

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
2022

Содержание:

1.	Поглощающие свойства песков, модифицированных органическими вяжущими И.А. Родькина, Е.Н. Самарин, Д.А. Крючкова	2
2.	Основные типы субаквальных очагов разгрузки флюидов и особенности их распространения С. Г. Миронюк	4
3.	К разработке систематики сухопутных (континентальных) эколого-геологических систем В.А. Королев, В.Т. Трофимов	7
4.	Использование основ экосистемного подхода в нормативных документах на инженерно-экологические изыскания М.А. Харькина, В.Т. Трофимов	9
5.	Особенности однородных эколого-геологических систем массивов лёссовых грунтов И.Ю. Григорьева, В.А. Королев	11
6.	Современные методы изучения микростроения глинистых грунтов М.С. Чернов, В.Н. Соколов, О.В. Разгулина, А.Б. Ермолинский	13

ПОГЛОЩАЮЩИЕ СВОЙСТВА ПЕСКОВ, МОДИФИЦИРОВАННЫХ ОРГАНИЧЕСКИМИ ВЯЖУЩИМИ

И.А. Родькина, Е.Н. Самарин, Д.А. Крючкова

Одной из задач экологической геологии является разработка рецептур и технологий обезвреживания и изъятия из природных кругооборотов токсичных элементов и соединений путем накопления и нейтрализации на геохимических барьерах. В качестве подобного барьера можно успешно использовать грунты, модифицированные веществами с потенциально высокими поглощающими свойствами [1].

Таким образом, целью настоящего исследования является изучение сорбции свинца на природных песчаных грунтах и грунтах модифицированных органическими вяжущими (желатин, крахмал).

В качестве вещества, по отношению, к которому изучалась поглотительная способность модифицированных грунтов был выбран свинец. Так как этот металл относится к первому классу опасности, не обладает никакими биологическими свойствами, из-за чего токсичен для живых организмов при любых концентрациях.

В качестве объекта исследования был использован верхнечетвертичный аллювиальный песок (аШ), отобранный в Калининском районе Тверской области. Согласно ГОСТу 25100-2020 песок средней крупности. Песчаные зерна представлены преимущественно кварцем средней окатанности, содержание которого достигает 80 масс. %.

Для модифицирования песка использовали суспензии желатина и крахмала. Навеска песка в количестве 1г смешивалась с той или иной суспензией в таком соотношении, чтобы количество модификанта составляло 10 масс % от массы грунта.

Рабочие растворы были приготовлены путем смешения раствора $Pb(NO_3)_2$ (с концентрацией 0,4, 0,2, 0,1, 0,02 и 0,0002 г/100 мл) с раствором ацетатного буфера (с фиксированным значением $pH = 3; 4; 5$) в соотношении 1:1. Концентрации свинца в рабочих растворах определялись при помощи атомно-адсорбционного спектрометра «КВАНТ-Z.ЭТА». Растворы с помещенными в них навесками грунта оставлялись для взаимодействия, и периодически в них измерялись концентрации металлов; за сорбционное равновесие раствора с образцом принималась условная "точка насыщения", т.е. прекращение изменения концентрации исследуемого элемента в растворе с течением времени.

Максимально возможная величина сорбированного свинца на поверхности природного песчаного грунта при $pH=3$ достигает 1,73 мг/г образца, тогда как при всего 10 масс.% добавке желатина сорбционная емкость грунтов увеличивается до 3,22 мг/г модифицированного грунта. Максимально возможная величина сорбированного свинца на

поверхности песчаного природного грунта при pH=4 достигает 10,15 мг/г образца, при добавлении желатина сорбционная емкость грунтов увеличивается до 15,87 мг/г модифицированного грунта. А при pH=5 максимально возможная величина сорбированного свинца на поверхности песчаного природного грунта достигает 13,21 мг/г образца, при 10% по массе добавке желатина сорбционная емкость грунтов увеличивается до 18,56 мг/г модифицированного грунта, а при добавлении 10 масс.% крахмала сорбционная емкость грунтов увеличивается до 25,56 мг/г модифицированного грунта.

