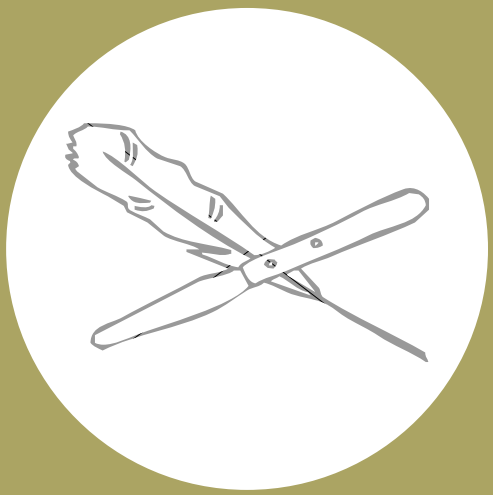
ISSN 2306-9139

ГРУНТОВЕДЕНИЕ

№ 1
2014



академик Российской академии наук

Евгений Михайлович Сергеев

1914-1997

Охотинское общество грунтоведов

ГРУНТОВЕДЕНИЕ

№ 1
2014

Журнал основан в 2012 г.

Главный редактор
Р.Э. Дашко

Редакционная коллегия:
Е.А. Вознесенский, В.В. Дмитриев, М.С. Захаров, Д.Ю. Здобин (*зам. главного редактора*)
И.П. Иванов, В.М. Кнатько, В.А. Королев, Н.Г. Корвет,
Н.Н. Матинян, А.А. Свертилов

Выпускающий редактор
Д.Ю. Здобин

Зав. редакцией Ю.Ю. Соколова
Адрес редакции: 190068, Санкт-Петербург, Лермонтовский пр., 7, лит. А
тел.: +7 921 986-07-57
www.okhotin-grunt.ru
E-mail: gruntovedenie@mail.ru
okhotin-grunt@mail.ru

Санкт-Петербург
Издательство «Центр генетического грунтоведения»

© Редакция журнала «Грунтоведение», 2014

УДК 624.131.1
ББК 26.3

СОДЕРЖАНИЕ

К 100-Летию со дня рождения Евгения Михайловича Сергеева

В. А. Королев
Вклад Е.М.Сергеева в развитие грунтоведения **3**

Н. А. Ларионова
Е.М.Сергеев и его вклад в развитие технической мелиорации грунтов **15**

В. И. Сергеев
Академик Е.М.Сергеев и лаборатория охраны геологической среды **23**

ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ГРУНТОВЕДЕНИЕ

Р. Э. Дашко
К проблеме фильтрационной консолидации: структура и свойства воды в глинистых грунтах **30**

А.А.Каздым
Техногенные грунты и техногенные отложения, техногенные ландшафты и культурный слой – современные проблемы классификации и систематики **54**

ЛАБОРАТОРНОЕ ГРУНТОВЕДЕНИЕ

С. Б. Дроздова
К вопросу определения содержания карбонатов в грунтах **71**

ИСКУССТВЕННЫЙ ЛИТОГЕНЕЗ

В М.Кнатько
Теоретическое обоснование стадийности и взаимосвязи технологических, химических и физико-химических процессов, происходящих в системах «химические реагенты – дисперсные грунты» при их укреплении в результате синтеза неорганических вяжущих веществ **76**

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ **83**

УДК 624.131

ВКЛАД Е.М.СЕРГЕЕВА В РАЗВИТИЕ ГРУТОВЕДЕНИЯ

© 2014 г., В.А.Королёв

Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова
119991, Москва, Ленинские горы 1.МГУ, геологический факультет.
e-mail: korolev@geol.msu.ru

Введение

Академику Евгению Михайловичу Сергееву (1914-1997) 23 марта этого года исполняется сто лет со дня рождения. Эта дата широко отмечается в кругу инженер-геологов, научной общественности страны. Е.М. Сергеев был выдающимся ученым инженер-геологом, прекрасным педагогом и умелым организатором инженерной геологии, как науки геологического цикла. Велик вклад Е.М. Сергеева во все основные направления инженерной геологии: в грунтоведение, инженерную геодинамику и региональную инженерную геологию [4,7]. В данной статье, учитывая специфику настоящего журнала, анализируется вклад Е.М. Сергеева в развитие грунтоведения – одного из важнейших направлений инженерной геологии, изучающего состав, строение, свойства и закономерности поведения грунтов в связи с инженерной деятельностью человека.

Е.М.Сергеев, начало 1970-х г. (фото В.И.Васильева)

Научный интерес Е.М. Сергеева к грунтам сформировался под влиянием его учителя – известного почвоведа и грунтоведа М.М. Филатова (1877-1942), основателя кафедры грунтоведения и инженерной геологии в Московском государственном университете (1938) [4]. Вклад Е.М. Сергеева в развитие грунтоведения по нашему мнению определяется следующими основными позициями: 1) разработкой им теоретических основ грунтоведения; 2) разработкой физико-химических основ изучения свойств грунтов; 3) развитием учения о связанной воды в грунтах; 4) изучением структурных особенностей грунтов; 5) характеристикой отдельных типов грунтов; 6) разработкой классификаций грунтов; 7) подготовкой грунтоведческих кадров; 8) решением организационных вопросов грунтоведения в стране. Рассмотрим эти позиции подробнее.

Разработка теоретических основ грунтоведения

Е.М. Сергеев в течение всей своей научной деятельности занимался разработкой теоретических и методологических вопросов общего грунтоведения. Уже в 1946 г. он опубликовал монографию «Избраняные главы общего грунтоведения» [8], в которой попытался сформулировать некоторые базовые теоретические положения грунтоведения. Здесь большое внимание он уделил гранулометрическому составу грунтов и методам его определения, составу, строению и свойствам глинистой фракции грунтов, видам воде в грунтах, теплоте смачивания грунтов, корреляции между отдельными свойствами грунтов и вопросам микроструктуры грунтов. Несмотря на определенные недостатки этой книги (нелогичность структуры и т.п.), в ней было в явном виде заявлено главное – физико-химический и генетический подход к изучению грунтов.

Е.М. Сергеев уделял много внимания определению термина «грунт», как основного объекта изучения грунтоведения, а также теоретическим задачам грунтоведения [1,2,9,14]. Он рассматривал грунт как естественно-историческое образо-

вание, которое может формироваться естественным или техногенным путем, и под которым следует понимать не только какую-либо горную породу, но также и почвы, осадки и искусственные геологические образования, изучаемые как многокомпонентные динамические системы. По поводу определения термина «грунт» Е.М. Сергеев вступал в споры с многими инженер-геологами, включая В.Д. Ломтадзе, который отстаивал иную точку зрения.

Много внимания Е.М. Сергеев уделял разработке и обоснованию проблематики и основных задач грунтоведения. В одной из статей в 1946 г., говоря о задачах грунтоведения и основываясь на работах М.М. Филатова 1932-1940-х годов, он писал: «Основными задачами грунтоведения являются: восстановление картины образования грунтов (генезис грунтов), изучение свойств (химических, физико-химических, физических и физико-механических) в зависимости от состава грунта (минералогического, гранулометрического и химического), разработка теоретических основ искусственного изменения свойств грунтов в желательную сторону, изучение пространственного распространения грунтов и изменений, происходящих в них под воздействием инженерно-строительных мероприятий» [9].

В этой же работе Е.М. Сергеев выделил пять основных разделов грунтоведения [9, с.59-60]: 1) общее грунтоведение, занимающееся вопросами формирования (генезиса) грунтов и их свойств; 2) частное грунтоведение, изучающее состав и свойства конкретных грунтов и их пространственное размещение (будущее региональное грунтоведение); 3) механику грунтов, изучающее грунты как физико-механические системы; 4) мелиоративное грунтоведение, занимающееся разработкой теоретических основ искусственного изменения свойств грунтов в нужном направлении (будущая техническая мелиорация грунтов); 5) инженерное грунтоведение, занимающееся изучением грунтов для конкретных видов строительства (прикладное грунтоведение), включая разработку классификаций грунтов применительно к отдельным видам строительства.

Развивая идеи М.М. Филатова о генетическом грунтоведении, Е.М. Сергеев не раз подчеркивал огромное значение генетического подхода к изучению грунтов. Эти идеи, как показал Е.М. Сергеев, прослеживаются еще в работах М.В. Ломоносова, из которых «вытекает основное положение современного генетического грунтоведения…» [11] о том, что свойства грунтов зависят от их генезиса. Он писал: «Грунт, в соответствии со взглядами М.В. Ломоносова и В.В. Докучаева, стал рассматриваться как естественно-историческое образование, использующееся в качестве оснований, вместилищ и материалов для различных сооружений в различных природных условиях. На этой базе и оформилось советское грунтоведение, этим оно и отличается главным образом от зарубежного грунтоведения, где грунты рассматриваются в основном как тела, состоящие из различного количества частиц, разных по форме к величине» [12, с.140].

Понятно, что в тот сложный период советской науки развитие любого научного направления, тем более его теоретической базы, не могло быть реализовано без твердой опоры на материалистическую диалектику и теорию научного коммунизма. Поэтому работы Е.М. Сергеева, как искреннего и активного коммуниста, а не банального конъюнктурщика, отличаются в тот период глубокой гражданственностью, партийностью и снабжаются многочисленными ссылками на труды классиков марксизма-ленинизма: работы К.Маркса и Ф.Энгельса, В.И.Ленина и И.В.Сталина. Однако партийность работ Е.М. Сергеева не была просто формальной данью и требованием времени, а всегда отвечала насущным запросам развития советского общества в тот или иной период. Все исследования, организуемые Е.М. Сергеевым в области инженерной геологии, включая и грунтоведение, находились в русле последних решений коммунистической партии и правительства по развитию народного хозяйства, и поэтому всегда были актуальны как в практическом, так и в теоретическом отношении. Благодаря реализации этих исследований грунтоведение в СССР, как и инженерная геология в целом, стали давать реальные ощутимые плоды в развитии общества, в решении крупных народнохозяйственных проблем по инженерному освоению новых территорий Западной Сибири, Нечерноземной зоны РСФСР и др. регионов СССР, в строительстве многих крупных и ответственных сооружений. Все это было обусловлено замечательными личными качествами Е.М. Сергеева – его большим патриотизмом и гражданственностью, беззаветностью служения Родине.

Согласно Е.М. Сергееву, методологической основой грунтоведения является генетический подход при изучении грунтов, благодаря чему грунтоведение относится к наукам геологического цикла. Положение о том, что «состав, структура, текстура, а отсюда и свойства горных пород формируются в процессе их генезиса и изменяются под влиянием постгенетических процессов: диагенеза, эпигенеза и гипергенеза» [1, с. 12] стало основным методологическим принципом грунтоведения.

Другим важным методологическим положением, развитым Е.М. Сергеевым, является изучение грунтов, как динамичных, многокомпо-

нентных систем. Только познание грунтов в их естественном состоянии, когда наряду с твердыми минеральными компонентами, учитываются и другие – жидкие (поровая вода) и газообразные компоненты (поровый воздух), соотношение между которыми динамично меняется, позволяет охарактеризовать грунт как сложную многокомпонентную систему.

Важной заслугой Е.М. Сергеева является то, что наряду с вышеупомянутыми компонентами он одним из первых подметил огромную роль в грунтах биотической (живой) составляющей. В изданиях учебника «Грунтоведения» 1971 и 1973 годов о биотической составляющей грунтов еще нет речи. Но уже в пятом издании 1983 года [2] рассматривается живая составляющая грунтов – макро- и микроорганизмы, во многом определяющие специфические состав, строение и свойства грунтов. Предвидя огромное значение живой составляющей в грунтах, в начале 1980-х годов Е.М. Сергеев создал на кафедре грунтоведения микробиологическую лабораторию, в которой начались систематические исследования микробиоты в грунтах. Это были одни из первых в стране исследования такого рода.

Жизнь подтвердила правильность позиции Е.М. Сергеева в отношении биоты. К настоящему времени ни у кого не вызывает сомнения огромное значение биоты в формировании строения и свойств грунтов, биологической агрессивности грунтов, биологического выветривания, биопоглощения и т.п. Микробиологические исследования грунтов стали проводиться во многих вузах и институтах страны. Особенно значительный вклад в эти исследования внесли работы Р.Э.Дашко в Санкт-Петербургском горном институте (техническом университете).

