в 2011-2017 гг. 1350 м³ дизельного топлива и 417 м³ отработанного масла. На другом острове архипелага – о. Грэм Белл имеется заброшенный аэродром, где загрязнение связано с разлитым авиационным топливом 2780 м³, отработанными маслами 2480 м³ и дизельным топливом. Почвы, представленные литоземами и исследованные на соседних островах архипелага Земля Франца Иосифа, имеют преимущественно кислую реакцию среды и разнообразны по гранулометрическому составу. Концентрации НП в подавляющей части почв не превышает 250 мг/кг, что позволяет отнести их к категории опасности с допустимой степенью загрязненности, однако обнаружены участки с высоким уровнем содержания НП (3575 мг/кг). Тяжесть негативных экологических последствий при загрязнении абиотических компонентов

ЭГС связана не только объемами разлившихся НП, но также особенностями их поведения в почвах. Происходит постепенное проникновение поллютантов в нижние горизонты почв и талых грунтов, миграция к периферии ореола загрязнения с последующим распространением за пределы первичного контура загрязнения.

Испытания ядерного оружия приводят к возникновению **техногенных геофизических аномалий**. По данным Ж.Ю. Кочетова с соавторами (2023) На Новоземельском полигоне было произведено 130 ядерных взрывов, включая воздушные, подземные, подводные и один наземный. Количество ^{137}Cs , выброшенного в атмосферу, составило 8.019 мКи. По данным А.Г. Григорьева (2017) максимальный уровень загрязнения ^{137}Cs зафиксирован в южной части архипелага Новая Земля, удельная активность по состоянию на 2016 г., составляет более 0,5 Ки/км², что, вероятно, связано с проведением в районе губ Черная и Раковая приземного, надводного и подводного ядерных взрывов. Однако в соответствии с нормативами Российской Федерации, минимальным опасным уровнем загрязнения является 1 Ки/км² (НРБ-99/2009). Для северного животноводства – оленеводства – кормовой базой служат лишайники, не имеющие корневой системы. Основным источником их радиоактивного загрязнения являются выпадения радионуклидов из атмосферы. Проведенные исследования Ю.Г. Сыча, Л.В. Дубинко (2012) показали, что после ядерных взрывов лишайники на территории Новой Земли были загрязнены ^{90}Sr и ^{137}Cs в 5–10 раз больше, чем однолетние травы, произрастающие в тундре. В организм оленеводов, живущих на материке в районах Крайнего Севера, ^{137}Cs поступает по пищевой цепочке «лишайник – олень – человек».

В арктической зоне в районе расположения объектов оборонно-промышленных комплексов отмечается снижение **качества ресурса геологического пространства**. Так, на островах Франца Иосифа в районе военных баз максимальное количество металлических бочек обнаружено на о. Грэм-Белл — 297 850 шт., на о. Земля Александры находится 63 065 шт., на о. Гофмана — 7441 шт.

Таким образом, при функционировании оборонно-промышленных комплексов в Арктике и субарктике существенные изменения происходят в абиотической и биотических частях эколого-геологических систем. Функционирование военных баз и ядерных полигонов сопровождается загрязнением нефтепродуктами (НП) и возникновением техногенных геохимических и геофизических аномалий в оттаявших почвах и массивах ММГ, характеризующихся пониженным потенциалом самовосстановления.

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

К ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ ХАРАКТЕРИСТИКЕ ЭЛОВЫХ ОТЛОЖЕНИЙ УРОЧИЩА «КУЗОМЕНСКИЕ ПЕСКИ»

С.Д. Балыкова, А.Е. Харламова

Урочище «Кузоменские пески» расположено в южной части Терского берега Белого моря в районе устья реки Варзуги в окрестностях села Кузомень. Это массив перевеиваемых песков (площадь 2,2 тыс. га), сформировавшийся в результате нерациональной деятельности человека – вырубка лесов, выпас скота. Еще одна версия активизации на этой территории эловых процессов – изменение направления русла реки в результате его меандрирования в устьевой области и, как следствие, накопление огромного количества песчаного материала [1].

Четвертичные отложения Терского побережья Белого моря представлены морскими отложениями, в той или иной степени обогащенными отсортированным морем элювием красноцветных рифейских песчаников терской свиты [2].