Все полученные изотермы сорбции относятся к типу L2 (по классификации Giles С.Н. et all [2]), то есть к типу изотерм Ленгмюра. Как известно, изотермы Ленгмюра описывают мономолекулярную адсорбцию, которая соответствует насыщению адсорбционных центров на поверхности твердой фазы по типу «одна сорбционная позиция – один поверхностный комплекс». Следовательно, полученные результаты позволяют предположить, что в условиях проведенного эксперимента объемной сорбции ионов свинца не происходит. Таким образом, можно говорить о том, что в этих экспериментальных исследованиях происходит процесс сорбции ионов свинца на поверхности сорбента. Перестроение полученных экспериментальных данных в графики Курбатова дает линейную зависимость, при этом графики природных не модифицированных грунтов и грунтов, модифицированных желатином практически параллельны (отличия составляют несколько минут, а возможно даже связаны с углом проведения линии тренда), что позволяет дать прогноз количества сорбированного свинца при уменьшении добавки желатина к грунту. Помимо этого, по графикам были рассчитаны константы сорбции и константы сродства адсорбата к адсорбенту.

Результаты экспериментов показали, что добавление крахмала, в качестве органического вяжущего к песчаным грунтам, в целях применения их в качестве сорбционных фильтрующих барьеров эффективнее добавления желатина.

Таким образом, проведенные исследования убедительно показали возможность использования песчаных грунтов в качестве защитного сорбирующего экрана по отношению к свинцу в диапазоне pH от 3 до 5.

Список литературы

1. Родькина И.А., Самарин Е.Н. Создание сорбционных геохимических барьеров по отношению к свинцу на основе аминопласт-грунтовых композитов /Вестник МГУ. Серия Геология. 2015. № 2. С. 98-103.
2. Giles С.Н., MacEvan Т.Н., Nikhwa S.Н., Smith D. Studies in Adsorption. Part XI. 1960. P 3973-3980

ОСНОВНЫЕ ТИПЫ СУБАКВАЛЬНЫХ ОЧАГОВ РАЗГРУЗКИ ФЛЮИДОВ И ОСОБЕННОСТИ ИХ РАСПРОСТРАНЕНИЯ

С. Г. Миронюк

По мере увеличения объемов поисково-разведочного бурения и инженерно-геологических изысканий на шельфе и в глубоководных областях акваторий множатся факты свидетельствующие, что над нефтегазовыми залежами формируются не только ореолы аномальной концентрации углеводородов в осадках, но и, в целом, сложные природные условия («сложные природные условия - наличие специфических по составу и состоянию грунтов и (или) риска возникновения (развития) опасных природных процессов и явлений и (или) техногенных воздействий на территории, на которой будут осуществляться строительство, реконструкция и эксплуатация здания или сооружения» [1]). Участки морского дна со сложными природными условиями пространственно сопряжены с т. н. «очагами разгрузки флюидов». Под этим базовым термином флюидогеодинамики (ФГД) понимают «естественные выходы напорных восходящих флюидов вместе с участками (местами) расположения этих выходов и с ореолами их влияния на окружающую среду [2].

Очаги разгрузки флюидов характеризуются широким развитием флюидогенных деформаций [3], форм рельефа [4], биоценозов [5], флюидно-осадочного и литокинетического типов седиментогенеза [6], карбонатного аутигенеза. Участки морского дна с высокой флюидной активностью являются зонами повышенного геологического риска [7]. Места подводной дефлюидизации недр в совокупности занимают 10-15 % площади Мирового океана, но на сегодняшний день являются еще недостаточно изученными, особенно в инженерно-геологическом отношении.

К числу основных понятий ФГД относится также термин «флюидодинамическая система». Флюидодинамическая система (ФДС) – «геологическое тело, представленное флюидом, механически взаимодействующее с вмещающим субстратом земных недр, все части которого гидравлически связаны между собой и находятся в упорядоченном движении под действием миграционного напряжения, созданного какой-либо одной причиной. Полная ФДС состоит из областей питания, транзита и разгрузки» [8]. Область транзита ФДС наиболее часто представлена т. н. газовыми трубами (столбами, колоннами) [9,10]. Газовые трубы (каналы) являются важнейшим элементом ФДС, благодаря которым осуществляется заполнение ловушек углеводородными флюидами, мигрирующими из глубинных областей питания, а также миграция флюидов от коллекторов к очагам их разгрузки.

В данной работе в качестве основных типов очагов разгрузки флюидов рассматриваются грязевые вулканы, поля активных покмарок (газовых воронок), соляные диапиры соответственно следующих типов ФДС: вулканодинамической, газодинамической и литодинамической.

Флюидопроявления в Мировом океане представляют собой глобальное геологическое явление. Они обнаружены во всех морфоструктурных зонах морей и океанов от шельфа до рифтовых долин срединно-океанических хребтов и особенно характерны для активных континентальных окраин в областях формирования аккреционных призм, а также развиты на пассивных окраинах континентов в районах лавинной седиментации [11].