Разработка физико-химических основ изучения свойств грунтов

Вернувшись в 1943 г. с фронта после тяжелого ранения на кафедру грунтоведения геолого-почвенного факультета МГУ, Е.М. Сергеев стал активно заниматься научной, педагогической и научно-организационной деятельностью и проявил себя, прежде всего, как талантливый грунтовед, основывающийся на физико-химическом подходе в изучении грунтов.

Уже в 1944 г. он защитил кандидатскую диссертацию на тему «Теплота смачивания грунтов», в которой им на основе параметров теплоты смачивания были выявлены и изучены адсорбционные центры минеральной поверхности различных грунтов и энергетические особенности связанной воды в них. Можно сказать, что эта работа на многие годы вперед определила физико-химический приоритет Е.М. Сергеева в изучении грунтов. Основной посылкой в этом исследовании было то, что теплота смачивания грунтов является характеристикой их гидрофильности, а в основе этого явления лежит процесс гидратации. Следовательно, изучая особенности теплоты смачивания разных грунтов и в разных условиях, можно выявить и особенности их гидратации и гидрофильности. Это и было выявлено Е.М. Сергеевым. Он одним из первых установил влияние на теплоту смачивания минерального состава грунтов, их дисперсности и состава обменных катионов и сделал вывод о том, что «теплота смачивания является функцией количества воды, связывающейся грунтом в процессе гидратации» [8, с.75].

Кроме того, в 1940-е — начале 1950-х гг. им были разработаны и внедрены новые методы и подходы к физико-химическому изучению горных пород как грунтов; изучены корреляционные зависимости между некоторыми физико-химическими свойствами грунтов (1947); введено понятие об «оптимальной нагрузке уплотнения» (1949); изучена физико-химическая природа прочности дисперсных грунтов (1949, 1951), набухания, усадки и липкости глин, просадочности лёссов и др.

При оценке практически всех свойств грунтов Е.М. Сергеев применял физико-химический (а не сугубо механический или геотехнический) анализ. Во многих работах он выступал с критикой зарубежной геотехники (понятия отечественной «геотехники» в то время не существовало), опирающейся в основном лишь на физико-механический анализ свойств грунтов. Он считал, что познание таких важнейших свойств дисперсных грунтов как, например, их сжимаемость, просадочность и прочность, не может быть реализовано только лишь на базе теории механики грунтов или геотехники, а должно разрабатываться с учетом сложных физико-химических процессов и явлений, происходящих на контактах частиц и межфазных границах [1,2,14].

Таким образом, физико-химический подход к изучению грунтов лёг в основу инженерно-геологического анализа грунтов и стал одним из важнейших методологических положений современного грунтоведения.

Изучение связанной воды в грунтах

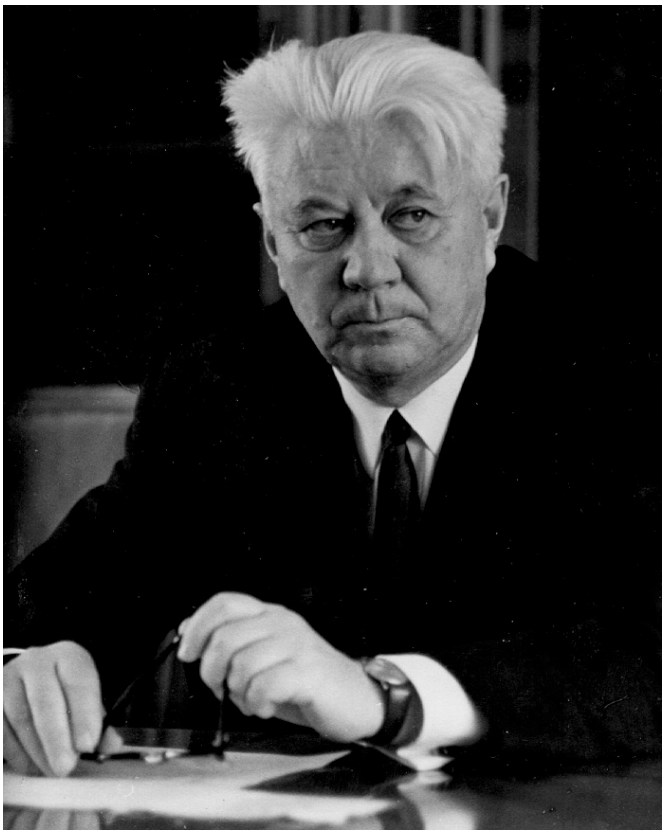
К вопросам анализа видов воды в грунтах и их влиянию на свойства грунтов Е.М. Сергеев обращается уже в первых своих работах 1940-х годов. В 1946 г. он анализирует классификации воды в грунтах А.Ф. Лебедева, Ферслюиса, М.М. Филатова, П.И. Андрианова [8]. Этот анализ за-

тем будет положен им в основу разработки собственной классификации.

Проблема связанной воды в грунтах долгие годы интересовала Е.М.Сергеева, начиная с его студенческих лет и до преклонного возраста. В целом личный вклад Е.М.Сергеева в развитие учения о связанной воде можно свести к четырем основным позициям [5]: 1) начальный этап исследований и изучение связанной воды по теплоте смачивания в 1940-1950-е годы; 2) руководство Е.М. Сергеевым экспериментальными исследованиями связанной воды на кафедре грунтоведения в 1954-1960-е годы; 3) разработка классификаций связанной воды в грунтах; 4) организация комплексных межфакультетских исследований связанной воды в МГУ (1969-1989 гг.).

Начальный этап исследований (1940-1950-е гг.). Исследование связанной воды началось с работ Е.М. Сергеева по изучению теплоты смачивания грунтов, проводимых с 1940-х годов на кафедре грунтоведения. В 1940 г. Е.М.Сергеев выполнил специальную (дипломную) работу по теплоте смачивания глин под руководством С.С.Морозова. Работа получилась интересной с научной точки зрения и Е.М.Сергеев после окончания МГУ в 1940 г. был оставлен на кафедре для продолжения обучения в аспирантуре. Его руководитель – С.С.Морозов, предложил заниматься этой же темой и далее с тем, чтобы подробно изучить особенности теплот смачивания различных типов грунтов, а по теплоте смачивания охарактеризовать и особенности связанной воды в них. Однако работать над этой темой в аспирантуре Е.М. Сергееву долго не пришлось – в 1941 г. началась Великая Отечественная война и Е.М. Сергеев ушел добровольцем на фронт. Он участвовал в боях до 1943 г., когда был тяжело ранен и, потеряв ногу, вернулся в 1943 г. в Москву. Несмотря на тяжелое ранение и сложную обстановку в МГУ военного времени он продолжил работу над кандидатской диссертацией и в 1944 г. завершил ее. Основная идея этой работы основывалась на том, что теплота смачивания грунтов – результат потери энергии молекул воды при их переходе в связанное состояние. Поэтому она может характеризовать гидрофильность грунтов и связанную воду, а факторы, влияющие на теплоту смачивания, влияют и на связанную воду. Эти исследования Е.М.Сергеева, развивавшие работы П.И.Андрианова, показали наличие энергетической неоднородности связанной воды в грунтах, смачивающей различные минеральные поверхности.

После защиты кандидатской диссертации Е.М. Сергеев в конце 1940-х и начале 1950-х годов продолжал заниматься изучением связанной воды по теплоте смачивания. Он совершенствовал методику ее определения, применял более точные калориметры и т.п. В результате работ Е.М. Сергеева по теплоте смачивания выполненных в 1951-1959 гг. было убедительно доказано наличие энергетической неоднородности активных центров поверхности глин разного минерального состава, объясняющей многие особенности взаимодействия глин с водой [8,14,17].



Е.М.Сергеев, МГУ, 1974 г. (фото В.А.Васильева)

С начала 1950-х гг. и особенно после 1954 г., когда Е.М.Сергеев возглавил кафедру грунтоведения и инженерной геологии он проводил ***изучение свойств связанной воды*** в глинах с помощью своих многочисленных учеников, среди которых были Ц.М.Райтбурд (1959, 1965, 1967), М.В. Слонимская (1967), Л.И. Кульчицкий, Р.И. Злочевская (1966) и др. Обстоятельный анализ особенностей связанной воды в дисперсных грунтах и её влияния на их дисперсность и микроструктуру был дан Е.М. Сергеевым в статье 1956 года [17]. В этой работе была показана зависимость содержания разных категорий связанной воды от состава обменных катионов в грунтах, а также установлены закономерности гидратации частиц.

В работах Ц.М. Райтбурд и М.В. Слонимской уже применялись различные новейшие методы исследований, такие как термическая дегидратация глин, дифференциальная калориметрия (Кальве), ЯМР, рентгеноструктурный анализ и др. В 1967 г. М.В. Слонимская под руководством

Е.М. Сергеева защитила кандидатскую диссертацию на тему «Исследование прочносвязанной воды мономинеральных глин». При этом, в частности, было показано, что общее количество прочносвязанной воды соответствует влажности максимальной гигроскопичности (Wмг). Изучение влияния связанной воды на свойства грунтов под руководством Е.М. Сергеева в этот период проводили также С.С. Поляков (1951), Г.А. Куприна (1959), Р.С. Зиангиров (1957, 1969), Г.М. Березкина, Р.И. Злочевская и др.

Наиболее существенный вклад в исследование связанной воды внесли работы Р.И. Злочевской 1960-х годов, проводимые также под руководством Е.М. Сергеева. Р.И. Злочевская разработала и впервые применила к глинам электрокинетические методы исследований и характеристики связанной воды по параметрам двойного электрического слоя (ДЭС), характеризуемых с помощью поверхностной проводимости. В своей кандидатской диссертации, выполненной в 1966 г. под руководством Е.М. Сергеева и Р.С. Зиангирова, Р.И. Злочевская впервые провела детальные исследования поверхностной проводимости в глинах разного минерального состава и состояния и обосновала методику характеристики параметров ДЭС по поверхностной проводимости . Вышедшая в 1969 г. книга Р.И.Злочевской "Связанная вода в глинистых грунтах", написанная по материалам диссертации, дала толчок к развитию аналогичных исследований в грунтах и вскоре стала библиографической редкостью. Впоследствии, в 1970-1880-е годы, эти исследования на кафедре грунтоведения и инженерной геологии были продолжены ею и ее учениками: В.И. Дивисиловой, Г.П. Алексеенко, В.А. Королёвым и А.Т. Соколовским.

По исследованию свойств связанной воды под руководством Е.М. Сергеева в 1960-е годы был выполнен ряд работ Р.И. Злочевской, Г.А. Куприной, В.И. Дивисиловой, З.А. Кривошеевой, В.И. Осиповым и др. сотрудниками кафедры грунтоведения и инженерной геологии. Были установлены аномальные свойства связанной воды в различных грунтах: ее повышенная по сравнению со свободной водой плотность и вязкость, пониженная растворяющая способность, температура замерзания и т.п.

При этом были отброшены как несостоятельные представления о связанной воде, как особом веществе. Было установлено, что аномальные свойства связанной воды целиком определяются особенностями ее искаженной (по сравнению с водой в объеме) структуры, а степень "искажения" зависит от толщины пленки и характера контактирующей с ней поверхности.

В рамках изучения влияния связанной воды на свойства грунтов, на кафедре грунтоведения в 1950-1960-е годы под руководством Е.М. Сергеева также было выполнено большое число экспериментальных исследований. В разработку этой проблемы внесли вклад Е.М. Сергеев, Ц.М. Райтбурд, Р.И. Злочевская, В.Г. Самойлов, Г.А. Куприна, В.И. Осипов, С.Д. Воронкевич, Р.С. Зиангиров, М.Н. Полтева (Кагнер), З.А. Кривошеева и др. Проведенные Р.И.Злочевской исследования параметров ДЭС глин позволили ей сформулировать ряд выводов по формированию гидрофильности глин, их набухаемости, а также их пластичности и физико-механических свойств, в частности способности к уплотнению. Она установила, что гидрофильные свойства поверхности глин (гигроскопичность, теплота смачивания) зависят от наиболее активных адсорбционных центров - ионов, как поверхностных ионов кристаллической решетки, так и обменных катионов. Чем больше концентрация поверхностных ионов и выше плотность их поверхностного заряда, тем больше степень их гидратированности «ближнего» порядка и тем значительнее гидрофильность поверхности глин.