Исходным материалом для формирования эловых форм рельефа на рассматриваемой территории могли быть аллювиальные пески реки Варзуги, флювиогляциальные отложения, элювий (перлювий) терских песчаников, в меньшей степени – морские пески.

Правый берег Варзуги характеризуется сглаженным, преимущественно деградировавшим эловым рельефом, преобладают участки бугристых песков, частично закрепленных травянистой растительностью, чередующиеся с плоскими перлювиальными котловинами, покрытыми обломками терских песчаников, останцы дюн неправильной формы. Отдельные активные дюны встречаются лишь по северной границе массива с лесом. Дюны невысокие, высота их не более 2–3 м. Вдоль искусственных защитных ограждений формируются песчаные наносы высотой 0,5–1 м.

Эловый рельеф левого берега Варзуги характеризуется пологими дюнами и останцами дюн высотой до 5 м, частично закрепленными травянистой растительностью в верхней части, активными краевыми дюнами и дефляционными котловинами, развитыми в пределах покрытой хвойным лесом части урочища.

В строении толщи дюнных песков выявлены следующие особенности: до глубины около 1 м эловые пески характеризуются тонкой перекрестной и волнистой слоистостью; на глубине 1–4,5 м наблюдается чередование косослоистых серий с углами падения слоев от 15–20° до 30–35°, неясно слоистых и горизонтально слоистых серий; отмечены отдельные волнистые слои. Слоистость обусловлена главным образом дифференциацией песков по минеральному составу – чередованием слоев более темных песков на фоне слоев светлых песков. Дифференциации по

гранулометрическому составу в дюнной толще не наблюдается: пески преимущественно мелкие, однородные, встречаются единичные линзы средних и крупных песков.

По минеральному составу эоловые пески имеют преимущественно кварц-полевошпатовый состав со средним содержанием полевых шпатов – 46%, кварца – 40%. Среди других минералов отмечены амфиболы и пироксены (до 13 %, в среднем 7%), 8,3% слюд (среднее значение 2 %). В мелкой и пылевой фракциях содержание пироксенов и амфиболов возрастает до 29%.

По гранулометрическому составу эоловые пески урочища относятся к мелким и средним однородным пескам. В пределах отдельно взятой дюны гранулометрический состав практически не меняется – дюны сложены полностью мелкими или полностью средними песками.

Песчаные зерна имеют преимущественно угловатую, угловато-окатанную форму. Присутствуют отдельные очень хорошо окатанные зерна, а также с острыми режущими краями. Поверхность песчаных зерен чаще неровная, изъеденная, чистая, с ярко выраженным стекляннным блеском. Имеются как прозрачные выветрелые зерна, так и окрашенные в оттенки желтого и зеленого цветов, в том числе песчаные зерна удлинённой и неправильной формы с матовой поверхностью, представленные темноцветными минералами. Отмечено, что наибольшей окатанностью характеризуются песчаные зерна образцов из закрепленных песков и отобранных в залесенной части массива. В целом песчаные зерна дюнных песков по своей морфологии сходны с зернами исходных аллювиальных песков, что хорошо заметно при анализе их макрофотоизображений.

Плотность твердых частиц песчаных грунтов урочища варьирует в диапазоне 2,70–2,82 г/см³, среднее значение показателя – 2,76 г/см³. Высокие значения плотности твердых частиц связаны с особенностями минерального состава песков – преобладанием в составе плагиоклазов и присутствие амфиболов и пироксенов. Показатели плотности песков в естественном сложении находятся в диапазоне: 1,59–1,68 г/см³. Значения углов естественного откоса эоловых песков урочища составляют 36–39°, углов внутреннего трения – 30–37°.

Основные выводы:

- для толщ эоловых песков характерна перекрёстная (меняющая направление и угол падения косая) слоистость;
- пески характеризуются однородностью биминерального состава – кварц-полевошпатовый либо (реже) полевошпатово-кварцевый;
- эоловые пески обладают низкой влажностью;
- в мелкой и пылевой фракциях аккумулируются темноцветные минералы (до 30%): преимущественно – пироксены и амфиболы, реже – слюды и хлорит;

- однородность гранулометрического состава: преобладание фракций 0,1 – 0,25 мм, одномодальное распределение фракций, практически полное отсутствие пылеватых и глинистых частиц;
- средняя и хорошая окатанность песчаных зерен за исключением песчаных зерен песков, золотая переработка которых началось в современное время;
- практически чистая поверхность песчаных зерен, отсутствие плотных поверхностных пленок.