Обобщение материалов по субаквальной флюидной активности по многочисленным опубликованным источникам, собственных исследований позволяет сделать ряд выводов относительно закономерностей распространения рассматриваемого явления. Естественные флюидопроявления в форме холодных метановых сипов, полей покмарок, грязевых вулканов особенно широко распространены в морях с коллизионным (орогенным) типом тектонического режима с мощной (свыше 3 км) осадочной толщей, а также в районах морей, находящихся в зоне влияния океанического спрединга, субдукции, мантийных плюмов, расположенных над глубинными разломами и т. д.

Характерная черта ряда морских бассейнов, помимо грязевого вулканизма, проявления соляного диапиризма в разнообразных формах. Областью питания соляных диапиров являются разновозрастные соленосные толщи. Согласно оценке В. П. Петрищева, к солянокупольным бассейнам относится более 5% земной поверхности. На сегодня обнаружено около 5 тыс. соляных структур (диапиров, антиклиналей), среди которых несколько сотен являются активно растущими [12]. В значительной части солянокупольных бассейнов диапиризм сопровождается интенсивными восходящими разгрузками рассолов и углеводородов [5]. На сегодня проявления соленого диапиризма обнаружены в Северном, Баренцевом, Карском морях, Хатангском заливе моря Лаптевых, море Бофорта, Мексиканском заливе, Средиземном море, Северном Каспии, Персидском заливе, Красном море, в различных частях Атлантического океана и т.д.

Почти все области соляной тектоники являются нефтегазоносными провинциями. Характерными морфологическими типами соляных диапиров являются: соляная подушка, соляная антиклиналь, соляной купол, соляная стена, соляной шток (самая распространенная форма диапировых структур) и др. [13]. Имеется определенное сходство в морфологии соляного диапиризма и грязевого вулканизма, тождественен и механизм их образования. В то же время соляная тектоника наиболее часто проявляет себя в краевых частях платформ, где развиты соленосные толщи, а грязевой вулканизм – в смежных орогенных областях, где

преобладают мощные глинистые толщи [14].

Список литературы

1. Закон Ф. Технический регламент о безопасности зданий и сооружений (с изменениями на 2 июля 2013 года). 2009.
2. Беленицкая Г.А. Роль глубинных флюидов в осадочном пороодо- и рудообразовании // Дегазация Земли и генезис нефтегазовых месторождений. М.: ГЕОС, 2011. С. 143-188.
3. Мейснер Л. Б., Туголесов Д. А. Флюидогенные деформации в осадочном выполнении Черноморской впадины// Разведка и охране недр. 1997. №7. С. 18-21.
4. Миронюк С. Г. Флюидогенные образования: обоснование выделения новой генетической группы рельефа морского дна // VIII Шукинские чтения: рельеф и природопользование. Материалы Всероссийской конференции с международным участием. МГУ имени М.В. Ломоносова, географический факультет, кафедра геоморфологии и палеогеографии, Москва, 28 сентября-1 октября 2020 г. / Под ред. Е. Н. Бадюкова, В. Р. Беляев, Ю. Р. Беляев и др.: Москва, 2020. С. 37–43.
5. Беленицкая Г. А. «Флюидное» направление литологии: состояние, объекты, задачи // Ученые записки Казанского университета. Серия Естественные науки. 2011. Т. 153. №. 4. С. 97-113.
6. Беленицкая Г.А. Типы седиментогенеза: расширенный вариант классификации // Отечественная геология. 2008. №3. С. 29–49.
7. Миронюк С.Г. Природные факторы и причины аварийности морских буровых установок и нефтегазодобывающих платформ на шельфе// Перспективы развития инженерных изысканий в строительстве в Российской Федерации. Материалы XV Общероссийской конференции изыскательских организаций 26 – 29 ноября 2019 г. М.: ООО «Геомаркетинг», 2019. С. 671-678.
8. Кудряшов А. И. Опыт классификации флюидодинамических систем//Труды XI геол. конф. Коми АССР. Сыктывкар: Коми НЦ УрО АН СССР, 1991. С. 214-217.
9. Миронюк С. Г., Росляков А. Г., Иванова А. А., Терехина Я. Е., Токарев М. Ю., Мартын А. А. Изучение субвертикальных зон дезинтеграции (труб дегазации) в осадочном чехле морских нефтегазоносных бассейнов (на примере Охотского моря)// Инженерные изыскания. 2020. Т. 14. № 2. С. 28-41.
10. Миронюк С.Г., Росляков А.Г. Иванова А.А., Терехина Я. Е., Токарев М. Ю., Мартына А. А. Типы субвертикальных зон потери корреляции (газовых труб) в осадочном чехле шельфа Охотского моря и особенности их строения
11. Мазуренко Л. Л. Газогидратообразование в очагах разгрузки флюидов: автореф. дис.канд. геол.-мин. наук. СПб.: ВНИИОкеангеология, 2004. 32 с.
12. Петрищев В.П. Ландшафты соляных куполов. Saarbrücken, Germany: LAP LAMBERT Academic Publishing, 2012. 516 с.
13. Twiss R.J., Moores E.M. Structural geology. N.Y.: Freeman, 1992. 532 p.
14. Холодов В. Н. Закономерности размещения и условия образования соляных диапиров и грязевых вулканов// Литология и полезные ископаемые. 2013. № 5. С. 441–460.