Разработка Е.М.Сергеевым классификации воды в грунтах. Е.М.Сергеев внес большой вклад в разработку классификаций видов воды в грунтах. Этот сложнейший вопрос разрабатывался многими предшественниками Е.М. Сергеева. Тем ни менее, ни одна из их классификаций в полной мере не отвечала запросам грунтоведения, хотя наиболее предпочтительной являлась классификация А.Ф. Лебедева. Так, в ней выделялись: вода в форме пара, гигроскопическая вода, пленочная вода, гравитационная вода: а) капиллярная вода, б) подвешенная вода, в) гравитационная вода в состоянии падения; вода в твердом состоянии, кристаллизационная и химически связанная вода.

Одна из первых классификаций видов воды в грунтах Е.М. Сергеева, в основе которой лежала классификация А.Ф. Лебедева 1936 года, была опубликована им в 1952 г. в учебнике "Общее грунтоведение" [14]. В ней выделялись многие виды воды как и в классификации А.Ф. Лебедева, однако учитывались и новые представления о связанной воде и исправлялись ошибки А.Ф.Лебедева. Затем эта классификация неоднократно дорабатывалась Е.М. Сергеевым по мере

[1] Оппонентами по этой работе выступали физико-химик академик П.А.Ребиндер, доктор физико-математических наук В.Ф.Киселев и грунтовед - профессор А.К.Ларионов, которые отметили высочайший уровень выполненной работы, вполне соответстующий уровню докторской.

появления новых данных о связанной воде.

В 1971 г. в новом издании учебника «Грунтоведение» Е.М. Сергеев опубликовал переработанный вариант своей классификации [1]. В нем были исправлены некоторые недочеты, существовавшие в классификации 1952 года. Эта классификация вошла и в его учебник «Инженерная геология» (1983).

С середины 1960-х годов разработкой вопросов классифицирования форм влаги в грунтах совместно с Е.М.Сергеевым начала заниматься и Р.И. Злочевская. О том, насколько бурно развивалось это направление исследований говорит то обстоятельство, что терминология связанной воды очень быстро менялась. Так, например, ушли в прошлое такие названия категорий как "прочносвязанная вода", "рыхлосвязанная вода", "развязанная вода", "слабосвязанная вода" и др. Е.М. Сергеев постоянно обсуждал с Р.И. Злочевской многие вопросы классифицирования видов воды в грунтах, особенно при подготовке пятого издания учебника «Грунтоведение», вышедшего в 1983 г. [2] .В этом издании была опубликована последняя классификация Е.М. Сергеева видов воды в грунтах. Она отражала новейшие на то время достижения в области изучения природы связанной воды в грунтах: виды воды в ней выделялись по механизму (природе) их образования.

Организация Е.М.Сергеевым комплексных межфакультетских исследований связанной воды (1969-1989 гг.). К концу 60-х годов Е.М.Сергееву стало ясно, что только лишь силами геологов проблему связанной воды в грунтах не решить. Назрела необходимость в комплексных межфакультетских исследованиях с привлечением широкого круга специалистов в области физики, физической химии и коллоидной химии.

Основная заслуга в организации систематических исследований связанной воды в грунтах в МГУ им. М.В. Ломоносова принадлежит академику Е.М. Сергееву. Работая в 1969-1978 гг. первым проректором МГУ, он был инициатором разработки в университете Комплексной межфакультетской темы под названием "Связанная вода в природе". Впоследствии практика научных исследований по данной тематике подтвердила важность, правильность и необычайную плодотворность этого шага, в чем лишний раз проявились ценные качества Е.М. Сергеева, как великолепного организатора науки. В рамках этой темы в МГУ им. М.В. Ломоносова была создана Координационная комиссия по комплексной межфакультетской теме, её первым председателем и научным руководителем был профессор физического ф-та В.Ф. Киселев, а ученым секретарем была назначена старший научный сотрудник проблемной лаборатории геологического ф-та МГУ Р.И. Злочевская. Е.М. Сергеев был руководителем работ от геологического факультета. Позже название темы неоднократно видоизменялось, отражая те или иные акценты в исследованиях, однако неизменным оставалось главное - совместное исследование связанной воды учеными разных факультетов и кафедр МГУ.

С 1973 г. тема стала называться "Связанная вода в дисперсных системах". В рамках этой темы работали ученые разных кафедр физического, геологического, химического и биолого-почвенного факультетов. В 1970, 1972, 1974 и 1976 гг. проводились научные межфакультетские семинары и конференции по проблеме "Структура и свойства связанной воды". Материалы семинаров регулярно публиковались в сборниках "Связанная вода в дисперсных системах"[2] . К работе по данной теме привлекались многочисленные аспиранты и студенты МГУ, выполнявшие свои исследования под руководством сотрудников и преподавателей.

В период 1969-1978 гг. учеными, работающими по этой тематике, были изучены закономерности гидратации различных глинистых минералов, особенности набухания глин различного состава, их ионообменные свойства. Особенно детально в этот период были исследованы закономерности сорбции воды различными минералами. Исследования связанной воды проводились с использованием новейших в тот период методов исследований, включая метод ЯМР, метод ЭПР, метод термической дегидратации, метод ИК-спектроскопии, метод спинового эха, метод дифференциальной калориметрии, электрокинетические методы, диэлектрический метод и т.п. Применение такого широкого спектра методов исследований позволило всесторонне охарактеризовать состояние и различные свойства связанной воды в грунтах. Результаты исследований Р.И. Злочевской и В.А. Королёва по изучению связанной воды и электроповерхностных свойств глинистых пород в 1988 г. были обобщены ими в монографии "Электроповерхностные явления в глинистых породах".

В 1977 г. Е.М. Сергеев совместно с Р.И. Злочевской, В.А. Королёвым и З.А.Кривошеевой опубликовал серию из двух статей по проблеме природы связанной воды в глинистых породах и их изменении в процессах литогенеза [3,6]. В

[2] В период 1970-1980 гг. в Издательстве МГУ вышло 5 выпусков этого сборника: вып.1, 1970; вып.2, 1972; вып.3, 1974; вып.4, 1977 и вып.5, 1980.

этих работах подводился некий итог исследований изменения свойств связанной воды под действием повышающихся температур и давлений и влиянии этих изменений на свойства глинистых пород.

В 1979 г. сменилось название (тема стала называться "Физико-химическая механика дисперсных систем и твердых тел с участием поверхностных пленок воды") и руководство межфакультетской темы: научными руководителями по отдельным разделам темы стали академик Е.М.Сергеев, чл.-корр. Академии педагогических наук СССР Е.Д.Щукин, профессор В.А. Кудрявцев, доцент Э.Д. Ершов, старший научный сотрудник А.А. Ананян, доцент А.Д. Воронин, старший научный сотрудник И.И. Судницын. От работы по межфакультетской теме устранились сотрудники физического факультета.

Для координации работ по теме была утверждена новая координационная комиссия в следующем составе: чл.-корр. АПН СССР, заведующий кафедрой коллоидной химии химфака Е.Д.Щукин (председатель комиссии); профессор кафедры грунтоведения и инженерной геологии геологического факультета В.И. Осипов (зам. председателя); профессор кафедры коллоидной химии химфака Н.В.Перцов (зам. председателя); доцент, заведующий кафедрой физики и мелиорации почв факультета почвоведения А.Д. Воронин (зам. председателя); старший научный сотрудник проблемной лаборатории геологического факультета МГУ Р.И. Злочевская (уч. секретарь) и члены комиссии: Е.М. Сергеев, В.А. Кудрявцев, Э.Д. Ершов, О.И. Лукьянова, Ю.Б. Осипов, В.И. Квливидзе, И.И. Судницын, А.А. Ананян, А.Ф. Вадюнина. С 1983 г. ученым секретарем комиссии стал В.А. Королёв. Е.М. Сергеев постоянно участвовал в работе комиссии и интересовался ходом исследований по проблеме.

После проведенной реорганизации в рамках указанной темы разрабатывались следующие основные разделы: 1) Физико-химические процессы деформации, диспергирования и разрушения дисперсных и твердых тел с участием жидких фаз; 2) Физико-химические закономерности и механизм структурообразования в дисперсных системах с участием жидких фаз; 3) Закономерности массо-теплопереноса в дисперсных системах с участием жидких фаз; 4) Физико-химические свойства жидких адсорбционных слоев и тонких пленок воды в дисперсных системах. Как следует из этого перечня, упор в исследованиях на этом этапе делался не на изучение свойств самой связанной воды, а на изучение ее влияния на целый ряд физических и физико-химических процессов в дисперсных системах и, в том числе, в грунтах.

За период 1980-1985 гг. участниками совместной программы было опубликовано около 300 печатных работ, включая 10 монографий, среди которых сборник "Физико-химическая механика и лиофильность дисперсных систем" (вып. № 13), целиком посвященный проблемам коллоидной химии в геологии. На ежегодных сессиях участниками темы было сделано за этот же период около 200 докладов, по данной тематике была защищена 1 докторская и 20 кандидатских диссертаций, получено 30 авторских свидетельств на изобретения. К работе по теме на каждом из участвующих факультетов ежегодно привлекалось по 7-15 студентов и 4-5 аспирантов. Одновременно участниками темы выполнялись и договора о содружестве с НИИПС г.Уфы (Госстрой СССР), с ПНИИИС, г.Москва (Госстрой СССР), с ПромстройНИИПроект г.Ростов-на-Дону, с СОИЗИ института Гипроводхоз, с ВНИИГИМ им. Костякова (Москва), с МИСИ им. Куйбышева (Москва) и другими организациями [5].

Заседание кафедры грунтоведения и инженерной геологии (слева-направо): Г.С.Золотарёв, Г.А.Голодковская, В.Т.Трофимов, Е.М.Сергеев, Ю.Б.Осипов, Н.К.Новик, МГУ, 1974 г.

В результате этих исследований было детально изучено физико-химическое влияние связанной воды и расплавов на структурно-механические свойства горных пород. Связанная вода по отношению к гидрофильным грунтам является сильно поверхностно-активной средой. Она вызывает растрескивание и ползучесть скальных грунтов и проявление пластических деформаций в дисперсных, особенно глинистых, грунтах. Исследования в этом направлении позволили выявить закономерности и механизмы облегчения деформации и разрушения горных пород.

В 1986 г. произошла очередная реорганизация межфакультетской темы, и она стала называться "Физико-химическая механика дисперсных систем с участием пленок жидких фаз". Спектр исследований расширялся и охватывал

теперь не только связанную воду, но и иные жидкости (полярные и неполярные), участвующие в виде поверхностных пленок в формировании всевозможных дисперсных систем. При этом расширился и состав участников темы: наряду с традиционными ее участниками (факультетами геологическим, химическим и почвоведения), добавилось такое подразделение МГУ как НИИ механики (лаборатория механики многофазных сред, лаборатория физико-химической гидродинамики и отдел механики природных процессов). Е.М. Сергеев по-прежнему интересовался работой комиссии и ходом исследований по связанной воде.

Для координации работ была утверждена новая координационная комиссия по межфакультетской теме в следующем составе: академик АПН СССР, заведующий кафедрой коллоидной химии химического ф-та МГУ Е.Д. Щукин (председатель); профессор геологического факультета В.И. Осипов (зам. председателя), профессор химического факультета Н.В. Перцов (зам. председателя); профессор факультета почвоведения А.Д. Воронин, профессор НИИ механики В.В. Гогосов (зам. председателя); ассистент геологического факультета В.А. Королёв (уч. секретарь) [5].

Заседание кафедры грунтоведения и инженерной геологии (слева-направо): Л.В.Гончарова, В.И.Осипов, А.С.Герасимова, В.Н.Соколов, С.Б.Ершова, Р.И.Злочевская, В.И.Дивисилова, МГУ, 1974 г.

В рамках темы сотрудниками и преподавателями геологического, химического и почвенного факультетов, а также НИИ Механики в период 1986-1990 гг. стали разрабатываться следующие основные проблемы: 1) физико-химическая механика деформации, разрушения и диспергирования дисперсных систем под действием жидких фаз; 2) физико-химическая механика структурообразования и контактных взаимодействий в дисперсных системах с участием пленок жидких фаз; и 3) закономерности тепло-массопереноса в дисперсных системах с участием пленок жидких фаз.