Исследование выполнено в рамках государственного задания МГУ имени М.В. Ломоносова «Исследование многообразия инженерно-геологических условий территории России».

Литература

1. Бадюкова Е.Н. Пески Кузомень в устье Варзуги: происхождение, прогноз развития // XXIX Береговая конференция: натурные и теоретические исследования. Сб. трудов конф. Калининград, 2022. С. 101–104.
2. Фришман Н.И. Аметистовый берег. Мурманск; Санкт-Петербург: Русская коллекция, 2007. 96 с.

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ПРОЦЕССОВ КОМПРЕССИИ-ДЕКОМПРЕССИИ ДИСПЕРСНЫХ ГРУНТОВ НА ОСНОВЕ ИНТЕГРАЛЬНЫХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ

В.В. Матвеев, В.А. Королев

Грунты могут подвергаться попеременному уплотнению и разуплотнению вследствие циклических нединамических нагрузок, возникающих как в природе, так и при ведении хозяйственной деятельности. Исследование посвящено выявлению особенностей механического поведения грунтов при их компрессии-декомпрессии на основе термодинамики. При этом, процесс компрессии-декомпрессии в общем случае нелинейный и для его характеристики возможно использовать энергетический подход [1, 2].

Материалы и методы. Экспериментальные исследования проводились с использованием природных глинистых и модельных песчаных грунтов. Изучение деформационных свойств дисперсных грунтов было проведено в ходе более чем восьмисот циклических компрессионных испытаний. Для данного исследования нами была собрана специальная установка на базе модулей производства ООО «НПП ГеоТек» (Пенза) и разработан управляющий алгоритм в среде ПО «Geotek Studio».

Обработка результатов испытаний проводилась путем оценки величины работы деформации (A) для описания механического поведения грунтов, что весьма удобно, поскольку величина работы уплотнения позволяет одним интегральным значением этого параметра охарактеризовать деформируемость при любом количестве циклов. Величина работы деформации i -ого цикла на этапе рекомпрессии A_i и декомпрессии A_i^e определялась как площадь под компрессионной кривой $A = \int \sigma(\varepsilon) d\varepsilon$. Суммарная работа деформирования вычислялась как сумма работ на каждом цикле. Также вычислялась удельная работа диссипации, определяемая как $A_i^p = A_i - A_i^e$.

Результаты. В моренных суглинках работа деформации на этапе нагрузки A_1 , разгрузки A_1^e и повторной нагрузки A_2 тем больше, чем меньше плотность и больше влажность грунта (36,7 против 28,1 кДж/м³, 5,1 против 3,6 кДж/м³, 12,2 против 8,1 кДж/м³, соответственно). При меньшей плотности работа диссипации A^p цикла первичной компрессии-рекомпрессии выше на 20 % (31,7 против 24,6 кДж/м³).

В песках средней крупности с коэффициентом неоднородности C_u 1,7, 2,9 и 8,3 суммарная работа деформирования составила соответственно 3,5, 7,0 и 8,9 кДж/м³ за 100 циклов рекомпрессии-декомпрессии, исключая работу первичной компрессии-декомпрессии (рис. 1). Зависимость суммарной работы деформирования от количества циклов в интервале

с десятого по сотый цикл аппроксимируется степенной функцией с коэффициентом детерминации R^2 более 0,99, что может быть использовано для экстраполяции зависимости в целях прогноза осадок.