**К РАЗРАБОТКЕ СИСТЕМАТИКИ СУХОПУТНЫХ (КОНТИНЕНТАЛЬНЫХ)
ЭКОЛОГО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ**

В.А. Королев, В.Т. Трофимов

Континентальной природной эколого-геологической системой называется часть естественной сухопутной экосистемы, представленная совокупностью литотопа, эдафотона, микробо-, фито- и зооценоза и составляющая единое целое. Систематика природных континентальных (сухопутных или субаэральных) ЭГС должна строиться с учетом особенностей их абиотических и биотических компонентов. При этом среди первых базовое значение имеет учет особенностей *литотопа* как литогенной основы данной элементарной ЭГС. Именно поэтому в основе систематики природных ЭГС должна лежать систематика литотопов с выделением массивов скальных и дисперсных грунтов, а также мерзлых и антропогенных грунтов. Для этого, например, можно использовать систематику природных ЭГС по литотопам, структура которой показана в табл. 1.

Таблица 1

Систематика природных сухопутных эколого-геологических систем элементарного уровня по литотопам

Класс литотопа	Тип литотопа	Вид литотопа	Преобладающие грунты	Тип ЭГС
1	2	3	4	5

С учетом рельефа, а также геодинамических процессов, геохимических и геофизических полей систематика природных континентальных ЭГС (вне криолитозоны) может строиться по примеру структуры, показанной в табл. 2.

Таблица 2

Систематика природных континентальных однородных ЭГС по литотопам и их компонентам

Тип литотопа	Вид литотопа	Подтип рельефа	Геодинамические процессы	Геохимические поля	Геофизические поля	Тип ЭГС
<i>Платформенные структуры, равнинный рельеф</i>						
...
<i>Орогенные структуры, горный рельеф</i>						
...

В такой классификации все многообразие однородных природных континентальных ЭГС массивов немерзлых грунтов подразделяется на две категории: 1) развитые в пределах равнин, и 2) развитые в горных областях. В каждой из этих категорий выделяются по подтипам рельефа

ЭГС, сформированные на тех или иных литотопах, выделяемых по их компонентам: преобладающим грунтам, а также развитым в их пределах геодинамическим процессам и особенностям геохимических и геофизических полей.

С учетом рельефа территории развитие тех, или иных геодинамических (геологических) процессов в пределах ЭГС тесно приурочено к составу грунтов и геологическому строению массива, на котором формируется данная ЭГС как на литотопе. Так, например, в ЭГС, сформированных на равнинных территориях, не развиваются гравитационные склоновые процессы (обвалы, осыпи), сейсмические процессы, вулканизм и т.п., тогда как в ЭГС, сформированных в горных территориях, напротив, все эти процессы могут быть преобладающими.

Кроме того, в выделяемых в классификации литотопах учитываются и преобладающие природные геохимические поля, обуславливающие геохимическую миграцию веществ в ЭГС за счет тех или иных механизмов: литогеохимические (обусловленные составом грунтов), атмогеохимические (обусловленные газовым составом грунтов); гидрохимические (обусловленные составом подземных вод), снеохимические (обусловленные снеговым покровом) и биохимические (обусловленные биотой).

Сложнее обстоит выделение литотопов для моно-ЭГС с учетом естественных геофизических полей. Их учет, безусловно, необходим при выделении ЭГС мезо- и макро-уровней, когда могут проявляться аномалии различных геофизических полей (магнитного, гравитационного и др.) и геопатогенные зоны. Для однородных моно-ЭГС, формирующихся и существующих в пределах однородных геофизических полей, такие аномалии не выделяются.