По результатам этих совместных исследований в 1988 г. были опубликованы монографии[3], в которых были обобщены данные по связанной воде как в дисперсных, так и в скальных талых и мерзлых грунтах. Перечисленный выше значительный коллектив исследователей связанной воды внес огромный вклад в изучение природы, структуры и свойств связанной воды в грунтах. Совместные работы по межфакультетской теме были прекращены в 1990 г.

Таким образом, можно констатировать, что вклад Е.М. Сергеева и его учеников – сотрудников МГУ им. М.В.Ломоносова в исследование связанной воды в грунтах довольно значителен и является определяющим среди других научных школ в XX веке [5]. Благодаря этим многочисленным работам к настоящему времени в грунтоведении сформировались наиболее объективные представления о связанной воде в грунтах, ее видах и механизмах образования, а также о ее влиянии на различные свойства грунтов. Приоритет Е.М. Сергеева и других ученых МГУ в разработке учения о связанной воде в грунтах, ее свойствах и классифицировании является общепризнанным в нашей стране. Его личный вклад в изучение данной проблемы характеризуется такими достижениями, как выявление природы энергетической неоднородности связанной воды в грунтах, установление свойств различных категорий воды в грунтах, анализ влияния различных форм воды на свойства грунтов и разработка классификации воды в грунтах. Эти исследования послужили базой в исследовании тонких слоев жидкостей во многих смежных областях геологии, в почвоведении, а также в различных прикладных и технических направлениях исследований.

Изучение структурных особенностей грунтов

Уже в монографии 1946 года [8] Е.М. Сергеев подчеркнул огромное значение изучения структуры, текстуры и микроструктуры грунтов. И хотя в этой работе в отношении структуры имелось еще много недостатков (например, использовались такие термины, как «бесструктурные» и «структурные» грунты и т.п.), тем не менее, важно подчеркнуть главное – в ней впервые структура грунта рассматривалась как его важнейший признак, формирующийся в результате действия совокупности различных внешних и внутренних факторов, обусловливающих разные типы струк-

[3] Физико-химическая механика природных дисперсных систем. / Под ред. Е.Д.Щукина, Н.В.Перцова, В.И.Осипова, Р.И.Злочевской. - М., Изд-во МГУ, 1985, - 266 с.; Поверхностные пленки воды в дисперсных структурах / Под ред. Е.Д.Щукина. - М., Изд-во МГУ, 1988, - 279 с.

турных связей или структурного сцепления частиц, и оказывающий влияние на свойства. В этой же работе, развивая идеи М.М.Филатова, он приводит одну из первых классификаций «типов и видов микроструктуры грунта» [8, с. 101], выделяя различные микроструктуры несвязных и связных грунтов.

Вслед за своими учителями М.М. Филатовым и И.В. Поповым Е.М. Сергеев придавал огромное значение структурным связям как одному из важнейших качеств породы, определяющем ее физические, физико-химические и физико-механические свойства. Исследования в этой области, выполненные непосредственно Е.М. Сергеевым и его учениками (В.И. Осипов, Ю.Б. Осипов, В.Н. Соколов, Н.С. Красилова и др.), составили фундаментальную основу современного грунтоведения и вошли в учебную и научную литературу [7, 19]. Характер структурных связей был взят за основу общей инженерно-геологической классификации грунтов, разработанной Е.М. Сергеевым с коллегами.

В 1954 г. по инициативе Е.М. Сергеева на кафедре грунтоведения и инженерной геологии МГУ была создана лаборатория электронной микроскопии, где небольшой коллектив во главе с Г.Г. Ильинской начал систематическое изучение состава и структуры тонкодисперсных глинистых и лессовых грунтов [7]. Итогом деятельности лаборатории в первые годы её создания явился "Атлас электронных микрофотографий глинистых минералов", подготовленный Л.Г. Рекшинской (1966). Вскоре эта лаборатория стала одним из ведущих мировых центров по изучению микроструктур грунтов с применением сканирующей электронной микроскопии. Сотрудники лаборатории (вначале Р.А. Бочко, затем В.И. Осипов и В.Н. Соколов) разработали ряд оригинальных методик и компьютерных программ для количественного анализа структур дисперсных пород.

Результаты этих исследований были опубликованы в двух монографиях, вышедших под научной редакцией Е.М. Сергеева: "Атлас микроструктур глинистых пород" (авторы: Б.Грабовска-Ольшевска, В.И. Осипов, В.Н. Соколов, 1984) и "Микроструктура глинистых грунтов" (авторы: В.И. Осипов, В.Н. Соколов, Н.А. Румянцева, 1989). Одновременно значительные успехи были достигнуты в изучении микроструктуры лессовых грунтов и познании природы просадочности (А.В. Минервин, В.Н. Соколов, Н.Н. Комиссарова, Ш.Э. Усупаев и др.) [19].

Характеристика отдельных типов грунтов

Под руководством Е.М. Сергеева и им лично были изучены и впервые установлены инженерно-геологические особенности многих генетических типов песчаных, лёссовых, глинистых, карбонатных и др. грунтов.

Возглавляя в начале 1950-х гг. Каракумскую экспедицию, Е.М. Сергеев углубленно занимался изучением инженерно-геологических особенностей песчаных грунтов [4,7]. Эти исследования позволили ему разработать частную классификацию песков. Наряду с этим изучение песков Е.М. Сергеев проводил в связи с их кольматацией, засолением и др. особенностями, что позволило ему в 1957 г. сформулировать некоторые базовые методологические положения по изучению дисперсных грунтов аридной зоны.

Наряду с песками не меньший интерес Е.М. Сергеев проявлял к лёссам и лёссовидным грунтам. С начала 1950-х гг. и до окончания научной деятельности он постоянно в разных аспектах занимался исследованием этих грунтов. В первую очередь его интересовала просадочность как специфическое свойство лёссов, её генезис, закономерности и факторы формирования. Не меньший интерес он проявлял и к изучению генезиса самих лёссов и лёссовидных пород. Под его руководством исследованием лёссов занимались на кафедре А.В. Минервин, Н.Н. Комиссарова, Ш.Э. Усупаев, В.Т. Трофимов, О.Н. Бирюкова, С.Д. Балыкова и многие др. Эти работы велись в тесном контакте и с другими видными инженер-геологами – специалистами по изучению лёссовых пород страны: А.К. Ларионовым, В.П.Ананьевым, Л.Г. Балаевым, Г.А. Мавляновым, Ф.В. Котловым, И.Я. Богдановым, Я.Е. Шаевичем, В.С. Быковой и др. [4,7]. Вопросы генезиса лёссов в связи с их инженерно-геологическими особенностями обсуждались Е.М. Сергеевым в статье 1976 года. Инженерно-геологические особенности лёссовых пород территории СССР были обобщены в коллективной монографии, вышедшей в 1986 г. в двух томах под редакцией Е.М. Сергеева.

Значительное внимание Е.М. Сергеев уделял исследованию глинистых грунтов. Изучению их инженерно-геологических особенностей посвящено значительное число его работ, выполненных в период с 1940-х по начало 1980-х гг., а также работ его многочисленных учеников, занимающихся глинистыми грунтами: Р.С. Зиангирова, Р.И. Злочевской, М.Н. Кагнер, В.Я. Калачева, В.А. Королёва, В.Ф. Котлова, Г.А. Куприной, С.К.Николаевой, В.И. Осопова, Ю.Б. Осипова, С.С. Полякова, В.Н. Соколова, С.Д. Филимонова, В.Г. Шлыкова и др.

Под руководством Е.М. Сергеева на кафедре проводились работы по инженерно-геологическому изучению и других, мало изученных в то время, грунтов. В частности изучались кремни-

стые грунты (Б.Т. Трофимов, 1977) и др. слабо исследованные типы грунтов.

Большое внимание Е.М. Сергеевым уделялось инженерно-геологическому изучению отдельных типов скальных грунтов. Эти работы проводились в созданной на кафедре скальной лаборатории ее научными сотрудниками: Н.С. Красиловой, З.А. Кривошеевой, В.М. Ладыгиным, Л.В. Шаумян, Л.Л. Панасьян и др. Итогом этих исследований явились крупные обобщения и инженерно-геологическая характеристика основных типов скальных грунтов различных регионов страны [4].

Разработка классификаций грунтов

Особое внимание Е.М. Сергеев уделял вопросам разработки классификаций грунтов. Развивая идеи М.М. Филатова о генетическом подходе к изучению грунтов, он задался целью построения генетической классификации грунтов.

Уже в 1948 г. он опубликовал свой первый вариант общей генетической классификации грунтов, которая, как он писал: «… должна отражать процессы и условия, под воздействием которых образуются грунты, близкие по своим свойствам друг к другу» [10, с. 81]. В этой классификации он постарался исключить недостатки, имеющиеся в общих классификациях грунтов его предшественников, в частности Ф.П. Саваренского (1943) и др. Важным отличием новой классификации было то, что в неё Е.М. Сергеев впервые включил искусственные грунты, создаваемые человеком в процессе своей деятельности. В итоге в классификации было выделено 8 классов грунтов, обусловленных генетическими особенностями: 1) прочные кристаллические грунты; 2) рыхлые грунты; 3) пластичные грунты; 4) химически-осажденные грунты; 5) сцементированные грунты; 6) органогенные грунты; 7) почвы; 8) искусственные грунты. Далее классы подразделялись на группы и виды.

В 1950 г. Е.М. Сергеев вновь возвращается к генетической классификации грунтов, рассматривая её в свете учения М.В. Ломоносова «О слоях земных», из которого, по его мнению, вытекает «основной тезис советского грунтоведения – свойства грунтов зависят от их генезиса» [11, 13]. Опираясь на вариант своей предыдущей классификации 1948 года [10], он дополняет ее, существенно расширяет и дает более подробную характеристику групп и видов грунтов. В 1952 г. Е. М. Сергеев защитил докторскую диссертацию на тему «Генезис и состав грунтов как основа классификации и изучения их свойств». В этой работе общая классификация грунтов 1950 года была им дополнена и переработана. В пособии 1952 года он не дает общей классификации, но приводит собственные генетические классификации грунтов отдельных классов [14].

Дальнейшая разработка общей классификации грунтов проводилась Е.М. Сергеевым в составе рабочей группы, созданной при АН СССР в 1957 году, в состав которой кроме него входили В.А. Приклонский, П.Н. Панюков и Л.Д. Белый. Эта классификация была опубликована в 1957 г. в трудах «Совещания по инженерно-геологическим свойствам горных пород и методам их изучения». Её главным достоинством была группировка горных пород с учетом их петрографического состава и генезиса.

Затем с изменениями и дополнениями она была опубликована в 3-м издании учебника «Грунтоведение» в 1971 г.[1] В этой классификации был реализован ряд принципиальных положений, важнейшими из которых являются учет структурных связей при выделении классов, а также учет генетических особенностей при выделении групп и подгрупп грунтов. С незначительными дополнениями эта классификация была опубликована в четвертом (1973) и пятом (1983) изданиях учебника «Грунтоведение» [2]. В этих классификациях еще не выделялся класс мёрзлых грунтов, хотя он и упоминался в тексте и ставился вопрос о его выделении [2, с.251].

Детальный анализ вопросов создания общей классификации грунтов был дан Е.М. Сергеевым в публикации 1978 года [18]. Эта общая классификация грунтов оказалась настолько удачной, что позже вошла в СНиП 25100-95 «Грунты. Классификация».

Наряду с общими классификациями грунтов Е.М. Сергеев разрабатывал и частные классификации грунтов. Одной из таких была «гранулометрическая классификация песков», опубликованная им в 1953 г. [15]. Оригинальность этой классификации состояла в попытке одновременного учета и минерального состава, и гранулометрического состава песков. Идею об одновременном учете этих двух классификационных признаков Е.М. Сергеев развивал далее в 1956 г., анализируя принципы построения грануломинералогической классификации грунтов [16]. Частные гранулометрические классификации песков Е.М. Сергеева вошли в учебники «Грунтоведение» [1,2].