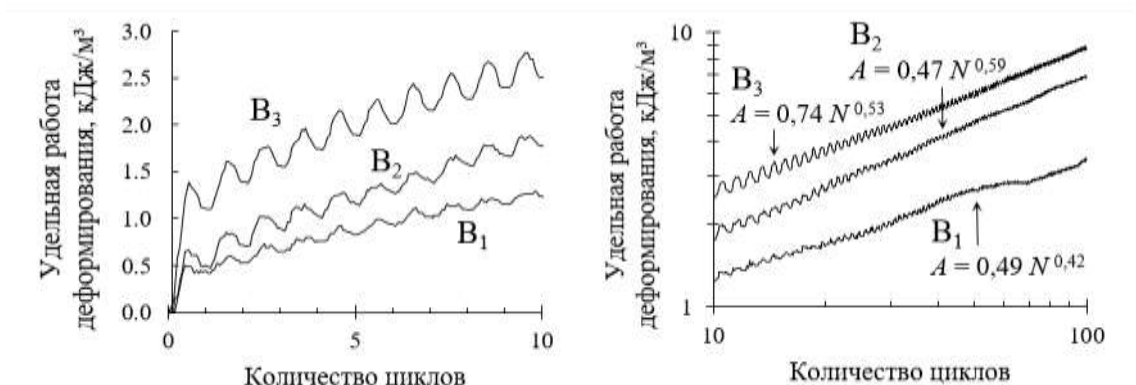


Рис. 1. Зависимость удельной работы деформирования от количества циклов нагружения для испытанных модельных песков средней крупности с различным коэффициентом неоднородности: B₁ — однородный ($C_u = 1,7$), B₂ — однородный, переходный к неоднородному ($C_u = 2,9$), B₃ — неоднородный ($C_u = 8,3$)

Выводы. Таким образом, анализ полученных экспериментальных данных позволяет выявлять закономерности уплотнения-разуплотнения в дисперсных грунтах, а также давать количественную сравнительную характеристику деформационных свойств исследуемых грунтов с использованием интегральных параметров, отражающих весь нелинейный процесс деформирования во всем интервале действующих напряжений. Практическое значение данных исследований заключается в возможности на их основе планировать деформационное поведение грунтов при циклических механических воздействиях уплотнения-разуплотнения.

Литература

1. Королёв В. А. Термодинамика грунтов / Учебник. – М.: ООО Сам полиграфист, 2016. – 258 с.
2. Орлов Е. А., Мирный А. Ю. Влияние минерального состава на деформирование монофракционных песчаных грунтов в условиях невозможности бокового расширения // Грунтоведение. – 2025. – № 1(24). – С. 27-34. – DOI 10.53278/2306-9139-2025-1-24-27-35. – EDN KСQMJP.

СТРУКТУРНЫЕ ОСОБЕННОСТИ ДИСПЕРСНЫХ ГРУНТОВ ПОСЛЕ ОБРАБОТКИ ГИДРАВЛИЧЕСКИМИ ГИДРАТАЦИОННЫМИ ВЯЖУЩИМИ

Е.Н. Самарин, М.С. Чернов, А.Ю. Мирный, В.А. Алексеенко

Изменение состояния и свойств дисперсных грунтов после обработки дисперсных грунтов вяжущими веществами является следствием структурных трансформаций, обусловленных формированием искусственного цемента между частицами и агрегатами, которые особенно ярко проявляются на уровне микростроения. Вместе с тем вопрос преобразования микростроения закрепленных грунтов является наиболее проблемным в теории физико-химической мелиорации вследствие как неопределенностей в описании механизмов твердения химических вяжущих, так и несовершенства приборной базы, что существенно ограничивает получение новых экспериментальных данных.

В случае гидравлических вяжущих – по А.А. Пашенко, твердеющих вследствие гидратации и гидролиза - направленность и глубина преобразования микростроения дисперсных грунтов существенным образом зависят от технологии совмещения их с вяжущими веществами, первоначального состава и состояния грунта, типа вяжущего и соотношения «грунт – вода – вяжущее».

В качестве объектов исследования использованы грунты средне- и верхнеплейстоценового возраста: аллювиальные олигомиктовые пески мелкие и средней крупности; покровные и флювиогляциальные супеси и суглинки; верхнеплейстоценовые элювиально-делювиальные лессовидные суглинки и лессы. Грунты преимущественно отобраны в Московском регионе и Северном Предкавказье.

Совмещение грунтов с вяжущими – преимущественно портландцементом типа ЦЕМ I по ГОСТ 31108-2020 «Цементы общестроительные. Технические условия» - проводилось двумя способами. При цементации грунты перемешивались с 10 %-ной добавкой ординарного клинкера с последующим уплотнением образцов при оптимальной влажности под нагрузкой 3,0 МПа. При обработке грунтов по технологии «jet-grouting» В/Ц цементной суспензии составляло 1,0, давление нагнетания 400 атм., расход цемента – 350 кг/м³ грунта.