Однако для них весьма важен учет теплообеспеченности системы, которая в зависимости от климатических условий и высотной зональности может быть различной. Поэтому в первом приближении необходимо различать литотопы по теплообеспеченности хотя бы трех категорий: высокой, средней и низкой.

Таким образом, представленная в табл. 2 структура систематики природных континентальных однородных ЭГС по литотопам и их компонентам, рассматриваемой в докладе, позволяет подразделять ЭГС в самом общем случае с выделением 32 видов ЭГС и соответствующих им n литотопов ($n=1,2,3,\dots,32$, где n – вид литотопа). Для конкретных регионов она должна быть детализирована с целью выделения литотопов с учетом конкретных геологических, геоморфологических, эколого-геохимических и эколого-геофизических условий рассматриваемой территории.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ОСНОВ ЭКОСИСТЕМНОГО ПОДХОДА В НОРМАТИВНЫХ ДОКУМЕНТАХ НА ИНЖЕНЕРНО-ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ИЗЫСКАНИЯ

М.А. Харькина, В.Т. Трофимов

1. Инженерно-экологические изыскания введены в России достаточно недавно в 1996 году с выходом в свет СНиП 11-02-96¹ «Инженерные изыскания для строительства. Основные положения». В следующем 1997 г. вышел следующий революционный нормативно-технический документ СП² 11-102-97 «Инженерно-экологические изыскания для строительства», нормативно предписывающий изучать последствия воздействия проектируемых и возводимых сооружений на окружающую среду. Инженерно-экологические изыскания по существу – вид работ по своему содержанию, отвечающий геоэкологическим работам в нашем понимании [1]. При инженерно-экологических изысканиях предписывается изучать все земные среды (литосферу, педосферу, гидросферу, атмосферу, биосферу) и влияние на них техногенных (строительство) воздействий. Рассматривая экосистему как среду обитания биоты, можно утверждать, что с выходом в свет СП 11-102-97 состоялось внедрение экосистемного подхода в практику изыскательских работ, хотя термин экосистема в этом документе не упоминается.

2. В ходе развития нормативно-технической базы после СП 11-102-97 вышли в свет СП 47.13330.2012, СП 47.13330.2016, в которых инженерно-экологические изыскания рассматривались в комплексе с другими видами изыскательских работ (инженерно-геодезическими, инженерно-гидрометеорологическими, инженерно-геологическими и инженерно-геотехническими) и только один раздел документа был посвящен собственно инженерно-экологическим изысканиям и не отражал всю полноту этих исследований. И наконец, в конце 2021 г. вышел действующий в настоящее время СП 502.1325800.2021 «Инженерно-экологические изыскания. Общие правила производства работ», полностью посвященный изучению геоэкологических условий строительства инженерных объектов. Именно в СП 502.1325800.2021 наиболее полно освещены и регламентированы исследования абиотические и биотические компоненты экосистем.

3. К достижениям по внедрению экосистемного подхода в СП 502.1325800.2021 относятся **включение термина «экосистема» в терминологическую базу документа; нормирование исследований абиотических и биотических компонент экосистем; регламентирование параметров и критериев оценки всех компонентов экосистем**, включая литосферу (грунты, донные отложения, подземные воды, подземные

¹ СНиП – строительные нормы и правила.

² СП – строительные правила

газы, ландшафты, геологические процессы, радиационная обстановка, радоноопасность, вибрация, электромагнитные излучения), педосферу (почвы, плодородный слой, гумус), атмосферу (воздух, электромагнитные излучения, шумы, инфра- и ультразвук, гидрометеорологические процессы), поверхностную гидросферу (поверхностные воды суши, морские воды, гидрометеорологические процессы), растительный и животный мир (растения, мхи, лишайники, животные, птицы, рыбы, микроорганизмы, бактериопланктон, фитопланктон, зоопланктон, ихтиопланктон, макробентос) и, наконец, социум (санитарно-эпидемиологическая и медико-биологическая обстановки, заболевания населения, социально-экономические условия). Отметим, что исследованию биотических параметров уделено меньшее внимание, но главное, что они присутствуют в действующем нормативном документе. Они определяют степень эпидемиологической опасности почвы (п.17.8.1 табл. 5.4) и регламентируют количество бактерий группы кишечной палочки, попадание фекалий стоков в почвы, количество патогенных бактерий (сальмонеллы, яиц гельминтов, личинок и куколок мух), а также заболеваемость человека и смертность при проявлении природных и антропогенных геологических процессов (п.5.21.2 табл. 5.9).