Подготовка грунтоведческих кадров

Большое внимание Е.М. Сергеев уделял вопросам подготовки грунтоведческих кадров и инженер-геологов в целом, преподавательской деятельности. Будучи сам прекрасным лектором и педагогом, он в течение многих лет с 1946 по

1988 гг. читал в МГУ курс «Грунтоведение» для студентов [4]. На его лекции приходили аспиранты и сотрудники. Лекции подкреплялись практическими лабораторными работами, в рамках которых студенты осваивали современные методы изучения состава, строения и свойств различных грунтов. Е.М. Сергеев постоянно следил за проведением на кафедре практикума по грунтоведению, обновлением задач и оборудования.

Несмотря на свою занятость, он старался лично присутствовать и руководить ежегодными студенческими конференциями «День научного творчества», на которых, как правило, много научных докладов студентов было посвящено различным вопросам грунтоведения, считая, что именно участие руководства кафедры, преподавателей и всех научных сотрудников в таких конференциях очень важно для подготовки студентов и развития их интереса к грунтоведению и инженерной геологии в целом.

В подготовке грунтоведческих кадров огромное значение сыграли учебники по «Грунтоведению», которые были написаны Е.М. Сергеевым или в соавторстве. В 1952 г. он издал учебное пособие «Общее грунтоведение» [14] - прообраз будущих учебников «Грунтоведение», получивших широкую известность. В этом пособии первый раздел был посвящен генезису грунтов, второй – составу и строению грунтов, а третий – свойствам грунтов. Затем в 1959 г. вышло второе издание в качестве учебника. В 1971 г. Е.М. Сергеев совместно с Г.А. Голодковский, Р.С. Зиангировым, В.И. Осиповым и В.Т. Трофимовым опубликовал третье существенно переработанное и дополненное издание учебника «Грунтоведение» [1]. Вскоре в 1973 г. вышло четвертое издание учебника «Грунтоведение», а в 1983 – пятое издание [2], которое в 1988 году было удостоено Государственной премии СССР.

Е.М. Сергеев подготовил много кандидатов и докторов наук в области грунтоведения. Около двух третей диссертационных работ, выполненных под его руководством (всего 75 работ), было посвящено именно вопросам грунтоведения. Из них изучению состава и строения грунтов посвящено 16 диссертаций, изучению свойств грунтов – 20 диссертаций, 19 работ было посвящено вопросам регионального грунтоведения.

Организационные вопросы грунтоведения

Е.М. Сергеев зарекомендовал себя как талантливый организатор науки. В рамках организации в стране инженерной геологии он много внимания уделял и организационным вопросам развития грунтоведения. В 1966 г. он организовал и возглавил Научный совет при АН СССР по

Е.М.Сергеев на конференции «День творчества студентов», рядом (слева-направо): С.Д.Филимонов, А.С.Герасимова, В.И.Осипов, апрель 1981 г. (фото В.А.Королёва)

инженерной геологии и грунтоведению, в котором были организованы региональные секции и проблемные комиссии, в том числе – по различным проблемам изучения грунтов [4,7]. Научный совет занимался в основном координацией исследований в области инженерной геологии в рамках СССР. Ежегодно Научный совет проводил более 20 различных мероприятий – конференций, симпозиумов, семинаров, расширенных заседаний комиссий и т.п.

Всего в составе Научного совета работало свыше 100 видных инженер-геологов из всех республик страны. В нем функционировали проблемные комиссии по отдельным типам грунтов. В частности были комиссии по исследованию лёссов и лёссовых грунтов, изучению глинистых грунтов, скальных грунтов и т.п. Одна из комиссий была посвящена «Проблемам формирования свойств грунтов», которую с 1995 года возглавлял автор настоящей статьи.

Под эгидой Научного совета и опираясь на соответствующие проблемные комиссии, регулярно организовывались всесоюзные научные конференции и совещания по разным вопросам грунтоведения. В частности проводились совещания по лёссовым грунтам, по глинистым грунтам, по вопросам технической мелиорации грунтов и т.п.

Заключение

Проведенный анализ показывает, что вклад Е.М. Сергеева в грунтоведение трудно переоценить. Практически все разделы и проблемы грунтоведения, так или иначе, нашли свое отражение в его многочисленных работах и трудах его учеников. Благодаря этим работам грунтоведение превратилось в прочную теоретическую основу инженерной геологии, стало её одним из базовых

научных направлений, получило существенное теоретическое развитие, но в то же время было ориентировано на решение многих насущных практических проблем, стоящих перед обществом.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Грунтоведение.* / Под ред. Е.М. Сергеева // 3-е изд. – М., Изд-во МГУ, 1971, 595 с.
2. *Грунтоведение.* / Под ред. академика Е.М. Сергеева // 5-е изд. – М., Изд-во МГУ, 1983, 392 с.
3. *Злочевская Р.И., Королёв В.А., Кривошеева З.А., Сергеев Е.М.* О природе изменения свойств связанной воды в глинах под действием повышающихся температур и давлений. – Вестн. Моск. ун-та. Сер. Геология, 1977, №3, с. 80-96
4. *Королёв В.А., Герасимова А.С., Кривошеева З.А.* Инженер-геологи Московского университета: Преподаватели и сотрудники кафедры инженерной геологии и охраны геологической среды геологического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова. Биографо-библиографический справочник / Под ред. В.Т. Трофимова. – М., Изд-во Московского университета, 1998, - 190 с.
5. *Королёв В.А.* Развитие Е.М. Сергеевым учения о связанной воде. - В кн.: Воспоминания о академике Е.М. Сергееве (к 90-летию со дня рождения) / Под редакцией В.И. Осипова и В.Т. Трофимова. – М.: Издательство ГЕОС, 2004. С. 94-107.
6. *Кривошеева З.А., Злочевская Р.И., Королёв В.А., Сергеев Е.М.* О природе изменения состава и свойств глинистых пород в процессах литогенеза. – Вестн. Моск. ун-та. Сер. Геология, 1977, №4, с.60-73.
7. *Осипов В.И.* Развитие идей академика Е.М. Сергеева в современной инженерной геологии и геоэкологии. – В кн.: Воспоминания о академике Е.М. Сергееве (к 90-летию со дня рождения) / Под редакцией В.И. Осипова и В.Т. Трофимова. – М.: Издательство ГЕОС, 2004. С. 85-93.
8. *Сергеев Е.М.* Избранные главы общего грунтоведения. – М., Изд-во МГУ, 1946, - 108 с.
9. *Сергеев Е.М.* Советское грунтоведение. – Вестн. Моск. ун-та, 1946, № 3-4, с. 49-61.
10. *Сергеев Е.М.* Опыт построения генетической классификации грунтов. – Вестн. Моск. ун-та. Геология и почвоведение, 1948, № 9, с. 81-94.
11. *Сергеев Е.М.* Некоторые идеи грунтоведения в работе М.В. Ломоносова «О слоях земных». – Вестник Московского ун-та, 1949, № 9, с. 99-103.
12. *Сергеев Е.М.* Исторические предпосылки к оформлению грунтоведения в самостоятельную науку в эпоху сталинских пятилеток. – Вестник Московского ун-та. Геология, 1950, № 10, с. 129-141.
13. *Сергеев Е.М.* Генетическая классификация грунтов в свете учения М.В. Ломоносова «О слоях земных». – Вестн. Моск. ун-та. Геология. 1950, № 8, с. 55-68
14. *Сергеев Е.М.* Общее грунтоведение. / Уч. пособие. – М., Изд-во Московского ун-та, 1952, 383 с.
15. *Сергеев Е.М.* Грануло-минералогическая классификация песков. - Вестн. Моск. ун-та. Геология. 1953, № 12, с. 101-109
16. *Сергеев Е.М.* К вопросу о принципах построения грануло-минералогической классификации грунтов. – Уч. записки МГУ, Вып. 177. Грунтоведение. Кн.4., 1956, с.85-97.
17. *Сергеев Е.М.* Связанная вода в грунтах и ее влияние на их дисперсность и микроструктуру. – Уч. записки МГУ. Вып. 176. Геология, 1956, с. 221-231
18. *Сергеев Е.М.* Проблема классификаций в грунтоведении. / Вопр. инж. геологии и грунтоведения. Вып.4. – М., Изд-во МГУ, 1978, с. 5-15.
19. *Соколов В.Н.* Развитие Е.М. Сергеевым микроструктурных исследований грунтов - В кн.: Воспоминания о академике Е.М. Сергееве (к 90-летию со дня рождения) / Под редакцией В.И. Осипова и В.Т. Трофимова. – М.: Издательство ГЕОС, 2004. С. 108-117.

УДК 624.131

Е.М. СЕРГЕЕВ И ЕГО ВКЛАД В РАЗВИТИЕ ТЕХНИЧЕСКОЙ МЕЛИОРАЦИИ ГРУНТОВ

© 2014 г., Н.А. Ларионова

Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова
119991, Москва, Ленинские горы 1. 8(495)939-15-22.
e-mail: nin.larionowa@eanlex.ru

Вся жизнь Евгения Михайловича Сергеева связана с Московским университетом. В 1954 году он возглавил кафедру грунтоведения и инженерной геологии и на протяжении 35 лет был ее заведующим. Он сумел организовать ее коллектив, и кафедра, заняв передовые позиции в инженерной геологии, объединяла инженер-геологов всей страны.

Е.М. Сергеев в педагогической и научной деятельности всегда развивал идеи своего учителя М.М. Филатова, который подчеркивал, что при создании любых методов улучшения свойств грунтов необходимо всесторонне учитывать свойства тонкодисперсной части грунта, емкость обмена и состав поглощающего комплекса, а также генетические особенности грунта, его химико-минеральный состав. Е.М. Сергеев в своих исследованиях также придерживался генетического подхода к грунтам как к объектам изучения.

Генетический принцип грунтоведения развивался Е.М. Сергеевым как зависимость свойств грунтов от их состава и состояния во времени и пространстве, обусловленную условиями происхождения осадков, процессами их преобразования и изменения. Этот принцип подчеркивался во многих его докладах, статьях и учебниках и работах его учеников [11].

Под руководством Е.М. Сергеева выполнялись исследования по изучению природы прочности и инженерно-геологическим особенностям глинистых и лессовых грунтов, зависимости физических, физико-химических и физико-механических свойств грунтов от их состава, структуры и текстуры [14]. При этом большое внимание уделялось изучению процессов, протекающих на границе раздела дисперсной фазы и дисперсионной среды, и их влияние на различные методы улучшения грунтов.

Е.М. Сергеев создал и в течение многих лет читал курс "Грунтоведение", постоянно обновляя его и вводя в учебный процесс последние достижения своих исследований и разработок своих

Академик Е.М. Сергеев

учеников [21]. В читаемом курсе достаточно значимое место отводилось рассмотрению искусственных грунтов, в том числе целенаправленно улучшенных методами технической мелиорации и сформированных в результате хозяйственной деятельности человека, так называемых техногенно-образованных. Искусственные грунты учитывались и в разработанной им общей классификации грунтов.

Е.М. Сергеев внес большой вклад в разработку классификаций видов воды в грунтах. Под его руководством проводились комплексные межфакультетские исследования по теме "Связанная вода в дисперсных системах". В разработках принимали участие ученые разных кафедр фи-

зического, химического, геологического и биолого-почвенного факультетов [7]. По этой тематике были изучены закономерности гидратации различных глинистых минералов, особенности набухания глин различного состава, их ионообменные свойства. Разработка Е.М. Сергеевым классификаций грунтов и связанной воды в грунтах, развитие генетического подхода в их изучении, явились основой дальнейшего развития методов технической мелиорации грунтов и их систематизации. В этой связи изучались характер связей, возникающих в искусственно улучшенных грунтах, вновь образовавшиеся структуры, изменение химико-минерального состава и дисперсности грунтов.

С середины 1950-х годов Е.М. Сергеев развивал физико-химическое направление в грунтоведении, продолжая заложенные его основы М.М. Филатовым. На кафедре под руководством или при непосредственном участии Е.М. Сергеева проводились многочисленные исследования по наиболее полному изучению особенностей формирования свойств грунтов с учетом различных физико-химических процессов и явлений, протекающих на границе "минеральная поверхность – поровый раствор" [23]. В своей работе по изучению теплоты смачивания грунтов он убедительно представил выявленные закономерности, раскрывающие природу различных взаимосвязанных физико-химических явлений, протекающих в грунтах, обусловленных такими процессами как адсорбция, ионный обмен, смачивание. Теплота смачивания рассматривалась им как результат потери энергии молекул воды при переходе ее в связанное состояние [19]. Такой подход в исследованиях применялся Е.М. Сергеевым и его учениками в изучении характера изменения свойств грунтов от особенностей их состава, взаимодействия компонентов грунтов с поровыми растворами при определенных условиях.