После обработки растворами вяжущих, образцы закрепленного грунта помещались в эксикатор, над водой (воздушно-влажная среда), для хранения в течении 1 месяца.

Микростроение образцов изучалось по стандартным методикам при помощи растрового электронного микроскопа (РЭМ) LEO 1450VP, оснащенного энерго-дисперсионным микрондовым спектрометром (ЭДС) INCA Energy 300, приобретенном по Программе развития Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова. Пробоподготовка образцов для РЭМ выполнялась методом сушки на воздухе, а также методом вакуумной морозной

сушки. Поверхность для исследований готовилась в виде скола, с последующим напылением электропроводного покрытия. Изображения микростроения образцов получены в режиме вторичных электронов.

Поверхностная цементация грунтов предполагает перемешивание грунта с цементом с последующим уплотнением при оптимальной влажности. В условиях недостатка воды гидролиз глобул клинкера преимущественно протекает на их поверхности, в результате чего образуется первичный гидросиликат C_3SH , способствующий слипанию отдельных зерен в единую массу. Количество вторичных и третичных продуктов гидролиза клинкера увеличивается по ряду глина – суглинок – супесь – песок, в результате чего структура образующегося цемента может меняться с коллоидной на глобулярную. Тип тоберморитового цемента также постепенно изменяется с контактного на корковый и пленочный. Микроструктура закрепленных грунтов плотная. Количество третичных новообразований как правило увеличивается при использовании отошающих добавок, замедлителей или ускорителей схватывания цемента.

В результате обработки песков по технологии «jet-grouting» упаковка песчаных зерен существенно более рыхлая, вследствие чего тип тоберморитового цемента изменяется на базальный, хотя общая структура геля остается глобулярной за счет многочисленных сросшихся гидратированных глобул клинкера. Количество третичных тоберморитов игольчатого типа также существенно увеличивается из-за достаточного количества воды.

При известковании процесс цементации отдельных зерен грунта протекает существенно медленнее, а количество тоберморитового геля как правило мало, из-за чего образуется тонкая пленка цемента коркового типа.

Полученные результаты позволяет предложить следующую классификацию микроструктур дисперсных грунтов, обработанных растворами гидратационных гидравлических вяжущих веществ (табл.1)

Таблица 1. Микроструктуры дисперсных грунтов, наблюдавшиеся в экспериментах

вяжущее	технология обработки	Микроструктуры			
		песчаные грунты		супеси, лессы, пылеватые супеси и суглинки	
		до	после	до	после
Портланд-цемент	перемешивание	раздельно зернистая	сцементированная, гель глобулярно пленочный	Преимущественно скелетная	сцементированная, преимущественно скелетная
	jet-grouting		сцементированная, гель глобулярно базальный		-
известь пушенка	перемешивание		сцементированная, гель глобулярно пленочный		-

ИСПАРЯЮЩАЯ СПОСОБНОСТЬ ДИСПЕРСНЫХ ГРУНТОВ

Л.Б. Блудушкина

Способность грунта испарять воду в данных условиях (испаряющая способность) является его важнейшим физическим свойством, которое в грунтоведении мало изучено. До последнего времени испарение воды из почв и грунтов изучалось лишь как процесс, а сама испаряющая способность грунтов не рассматривалась как их специфическое свойство.

Актуальность исследования обусловлена необходимостью изучения испаряющей способности дисперсных грунтов как их важного, но малоисследованного физического свойства, имеющего ключевое значение для решения широкого круга научных прикладных задач. Практическая значимость работы связана с проблемами опустынивания и деградации почв в аридных регионах, засолением грунтов при близком залегании грунтовых вод, а также с геотехническими рисками. В сельском хозяйстве полузасушливых регионов потери влаги на испарение могут достигать 30–60% от суммы осадков, что напрямую влияет на продуктивность культур [1]. Существующие математические модели испарения требуют адекватного экспериментального обоснования и точных данных о гидрофизических свойствах почв, а также верификации с помощью современных методов, включая изотопные, которые позволяют отслеживать фракционирование ^{18}O и ^2H в почвенном профиле и оценивать скорость испарения [2, 3].