Еще одним положительным пунктом СП 502. 1325800.2021 является **использование экологически ориентированной классификации** геологических процессов с выделением катастрофических, опасных, неблагоприятных и благоприятных групп процессов.

4. В действующем СП 502. 1325800.2021 есть и нерешенные вопросы. К ним относятся недостаточное использование теоретических основ учения об экологических функциях абиотических сфер Земли [2], неразработанность параметров и критериев оценки природных воздействий на экосистемы (например, вулканизма), а также отсутствие рекомендаций по содержанию легенд карт современного и прогнозируемого экологического состояния [3].

Список литературы

1. Трофимов В.Т. Основы нового содержания геоэкологии как междисциплинарной науки. М.: «КДУ», «Университетская книга», 2021. 106 с.
2. Трофимов В.Т., Харькина М. А., Барабошкина Т. А., Жигалин А.Д. Экологические функции абиотических сфер Земли / Под ред. В.Т. Трофимова. М.: "КДУ", "Университетская книга", 2018. 608 с.
3. Трофимов В.Т., Харькина М. А. Составление карт современного экологического состояния – требование СП 502.1325800.2021 «Инженерно-экологические изыскания для строительства. общие правила производства работ». Каково их содержание?/ Перспективы развития инженерных изысканий в строительстве в Российской Федерации. М.: Геомаркетинг, 2021. 206-215.

ОСОБЕННОСТИ ОДНОРОДНЫХ ЭКОЛОГО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ

МАССИВОВ ЛЁССОВЫХ ГРУНТОВ

И.Ю. Григорьева, В.А. Королев

Однородные эколого-геологические системы (ЭГС) массивов лёссовых грунтов имеют свои специфические черты, отличные от ЭГС массивов иных дисперсных грунтов. Эти системы относятся к элементарному иерархическому уровню. В соответствии с классификацией [2], структура ЭГС массивов лёссовых грунтов может быть, как полной, так и не полной. В последнем случае в ней отсутствуют такие важные компоненты как эдафотоп и фитоценоз.

Литотоп ЭГС массивов лёссовых грунтов является литогенной основой для формирующихся на них экосистем. К основным особенностям литотопа ЭГС массивов лёссовых грунтов относятся: специфический *химико-минеральный состав* (все лёссы полиминеральны); характерный *гранулометрический состав*, представляющий собой грунты от пылеватых песков до лёссовидных глин с преобладанием пылеватой фракции (как правило, более 50%); характерное *микро- и макростроение*, их высокая макропористость, обуславливает хорошую аэрируемость пород зоны аэрации, вертикальный массоперенос, доступность геологического пространства для микро- и макроорганизмов; наличие *потенциальной просадочности*, обуславливающей специфические экзогенные процессы и формирование характерных форм эрозионного рельефа (псевдокарст); *невысокая прочность*, облегчающая роющим беспозвоночным и позвоночным животным освоение их подземного пространства в качестве среды временного или постоянного обитания; преимущественно *покровные (чехлообразные) формы рельефа* на равнинных и предгорных территориях.

Гидротоп ЭГС массивов лёссовых грунтов также обладает специфическими чертами, к которым относятся: относительно *низкая влажность и степень водонасыщения* ($S_r < 0,5$) грунтов, высокая дренированность; *значительная глубина залегания грунтовых вод* и, соответственно, мощная зона аэрации; *специфический парагенез форм влаги* (малоподвижный, диффузионный и капиллярный по Н.И.Кригеру [3]).

Эдафотоп ЭГС лёссовых грунтов (при его наличии) также имеет ряд отличительных особенностей: богатство минеральными компонентами и солями, хорошая аэрируемость создают благоприятную среду для почвообразовательного процесса и формирования *плодородных почв* – черноземов и серозёмов, характерных для степной зоны; почвы имеют *пылеватый гранулометрический состав* и содержат *значительное количество водорастворимых солей*; отмечается наличие *горизонтов погребенных почв*, свидетельствующих о динамике накопления лёссов и длительности существования их дневной поверхности в предшествующие геологические эпохи и палеогеографических особенностях

ЭГС.