Большой вклад в развитие технической мелиорации, и в частности физико-механических методов, внесли исследования по отжатию связанной воды из глин при больших давлениях, проведенные Е.М. Сергеевым совместно с С.С. Поляковым [10]. Ими подчеркивалось, что при механическом воздействии на оптимально увлажненный грунт большое значение имеют физико-химические процессы. В начальный период уплотнения они проявляются в эффекте понижения прочности и связности агрегатов и микроагрегатов, что является результатом расклинивающего действия пленок воды и отчасти ее расклинивающего действия. При сближении частиц и прочных агрегатов под действием молекулярных сил и сил электростатического притяжения создаются новые более прочные структурные связи с увеличенным структурным сцеплением. Достижение предельного сближения частиц и максимальной плотности грунта возможно при значительных статических нагрузках. Уплотняющая нагрузка, при которой достигается близкая к максимальной прочность грунта в сухом состоянии, Е.М. Сергеевым условно названа оптимальной нагрузкой уплотнения [16, 21]. При этом подчеркнуто, что эта величина зависит от гранулометрического и химико-минерального состава грунта и колеблется в пределах от 3,0 МПа (для каолиновой глины) до 30,0 МПа (для моренного суглинка), а для покровного и лессовидного суглинка она составляет около 10,0 МПа. При уплотнении образцов до достижения оптимальной нагрузки уплотнения объемная масса их возрастает в среднем на 0,42, а после достижения – только на 0,05 г/см^3. Кроме того, установлено, что чем больше в грунте глинистых и коллоидальных частиц, тем она меньше.

Существенный вклад в развитие теоретических основ технической мелиорации грунтов внесли исследования, проведенные Е.М. Сергеевым и Г.А. Куприной, где рассмотрена теория кольматации гравелистых и песчаных пород. Авторами сформулирован термин "кольматация". Кольматация песков есть явление комплексное, и представляет собой совокупность физического и механического поглощений глинистых частиц песками, выражающихся в адсорбционном взаимодействии между глинистыми и песчаными частицами, коагуляции и структурообразовании самих глинистых частиц и фиксации их в порах песка [8, 15]. С физико-химических позиций изучен механизм процесса естественной и искусственной кольматации песков, выявлены факторы, оказывающие влияние на его эффективность, в частности, состав кольматируемых песков [18], состав и концентрации кольматирующих глинистых суспензий. При этом определено изменение коэффициента фильтрации закольматированных песков с глубиной.

Проявление в процессе кольматации физического и механического поглощения глинистых частиц песками убедительно доказано Е.М. Сергеевым. Продвижение глинистых частиц через поры кольматируемой песчаной породы и поглощение их этим грунтом определяется соотношением размеров глинистых и песчаных частиц и размерами пор песчаного грунта и условиями поверхностного взаимодействия глинистых частиц между глинистыми частицами. При этом подчеркнуто, что отношение среднего диаметра глинистых частиц к среднему диаметру частиц кольматируемого грунта должно составлять не менее 0,15-0,20. В процессе взаимодействия песчаных и глинистых частиц при кольматации

происходит как ортокинетическая коагуляция, сопровождающаяся образованием коагуляционных связей между глинистыми и песчаными частицами, так и перикинетическая коагуляция – образование коагуляционных связей между глинистыми частицами. Кольматация песков есть явление комплексное, и оно представляет собой совокупность физического и механического поглощений глинистых частиц песками, выражающихся в адсорбционном взаимодействии между глинистыми и песчаными частицами, коагуляции и структурообразовании самих глинистых частиц и фиксации их в порах песка. Достаточно подробно результаты исследований изложены в опубликованной работе [9]. Изучение процесса кольматации грунтов имеет важное научное и практическое значение при решении задач, связанных с изменением фильтрационной способности грунтов. Это явление используется в гидротехнике, технологии очистки воды, в буровом деле, при мелиоративном строительстве.

На кафедре под руководством профессора С.С. Морозова с группой сотрудников проводились исследования по разработке рецептур и способов создания водо- и растворо-непроницаемых экранов. Основные направления работ связаны с подземным (экраны, гидроизоляция) и дорожно-аэродромным строительством. Исследовались процессы взаимодействия грунтов и экранов с растворами солей, кислот, щелочей и их смесей. Впервые осуществлен прогноз изменения свойств дисперсных грунтов и устойчивости грунтовых экранов при воздействии на них различных по составу и агрессивности растворов. В этот период оценивалась возможность использования синтетических смол, полимеров и поверхностно-активных веществ для укрепления грунтов, в том числе и для устройства экранов. Создание экранов и испытания их устойчивости проводилось не только в лабораторных, но и в полупроизводственных условиях – в больших емкостях, опытных котлованах на Мещерской научно-исследовательской станции геологического факультета МГУ, которая была создана по инициативе и ходатайству Е.М. Сергеева. Эта станция имела большое значение при опробовании разработанных способов технической мелиорации грунтов в полевых условиях, для отработки технологических схем инъекционного укрепления грунтов, оценке устойчивости укрепленных массивов в природных условиях, в том числе при воздействии на них атмосферных агентов. Е.М. Сергеев периодически приезжал на станцию для ознакомления с условиями проведения работ и обсуждения результатов разработок.

Е.М. Сергеев внимательно относился к учебному процессу, к подготовке кадров, был прекрасным организатором и преподавателем. Большое внимание он уделял учебному процессу и учебным планам.

Е.М. Сергеев с сотрудниками лаборатории технической мелиорации грунтов на Мещерской научной станции в Петушках, конец 1960-х гг.

Имея тесные связи с производственными и научными организациями, он понимал, каких специалистов кафедра должна выпускать. Создавались новые лекционные курсы и практикумы, расширяющие общетеоретическую и геологическую подготовку студентов. С 1956 года введено обучение студентов на вечернем отделении, к организации которого Е.М. Сергеев имел непосредственное отношение, являясь деканом факультета МГУ.

В 1963 году в соответствии с учебным планом была организована специальная группа студентов вечернего отделения с углубленным изучением методов технической мелиорации грунтов на основе современных достижений в области химии, физической и коллоидной химии, минералогии, кристаллографии, кристаллохимии и инженерной геологии. По этим дисциплинам не только читался полный курс лекций, но и проводились практикумы: по общей химии, количественному и качественному химическому анализу, силикатному анализу. В дальнейшем проводился расширенный практикум по химическому анализу грунтов с использованием методик, разработанных на факультете почвоведения, в том числе анализов щелочных и солянокислых вытяжек, вытяжек по Тамму. Это был единственный выпуск специалистов по этому направлению, некоторые из них (Абрамова Т.Т. и Ларионова Н.А.) были распределены на кафедру грунтоведения и инженерной геологии МГУ, многие работали в НИИОСП, МАДИ, ДОРНИИ, ГИДРОСПЕЦПРОЕКТ и других организациях, занимаясь использованием методов технической мелиорации для улучшения состояния и свойств грунтов.

В целях геологического обеспечения наукоемких технологий по улучшению свойств грунтов по инициативе и усилиями академика Е.М. Сергеева на геологическом факультете МГУ имени М.В. Ломоносова в 1967 году была организована проблемная лаборатория "Исследование влияния геологических факторов на физико-химическое закрепление грунтов". В момент образования лаборатории был унаследован опыт экспериментально-теоретических исследований, выполненных на кафедре грунтоведения и инженерной геологии под руководством профессора С.С. Морозова, который стал первым научным руководителем новой научной лаборатории на факультете, а ее заведующим – С.Д. Воронкевич.

Е.М. Сергеев постоянно искал новые пути развития грунтоведения и инженерной геологии. Он со своими учениками разработал новое понятие – "геологическая среда" [12], сформулировал задачи инженерной геологии в области охраны геологической среды и рационального природопользования [13, 17]. Развитию этого направления на кафедре уделялось повышенное внимание. В соответствии с изменившимся учебным планом в 1983 году проводилась подготовка студентов по трем специализациям, среди которых присутствовала "охрана геологической среды". Для студентов этой группы введены такие курсы, как "Основные проблемы охраны геологической среды", "Техногенные грунты", "Основы техногенной геохимии", "Правовые основы охраны окружающей среды", которые читались преподавателями кафедры. В последствие введены спецкурсы "Рациональное использование и охрана геологической среды городов", "Рациональное использование и охрана геологической среды при гидротехническом строительстве" и другие.

Е.М.Сергеев остро чувствовал потребности практического применения имеющихся разработок физико-химических методов мелиорации в строительстве и по возвращении из Польши, где он был почетным профессором Варшавского университета, предложил включить в тематику лаборатории исследования по оценке возможности, целесообразности и практическому использованию промышленных отходов для укрепления грунтов. Это позволяет значительно сократить расход традиционных вяжущих материалов, уменьшить объемы накапливающихся промышленных отходов, при этом существенно снизить их негативное влияние на геологическую среду.

Начиная с 1973 года, в лаборатории проводились исследования по теоретическому и практическому обоснованию необходимости изучения с физико-химических позиций особенностей состава и свойств техногенных грунтов, в частности, золошлаковых отходов, образованных на тепловых станциях при сжигании твердого топлива. Дополнительно, в соответствии с договором о сотрудничестве между кафедрой грунтоведения и инженерной геологии МГУ им. М.В. Ломоносова и институтом гидрогеологии и инженерной геологии Варшавского университета проводились совместные исследования по систематизации золошлаковых материалов, выявлению влияния особенностей состава зол на их гидравлическую активность.

Следует подчеркнуть, что исследования, проведенные в МГУ, в большей степени ориентированы на изучение физико-химических процессов, протекающих в системах при укреплении грунтов, как это было принято на кафедре грунтоведения и инженерной геологии. Грунт рассматривался не в качестве инертного наполнителя, а как активный компонент, вступающий во взаимодействие с различными соединениями, присутствующими в составе вяжущих веществ, а также с промежуточными продуктами процессов их гидролиза и гидратации.

На основе проведенных исследований были выявлены основные закономерности изменения физико-механических свойств полученных материалов с использованием зол тепловых станций. Показана возможность использования зол гидроудаления каменных и бурых углей для укрепления высокодисперсных глинистых грунтов с числом пластичности выше 17. Установлено, что активные золы могут использоваться для укрепления грунтов в качестве самостоятельного вяжущего вещества. С увеличением их дозировки прочностные показатели материалов увеличивается. При использовании неактивных или скрытоактивных зол в составе комплексного вяжущего увеличение количества введенной золы сопровождается снижением показателей их физико-механических свойств.

Выявлено влияние состава зол и грунтов на процесс твердения полученных материалов и характер изменения их физико-механических свойств во времени. Установлена стадийность процесса твердения зологрунтовых и золоцементогрунтовых смесей, обусловленная совокупностью физико-химических процессов, протекающих в материалах. Результаты совместно проведенных исследований в соответствии с договором о сотрудничестве между Варшавским университетом и кафедрой грунтоведения и инженерной геологии МГУ опубликованы в двух сборниках статей – один в Варшавском университете (1981 г.), другой в МГУ (1984 г.). Оптимальные составы разработанных материалов использовались в производственных условиях в различных регионах страны для дорожного и

аэродромного строительства.

В последствие в лаборатории и на кафедре грунтоведения и инженерной геологии продолжены исследования по использованию промышленных отходов для укрепления грунтов. Расширялся круг исследуемых промышленных отходов, подключены металлургические шлаки и лигнин – отход гидролизной промышленности и целлюлозно-бумажного производства. Изучены процессы твердения грунтов, укрепленных шлаками, активизированными небольшими добавками извести или цемента. При этом получены материалы, по своим показателям отвечающие требованиям нормативных документов. Подчеркнуто влияние состава шлаков, использованных активизаторов и грунтов на процессы твердения материалов, и характер изменения их свойств во времени.

На основе лигносульфонатов кальция (сульфитно-спиртовая барда) разработаны новые составы инъекционных растворов для глубинного укрепления грунтов. Опробования этих составов проводились в полевых условиях на территории Мещерской научной станции. Разработки защищены авторскими свидетельствами.