Испаряющая способность зависит, как от внешних метеорологических условий, так и от свойств самого грунта [4, 5]. В результате многолетних лабораторных и полевых исследований с использованием разработанной авторами методики, систематизированы и расширены знания об испаряющей способности грунтов и предложены параметры, характеризующие испаряющую способность дисперсных грунтов:

1. Характер испарения воды в грунтах существенно различен для двух стадий: 1) постоянного интенсивного испарения и 2) убывающего испарения. На первой стадии при испарении опустошаются в основном макрокапилляры, а на второй – характеризующейся малой степенью водонасыщения (менее 0,5) – мезо- и микрокапилляры. Испаряющая способность с уменьшением степени водонасыщения в песках снижается резко и быстро, а в супесях и суглинках - плавно и медленно.

2. Испаряющая способность уменьшается в ряду песок > супесь > суглинок > глина. Но в песках с увеличением дисперсности в образцах уменьшается диаметр пор и растёт доля сечения капилляров, занятых свободной и переходной водой, что приводит к интенсификации испарения влаги. В супесях и суглинках испаряющая способность уменьшается с увеличением

дисперсности в связи с ростом количества ультракапилляров, занятых связанной водой, которая испаряется слабо.

3. Изотопный состав категорий влаги в песчаных грунтах при испарении не одинаков: он меняется от более лёгкого к более тяжёлому в ряду: свободная вода < переходная < связанная вода. Влияние крупности песка на изотопный состав испаряющейся влаги проявляется заметно при более низких температурах. При этом вода, испаряющаяся из песка пылеватого при одинаковой температуре изотопически тяжелее, чем вода, испаряющаяся из песка средней крупности. Для песка средней крупности порции конденсата, испарившиеся при более высокой температуре, имеют более тяжёлый изотопный состав. Для песка пылеватого зависимость по дейтерию от температуры такая же, а по кислороду у пылеватого песка это менее выражено.

4. Предложены количественные показатели испаряющей способности дисперсных грунтов в разных условиях: а) период испарения (Т); б) время, за которое из грунтов испаряется 10% воды (t_{10}), 50% воды (t_{50}) и 90% воды (t_{90}); в) коэффициенты категории K_1 , K_2 ; г) количество испарившейся воды (M_i); д) коэффициент испаряющей способности (И).

Испаряющая способность может рассматриваться как самостоятельная структурно-функциональная характеристика грунтов наряду с функциями ОГХ. На основе анализа кривых ОГХ выявлена взаимосвязь параметров испаряющей способности водонасыщенных грунтов с наличием определённых форм воды в дисперсных грунтах [6,7], что было подтверждено на базе их изотопного анализа [2].

Автор выражает благодарность профессору В.А. Королёву.

Литература:

1. Wallace, J.S., Holwill, C.J. Soil evaporation from tiger-bush in Niger//Agricultural and Forest Meteorology, 1997. Pp. 426-442.
2. Васильчук Ю.К., Блудушкина Л., Буданцева Н.А. Экспериментальное изучение изотопного состава испаряющейся влаги из песчаных грунтов // Арктика и Антарктика. 2018. № 4. С. 62–74. DOI: 10.7256/2453-8922.2018.4.28589. URL: http://e-notabene.ru/arctic/article_28589.html
3. Fu, H., Neil, E. J., Li, H., & Si, B. (2025). A fully coupled numerical solution of water, vapor, heat, and water stable isotope transport in soil. *Water Resources Research*, 61, e2024WR037068. <https://doi.org/10.1029/2024WR037068>
4. Shokri, N., and D. Or., 2011. What determines drying rates at the onset of diffusion controlled stage-2 evaporation from porous media? *Water Resources Research*, 47, pp. 1-8.
5. Королёв В. А., Блудушкина Л. Б. Влияние степени водонасыщенности грунтов и концентрации электролита порового раствора на испарение влаги из песков // Инженерная геология. 2010. № 4. С. 54–59.

6. Королёв В. А., Блудушкина Л. Б. Взаимосвязь потенциала влаги в грунтах с параметрами испарения из них воды // Инженерная геология. 2015. № 3. С. 22–32.