Микробоценоз ЭГС массивов лёссовых грунтов отличается: *преобладанием автохтонных пелитофильных микроорганизмов* – низших грибов, бактерий и актиномицет, в том числе играющих важную роль в образовании гумуса почвы на лёссах [1]; стратификацией количества микробной биомассы по разрезу и заметным *преобладанием* в верхней части профиля лёссовой толщи бактерий *аммонификаторов* [4]; активным участием *микробиоты в формировании химико-минерального состава* лёссовых грунтов; возможностью изменения микроструктуры и *формированием связности и повышенной прочности* за счет жизнедеятельности *кальцит-продуцирующих бактерий*; формированием микробиологических условий, способствующих консервации органических остатков и стерилизации гнилостных бактерий и т.д.

Особенности **фитоценоза ЭГС массивов лёссовых грунтов** (при его наличии) заключаются в специфичности их растительных сообществ: преобладании *ксерофитных растений-пелитофитов*; способности растений влиять на микро- и макростроение, развитие процессов просадочности и псевдокарста [3].

Зооценоз ЭГС массивов лёссовых грунтов характеризуется: специфичностью видового состава беспозвоночных (особенно членистоногих) и позвоночных животных (норных и роющих) [3]; значительным количеством видов, роющих норных млекопитающих (тушканчиков, сурков и др.), что может существенным образом влиять на многие свойства лёссового массива в целом, в том числе и на развитие в лёссах процессов просадочности и других экзогенных геологических процессов.

Таким образом, эколого-геологические системы массивов лёссовых грунтов представляют собой сложные специфические образования, обладающие характерными особенностями и структурой, которые во многом обусловлены их литогенной основой.

Список литературы

1. Болотина И.Н., Минервин А.В., Усупаев М.Э. Микроорганизмы лёссовых грунтов // Инженерная геология, 1983. – № 5. – С. 47-54.
2. Королёв В. А., Трофимов В. Т. К построению общей классификации континентальных эколого-геологических систем // Вестник Московского университета. Серия 4: Геология, 2022. – № 1. – С. 54-61.
3. Лаврусевич А.А., Лаврусевич И.А. Некоторые геоэкологические аспекты устойчивости лёссовых массивов (биотические факторы формирования лёссового псевдокарста) // Геоэкология. Инженерная геология. Гидрогеология. Геокриология, 2020.– № 2.– С. 28-38.
4. Dong Liu, Yang Yang, Shaoshan An, Honglei Wang, Ying Wang. The biogeographical distribution of soil bacterial communities in the Loess Plateau as revealed by high-throughput sequencing//Front Microbiol, 2018. – № 9. – P. 2456doi: 10.3389/fmicb.2018.02456

СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ ИЗУЧЕНИЯ МИКРОСТРОЕНИЯ ГЛИНИСТЫХ ГРУНТОВ

М.С. Чернов, В.Н. Соколов, О.В. Разгулина, А.Б. Ермолинский

В докладе рассмотрены методы изучения микростроения глинистых грунтов на современном этапе развития науки и технологий. Показаны достоинства и недостатки методов изучения микростроения именно глинистых образований при решении инженерно-геологических задач. Проведен анализ задач развития методов и подходов, позволяющих получать более полную и детальную информацию о микростроении глинистых грунтов.

В учебнике Грунтоведение [2] даны следующие определения терминов: *строение, структура и текстура* грунта. *Строение* – это совокупность структурных и текстурных признаков, отражающее взаимоотношение всех компонентов грунта – твердой, жидкой, газовой и биотической. *Структура* – это совокупность признаков, отражающих размер, форму, характер поверхности, количественное соотношение его структурных элементов (отдельных зерен, частиц, агрегатов, цемента, стекла) и характер взаимосвязи их друг с другом. *Текстура* – особенности строения, обусловленные ориентировкой и пространственным взаимным расположением всех структурных элементов. Из этих определений следует, что при изучении высокодисперсных образований, таких как глинистые грунты, невозможно дать полное описание их строения без их изучения с помощью увеличительных приборов, позволяющих получать информацию о строении с детальностью выше разрешающей способности человеческого глаза (около 0,1 мм). При исследованиях с помощью увеличительных приборов, также используются понятия: *микростроение, микроструктура и микротекстура*.

Необходимо понимать, что при описании строения глинистых грунтов, необходимо иметь возможность «видеть» все структурные элементы, слагающие глинистый грунт, а для этого нужно выбрать подходящий метод исследования. Необходимо иметь возможность охарактеризовать размер, форму, характер поверхности, взаимное расположение и виды контактов всех структурных элементов грунта, включая самые мельчайшие.