Несмотря на свою занятость, Е.М. Сергеев курировал исследования, проводимые на кафедре и в проблемной лаборатории, вносил ценные предложения, давал определенные рекомендации и советы по дальнейшему ее становлению и развитию; расширению круга актуальных задач, связанных с улучшением состояния и свойств грунтов, а также с проблемами защиты геологической среды.

В дальнейшем научные исследования и практические работы кафедры и проблемной лаборатории были сосредоточены на решении теоретических и прикладных задач, связанных с разработкой принципов и методов управления качеством геологической среды с целью ликвидации или предупреждения проявления негативных инженерно-геологических процессов. Научная деятельность лаборатории в основном направлена на решение приоритетных проблем, требующих привлечения и разработки методов физико-химического преобразования грунтов в целях повышения качества и надежности возводимых и эксплуатируемых сооружений и рационального использования геологической среды.

Разработаны теоретические основы и технологические приемы создания противофильтрационных завес и экранов при их строительстве на растворимых основаниях. В производственных условиях для доуплотнения цементационных завес использованы новые эффективные инъекционные растворы на основе силикатных систем и водорастворимых эпоксидных смол, разработанные в лаборатории. Такие растворы в промышленных масштабах применялись на различных объектах, в том числе на Камской ГЭС (г. Пермь), каскада Ингури ГЭС (Грузия) и Рогунской ГЭС (Таджикистан). Разработана методика изучения формирующихся техногенно-геохимических обстановок, процессов возможного выщелачивания компонентов тампонажных растворов, прогноза изменения состояния и свойств грунтов в зоне противофильтрационных завес. Разработан вариант комплексного подхода к исследованию постинъекционных процессов и предложена методика оценки постинъекционных условий на основе физического и математического моделирования.

Достаточно большое внимание Е.М. Сергеев уделял изучению состава и свойств лессовых грунтов, их микроструктуры, познанию природы просадочности [22]. По его рекомендациям в проблемной лаборатории проводились исследования по разработке эффективных методов, обеспечивающих полную ликвидацию просадочности, что особенно важно и перспективно на стадии эксплуатации или реконструкции существующих сооружений. Для некоторых лессовых грунтов, отличающихся низкой физико-химической активностью (повышенной влажностью, низкой емкостью поглощения, преобладанием в поглощенном комплексе иона натрия), не всегда эффективен метод традиционной силикатизации. Для укрепления лессовых грунтов этой категории разработаны новые составы силикатных растворов с использованием отвердителей, отличающихся длительным временем гелеобразования, низкой вязкостью и высокой проникающей способностью, обеспечивающих высокие прочностные показатели и полную ликвидацию просадочности. Определено влияние минерального состава лессовых грунтов на процессы взаимодействия с инъекционным раствором и, соответственно, на прочностные характеристики при их укреплении. Проведена оценка эффективности использования разработанных составов силикатных растворов для укрепления лессовых грунтов, отличающихся дисперсностью и минеральным составом. Опробование и внедрение разработанных составов инъекционных растворов проведено на многих строительных объектах (Предкавказье, Таджикистан, Казахстан, Украина, Башкирия), где отмечалась деформация зданий и сооружений, вследствие утечек из коммуникаций, способствующих проявлению просадочности лессовых грунтов.

В лаборатории разработан и внедрен новый способ укрепления лессовых и глинистых грунтов с применением щелочных растворов высоких концентраций. При обработке грунтов проис-

ходит значительная трансформация глинистых минералов в результате щелочного гидролиза с последующим переосаждением образующихся метастабильных продуктов реакции и формированием цеолитов и гидросодалитов. С увеличением количества новообразованных фаз улучшаются физико-механические характеристики укрепленных грунтов [3, 4]. Разработаны модификации метода с привлечением кальцийсодержащих реагентов. Они способствуют значительному снижению концентрации щелочных растворов без ухудшения качества укрепления. В настоящее время метод достаточно широко используется в практике строительства на различных объектах.

Проблема укрепления и стабилизации глинистых грунтов решалась на использовании физических полей и изучения необратимых физико-химических процессов, протекающих в них при воздействии постоянного электрического тока. Определены оптимальные условия электрохимического осушения и уплотнения глинистых грунтов, выявлена роль различных факторов на механизм и интенсивность протекающих в системах процессов, влияющих на эффективность искусственного воздействия.

В лаборатории проведена разработка метода термообработки слабых и структурно-неустойчивых грунтов для их упрочнения и стабилизации с использованием сверхвысокочастотного электромагнитного излучения – СВЧ поля. Инициатива разработки принадлежит Е.М. Сергееву. Впервые определены физико-механические свойства глинистых, пылеватых, просадочных и плывунных грунтов при их обработке в СВЧ поле, обжиге и плавлении. Рассмотрены процессы и фазовые превращения в грунтах при воздействии СВЧ поля. Представлена физическая модель минеральных превращений и фазовых переходов в грунтах. Установлены механизмы процессов дегидратации, окисления, аморфизации, ведущие к трансформации глинистых минералов, диссоциации карбонатов, а также полиморфным превращениям кварца. Дано обоснование выбора и ранжирования прогнозных параметров, определяющих поведение грунтов в СВЧ поле. В качестве основных прогнозных параметров рекомендованы: диэлектрические потери и проницаемость, влажность, дисперсность и химико-минеральный состав грунтов. Исследовано влияние воздействия параметров СВЧ поля (частота, мощность, напряженность и время) на комплекс свойств грунтов. Большие по объему исследования по разработанному методу проводились группой сотрудников под руководством Л.В. Гончаровой [6].

Определенный интерес представляют проведенные в лаборатории исследования, направленные на решение задач по реставрации и консервации архитектурно-археологических памятников для музеефикации с использованием методов технической мелиорации. Специфические особенности состава и свойств грунтов культурного слоя определили необходимость нетрадиционных подходов в разработке новых химических составов для их стабилизации. Производственное опробование и внедрение разработок по консервации грунтов культурного слоя, проведенное на участках античных городов Северного Причерноморья (Херсонес, Танаис), на территории г. Москвы (палаты бояр Романовых) [1, 2] показали перспективность и эффективность новых композиций для обработки техногенных и антропогенных грунтов, залегающих в основании архитектурных и исторических памятников, находящихся в аварийном состоянии. Разработки, проведенные Т.Т. Абрамовой, экспонировались на ВДНХ и отмечены бронзовой медалью.

В развитии технической мелиорации грунтов в стране наступил период, когда возникла необходимость систематического обмена опытом между специалистами, работающими в этой области. В 1958 г. состоялось совещание в Риге, на котором в широком плане обсуждались методы закрепления и уплотнения грунтов. Вслед за этим по инициативе и при участии Е.М. Сергеева проведено совещание в МГУ (1960 г.) по теоретическим вопросам технической мелиорации грунтов [20]. На этом совещании определилось новое геолого-минералогическое направление исследований в области технической мелиорации грунтов. В 1968 году под председательством Е.М. Сергеева в МГУ проведено Всесоюзное совещание по технической мелиорации грунтов. В своем докладе он подчеркивал необходимость выявления основных закономерностей процесса литификации различных петрографических типов пород при искусственном изменении их свойств, выявление влияния их минерального состава и структурно-текстурных особенностей на эффективность разрабатываемых методов.

Совещания по уплотнению и закреплению грунтов стали проводиться, с определенной периодичностью: в Киеве (1962), Тбилиси (1964), Новосибирске (1966), Москве (1968), Ленинграде (1971), Киеве (1974), Ташкенте (1978), Ростове-на-Дону (1983), Уфе (1987). На них представлялись сообщения и доклады о проведенных разработках и полученных достижениях в области улучшения состояния и свойств грунтов.

Е.М. Сергеев уделял большое внимание развитию теоретических представлений в области искусственного преобразования грунтов под воздействием природных и техногенных факто-

ров. Физико-химические методы технической мелиорации грунтов использовались в системе мер по защите геологической среды от различных повреждений. Сюда отнесены методы борьбы с основными причинами, которые определяют возникновение и развитие процессов, нарушающих нормальные условия возведения и эксплуатации сооружений. Эти методы в результате целенаправленного изменения их физико-механических свойств обеспечивают предотвращение недопустимых деформаций грунтов.

Сосредоточенные техногенные источники способствуют формированию очаговых повреждений и загрязнений геологической среды. С.Д. Воронкевич отмечал, что это проявляется в виде образования локальных техногенно-геохимических аномалий, в пределах которых существенно изменяются основные геохимические параметры среды (pH, Eh, ионная сила поровых и пластовых вод), накапливаются в значительных количествах агрессивные и опасные химические элементы, соединения и микроорганизмы. Использование специальных физико-химических методов технической мелиорации в сфере влияния сосредоточенных источников загрязнения могут обеспечивать: а) ограничение или ликвидацию распространения опасных компонентов, загрязняющих грунты; б) нейтрализацию их агрессивного воздействия на грунты и подземные конструкции промышленных сооружений [5]. Потенциальные возможности таких методов проявляются при создании разнообразных техногенно-геохимических барьеров и их использовании в комплексе защитных мер на участках локального загрязнения геологической среды.

Заведующий проблемной лабораторией "Исследование влияния геологических факторов на физико-химическое закрепление грунтов" профессор С.Д. Воронкевич подчеркнул возможности и сформулировал экологические функции физико-химических методов. Он отмечал, что методы физико-химической мелиорации грунтов не только позволяют решать разнообразные задачи по улучшению и сохранению качества геологической среды, но и могут использоваться в комплексе защитных мер по предупреждению ее загрязнения [5]. Сформулированные возможности и экологические функции этих методов позволяют выполнять работы:

- по иммобилизации вредных компонентов путем отверждения отходов при их полигонном хранении;
- обеспечению экранирующего эффекта грунтовых слоев в системе многобарьерной защиты от воздействия приповерхностных хранилищ;
- созданию геомембран (фильтры, сорбенты) на основе местных грунтов и материалов;
- контролю миграции металлов-загрязнителей в сфере влияния очаговых источников;
- создания бактерицидных и антисептических зон для подавления активности микроорганизмов.

Кроме известной гидроизоляционной функции таких методов, перспективы успешной защиты геологической среды от загрязнения могут быть связаны и с такими экологическими функциями как: концентрационная, сульфатосвязывающая, антикоррозионная, токсино-изоляционная, бактерицидная, антисептическая.

Е.М. Сергеев внес большой вклад в развитие технической мелиорации грунтов своими работами, идеями, рекомендациями в постановке новых направлений исследований, разработке новых методов и методик, осуществляемых при его постоянном внимании и поддержке.

За весь период функционирования проблемной лаборатории на основе проведенных исследований было защищено 4 докторских диссертации, около 20 кандидатских диссертаций. Большинство разработок защищены авторскими свидетельствами, некоторые экспонировались на ВДНХ, отмечены медалями.

Лаборатория "Исследование влияния геологических факторов на физико-химическое закрепление грунтов" стала единственной организацией, занимающейся разработкой методов геохимического преобразования грунтов, выявления экологических функций физико-химических методов, определяющих потенциальную возможность их использования при решении экологических задач, в частности для создания разнообразных техногенно-геохимических барьеров по ограничению или предупреждению загрязнения геологической среды.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Абрамова Т.Т.* Искусственное преобразование грунтов культурного слоя города Москвы// Инженерная геология. 2012. № 4. С. 68-72.

2. *Абрамова Т.Т., Воронкевич С.Д.* Силикатизация грунтов культурного слоя архитектурно-археологических памятников Северного Причерноморья// Инженерная геология. 1988. № 2. С. 44-57.

3. *Волков Ф.Е., Злочевская Р.И.* Новый химический способ закрепления водонасыщенных лессовых и глинистых пород – "Защелачивание"// Инженерная геология. 1988. № 1. С. 15-29.

4. *Волков Ф.Е.* Укрепление аллювиальных суглинков основания деформируемого здания защелачиванием// Материалы IX Общероссий-

ской конференции изыскательских организаций "Перспективы развития инженерных изысканий в строительстве в Российской Федерации". М.: ООО "Геомаркетинг", 2013. С. 33-43.

5. *Воронкевич С.Д.* Основы технической мелиорации грунтов. М.: Научный мир, 2005. 504 с.