К основным современным методам изучения строения и микростроения глинистых грунтов можно отнести: визуальный метод описания; метод оптической микроскопии; метод растровой (сканирующей) электронной микроскопии (РЭМ); метод рентгеновской компьютерной томографии (КТ). Все эти методы имеют свои достоинства и недостатки, которые определяются, как техническими параметрами исследовательского оборудования и способами пробоподготовки, так и самим объектом и целями исследования. Основные достоинства и недостатки современных методов исследования строения и микростроения глинистых

микростроения глинистых грунтов приведены в таблице 1. В таблице не проводится сравнение и оценка достоверности получаемых результатов каждым из методов, т.к. это не входило в цели данного доклада, и требует отдельного и более подробного рассмотрения самих методов исследования, методов пробоподготовки и методов анализа получаемых данных.

Таблица 1. Основные достоинства и недостатки методов исследования строения и микростроения для изучения глинистых грунтов

Методы	Визуальный	Оптическая микроскопия	Компьютерная томография	Электронная микроскопия
Достоинства	- Представительный образец или массив грунтов	-Цветное изображение	- Неразрушающий метод - Изучение объемного строения - Не требует специальной подготовки образца	- Разрешающая способность до $n \cdot 10$ нм - Количественный анализ микростроения - Различные режимы исследования
Недостатки	- Разрешающая способность до 0,1 мм - Разрушающий метод*	- Разрешающая способность до $n \cdot 10$ мкм - Разрушающий метод	- Разрешающая способность до 1 мкм	- Разрушающий метод - Локальный метод (по сравнению с другими)
Возможности получения дополнительной информации		- Минеральный состав неглинистых минералов	- Интерпретация состава образца по объему при возможности калибровки параметров съемки	- Определение хим. состава структурных элементов с помощью микрозондового анализа

* – в данном случае под «разрушающим» или «неразрушающим» методом подразумевается возможность использовать образец после исследования данным методом для других испытаний или исследований.

На современном этапе развития методов изучения и анализа строения и микростроения глинистых грунтов хорошо разработаны и обоснованы алгоритмы количественного анализа. Так, под руководством сотрудников кафедры инженерной и экологической геологии геологического факультета МГУ разработано ПО «STIMAN» [3]. В результате количественного анализа микростроения могут быть: 1) получены данные о размере, форме и ориентации структурных элементов; 2) определены такие важные параметры дисперсных пористых структур, как общая

пористость, удельная поверхность, коэффициент извилистости поровых каналов, оценена фильтрационная проницаемость образцов; 3) так же можно провести Фурье-анализ и получить интегральные (классификационные) параметры.

В последние годы активно разрабатываются методики получения данных для комплексного анализа по результатам исследований разными методами одного образца. Например, по данным методов электронной микроскопии и компьютерной томографии [1]. Такие методические подходы наиболее перспективны для получения наиболее полной информации о строении и микростроении глинистых грунтов.

Основные выводы. 1. При изучении глинистых грунтов (с инженерно- геологической точки зрения) невозможно дать характеристику их строения без применения методов исследования, разрешающая способность которых существенно больше, чем размер мельчайших структурных элементов грунта. 2. При изучении строения глинистых грунтов, как в целях качественного, так и количественного анализа, необходимо использовать комплексный подход в выборе методах исследования. В последние годы хорошие результаты показывает комплекс методов РЭМ – КТ. 3. Одной из главных задач в развитии методов и подходов изучения строения глинистых грунтов, как фактора определяющего их свойства, являются разработки методик, позволяющих получать данные об изменении их строения в процессе испытаний по деформированию, набуханию, усадке и т.д.

Список литературы

1. Булыгина Л.Г., Соколов В.Н., Чернов М.С., Разгулина О.В., Юрковец Д.И. Анализ структуры грунтов комплексом растровый электронный микроскоп - рентгеновский компьютерный микротомограф (РЭМ-μКТ) // Геоэкология. Инженерная геология. Гидрогеология. Геокриология. 2014. № 5. С. 457–463.
2. Грунтоведение / Трофимов В.Т., Королёв В.А., Вознесенский Е.А., Голодковская Г.А., Васильчук Ю.К., Зиангиров Р.С. / Учебник под ред. В.Т. Трофимова. – 6- е изд., перераб. и доп. – М.: Изд- во МГУ, 2005. 1024 с.
3. Соколов В.Н., Юрковец Д.И., Разгулина О.В. Исследование микроструктуры грунтов с помощью компьютерного анализа РЭМ-изображений // Геоэкология. Инженерная геология. Гидрогеология. Геокриология. 2008. № 4. С. 377-382.