6. *Ефименко В.Н., Чарыков Ю.М., Кадесников А.П., Гончарова Л.В., Баранова В.И. и др.* Новые методы и геотехнологии преобразования грунтов энергией плазмы и СВЧ-поля в строительстве/Под ред. Ефименко В.Н. Томск: Изд-во Томского гос. архитектурно-строительного университета, 2003. 247 с.

7. *Злочевская Р.И.* Связанная вода в глинистых грунтах/ Под ред. Е.М. Сергеева. Изд-во Московского университета, 1969. 176 с.

8. *Куприна Г.А.* Кольматация песков. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1968. 173 с.

9. *Орнатский Н.В., Сергеев Е.М., Шехтман Ю.М.* Исследование процесса кольматации песков. М.: Изд-во Московского университета, 1955. 182 с.

10. *Поляков С.С., Сергеев Е.М.* О возможности отжатия связанной воды из грунтов// Ученые записки МГУ, 1951. Вып. 149. Грунтоведение. Кн. 2. С. 95-102.

11. *Сергеев Е.М.* Генетическая классификация грунтов в свете учения М.В. Ломоносова "О слоях земных"// Вестник МГУ, 1950. № 8. Сер. физ.-мат. и естеств. наук. Вып. 5. С. 55-68.

12. *Сергеев Е.М.* Инженерная геология – наука о геологической среде // Инженерная геология, 1979. № 1. С. 3-19.

13. *Сергеев Е.М.* Инженерная геология и охрана геологической среды // В кн. Межд. Геологический конгресс XXVI. Сессия Гидрогеология, инженерная геология и строительные материалы. М.: Наука, 1980. С. 119-128.

14. *Сергеев Е.М.* К вопросу о природе механической прочности дисперсных грунтов//Ученые записки МГУ. 1949. Вып. 133. Кн.1. Грунтоведение. С. 89-117.

15. *Сергеев Е.М.* Кольматация каракумских песков // Материалы исследований в помощь проектированию и строительству Каракумского канала. Ашхабад: АН Туркменской ССР. 1958. Вып. 1. Гидрогеология и инженерная геология. С. 96-124.

16. *Сергеев Е.М.* Понятие об оптимальной нагрузке уплотнения грунтов // Вестник МГУ. 1949. № 10. Сер. физ.-мат. и естеств. наук. Вып 7. С. 115-130.

17. *Сергеев Е.М.* Проблемы инженерной геологии в связи с задачами рационального использования и охраны геологической среды// Проблемы рационального использования геологической среды. М.: Наука, 1988. С. 5-21.

18. *Сергеев Е.М.* Роль химико-минерального состава вещества в процессе кольматации песков// Вестник МГУ. 1954. № 10. Сер. физ.-мат. и естеств. наук. Вып. 7. С. 3-18.

19. *Сергеев Е.М.* Методика определения теплоты смачивания грунтов//Ученые записки МГУ. 1951. Вып. 149. Грунтоведение. Кн. 2. С. 95-102.

20. *Сергеев Е.М.* Современные представления о природных грунтах как объектах технической мелиорации грунтов. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1961. С. 21-28.

21. *Сергеев Е.М.,* Голодковская Г.А., Зиангиров Р.С. и др. Грунтоведение. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1971. 595 с.

22. *Сергеев Е.М.*, Комиссарова Н.Н. Генезис и постгенетические изменения лессовых пород// Лессовые породы СССР. Т. 1. Инженерно-геологические особенности и проблемы рационального использования. М.: Недра, 1986. С. 4-27.

23. *Сергеев Е.М.*, Осипов В.И., Трофимов В.Т. Взаимодействие твердого и жидкого компонентов и динамика свойств грунтов // В кн.: Подземные воды и эволюция литосферы. Т.1. М.: Наука, 1985. С. 187-198.

УДК 624.131

АКАДЕМИК Е. М. СЕРГЕЕВ И ЛАБОРАТОРИЯ ОХРАНЫ ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ СРЕДЫ

© 2014 г. В.И. Сергеев

Лаборатория охраны геологической среды, геологический факультет МГУ им. М.В.Ломоносова, 119991, Москва, Ленинские горы, МГУ,
e-mail: bazismo@mail.ru

Введение

Почти 40 лет назад, когда еще проблема охраны геологической среды не стояла так остро перед добывающей и перерабатывающей промышленностью и всеми другими ее отраслями, связанными с необходимостью размещения отходов в геологической среде, Евгений Михайлович Сергеев много внимания и сил отдавал организации и развитию научных исследований в этой области, разработке принципиально новых основ природоохранных мероприятий в районах интенсивного техногенного воздействия.

Благодаря его способности остро ощущать задачи, стоящие перед инженерной геологией, и пониманию того, что охрана окружающей среды станет более чем актуальной задачей, было принято решение о создании на геологическом факультете специализированной лаборатории по проблемам охраны геологической среды. Истории её создания и роли Е.М.Сергеева в этом и посвящена настоящая статья.

Создание Лаборатории охраны геологической среды

Исходной базой для такой организации явилась существовавшая в МГУ им. М.В.Ломоносова межфакультетская проблемная Лаборатория взаимосвязи поверхностных и подземных вод, организованная в 1968 году и подчинявшаяся непосредственно ректору МГУ, а с 1973 г. – географическому факультету. Организаторами и научными руководителями Лаборатории были Б.И. Куделин (геологический факультет) и Г.П. Калинин (географический факультет). Первым заведующим лабораторией был Л.Г. Соловьев. С переходом на географический факультет научным руководителем стал Н.А. Картвелишвили, а заведующей лабораторией была назначена С. М. Семенова-Ерофеева.

К концу 1975 года Лаборатория была представлена 70 специалистами. Высокий научный уровень коллектива определялся уже только тем, что 33 его сотрудника были кандидатами наук.

После согласования изменения научной деятельности лаборатории с ректоратом и географическим факультетом Евгений Михайлович приступил к осуществлению весьма сложной по тем временам задачи изменения утвержденной вышестоящими инстанциями научной направленности исследований организации. Сложность этой задачи, затраченная энергия, значимость Евгения Михайловича как ведущего ученого страны и уважительное отношение к нему видны из 2-х документов, которые были получены им для реализации поставленной задачи:

1. Государственный комитет Совета Министров СССР по науке и технике принял предложение Министерства высшего и среднего специального образования СССР, согласованное с Академией наук СССР и Министерством геологии СССР, о преобразовании проблемной научно-исследовательской Лаборатории по исследованию взаимодействия поверхностных и подземных вод Московского государственного университета в проблемную научно-исследовательскую Лабораторию охраны геологической среды и взаимосвязи поверхностных и подземных вод (протокол Заседания коллегии Государственнго комитета Совета Министров СССР по науке и технике №64 от 17 декабря 1975 года).

2. Приказ Министерства высшего и среднего специального образования СССР №1144 от 31 декабря 1975 года «О преобразовании проблемной научно-исследовательской Лаборатории по исследованию взаимодействия поверхностных и подземных вод Московского государственного университета в проблемную научно-исследовательскую Лабораторию охраны геологической среды и взаимосвязи поверхностных и подземных вод».

На основании приказа Министерства №1144 в тот же день 31 декабря 1975 года в МГУ был подписан приказ №1130 о внесении соответствующих изменений в структуру Московского

университета и передаче проблемной научно-исследовательской Лаборатории охраны геологической среды и взаимосвязи поверхностных и подземных вод на геологический факультет с 1 января 1976 года.

Через 12 дней приказом №27 ректор МГУ академик Р.В. Хохлов назначил первого проректора МГУ член-корр. АН СССР профессора Сергеева Евгения Михайловича научным руководителем проблемной научно-исследовательской Лаборатории охраны геологической среды и взаимосвязи поверхностных и подземных вод, а кандидата геол.-мин. наук С.М. Семенову-Ерофееву – заведующей Лабораторией [1,2].

Этот исторический экскурс сделан лишь с одной целью: к 100-летию со дня рождения Е.М. Сергеева напомнить инженерно-геологическому и гидрогеологическому сообществу, а также всем специалистам в области охраны геологической среды о его предвидении необходимости самым серьезным образом учитывать все отрицательные последствия техногенного воздействия на окружающую среду. Не только учитывать, но и разрабатывать научно обоснованные способы максимального снижения такого воздействия.

Е.М.Сергеев выступает на семинаре ЛОГС, МГУ, 1977 г.

На первых этапах работа реорганизованной лаборатории велась по заданию ГКНТ Совмина СССР. Проводилось изучение взаимосвязи поверхностных и подземных вод в речных долинах в условиях эксплуатации крупных водозаборов в связи с территориальным перераспределением стока (на примере водозаборов Нечерноземной зоны). Был разработан и представлен в Минводхоз РСФСР прогноз изменения гидрогеологических условий на основе изучения взаимосвязи поверхностных и подземных вод для западных районов Нечерноземья.

По заданию ГКНТ разрабатывались основные положения методики прогноза возможных изменений гидрогеологических и инженерно-геологических условий в районах проектируемых, строящихся и действующих предприятий горнодобывающей промышленности и рекомендации по снижению их отрицательного воздействия на геологическую среду. Также по постановлению ГКНТ разрабатывалась методика прогноза влияния комплексного антропогенного воздействия на гидросферу для разработки водоохранных мероприятий в пределах Европейской части СССР.

Сотрудники Лаборатории тесно взаимодействовали с производственными предприятиями (ГОКами, крупными угледобывающими и нефтедобывающими организациями). В итоге был подготовлен отчет в ГКНТ СССР, включающий в себя унифицированный материал по оценке воздействия ряда крупных горнодобывающих предприятий на геологическую среду, и в нем намечены направления исследований по разработке природоохранных мероприятий для горнодобывающей промышленности.

На базе выполненных работ опубликован целый ряд статей и монографий, результаты докладывались на российских и международных конференциях.

Развитие ЛОГС

В конце 1984 года в Лаборатории охраны геологической среды (ЛОГС) формируются исследовательские группы по направлениям: группа гидрогеологов (руководитель И.К. Невечеря), группа геокриологов (руководитель А.Б. Чижов), группа по разработке способов защиты водных ресурсов от загрязнения на основе использования геохимических барьеров (руководитель В.И. Сергеев) [2].

Такое условное подразделение существует до настоящего времени, несмотря на то, что при разработке методик, решении научных и практических задач взаимодействие сотрудников всех групп является неотъемлемой составляющей работы коллектива.

Вместе с тем, краткое рассмотрение исходных позиций формирования этих групп и основное направление научной деятельности каждой из них дает более полное представление о работе Лаборатории.

Гидрогеологическое направление исследований

Группа гидрогеологов, сформировавшаяся на более ранних стадиях работы Лаборатории, продолжала исследования, начатые по заданию ГКНТ, а в 1986 году приступила к выполнению задания Москомприроды на 1986-1990 годы по теме «Разработать для конкретных районов и объектов научно-методические основы оценки

изменения геологической среды и представить рекомендации по снижению опасных техногенных процессов».

Целый ряд работ выполнялся в период с 1990 по 2001 годы на объектах Средней Азии, Москвы и Московской области. Научные исследования были связаны с обоснованием системы управления водными ресурсами, обоснованием наблюдательной сети, режимов мониторинга, опытных опробований для контроля за загрязнением подземных вод в зоне влияния хвостохранилищ, обоснованием вида мероприятий и контроля за их выполнением для предотвращения загрязнения подземных вод нефтепродуктами.

В этот период выполнен также ряд работ по заданию Москомприроды, связанных с прогнозом геофильтрации на участке депонирования илового осадка на территории Люблинских полей фильтрации в Москве.

С 2001 по 2005 годы велись исследования по теме «Особенности техногенного загрязнения подземных вод на урбанизированных территориях в связи с долгосрочным гидрогеологическим прогнозированием». С 2006 по 2011 годы научная работа группы гидрогеологов проводилась по теме «Физико-биохимические процессы во взаимодействующих потоках подземных и поверхностных вод».

По результатам научно-исследовательских работ изданы две монографии и ряд статей.

Геокриологическое направление исследований

Организованное Евгением Михайловичем в 1976 году перепрофилирование лаборатории по изучению взаимосвязи поверхностных и подземных вод в лабораторию по охране геологической среды было для того периода новым серьезным шагом в развитии научных направлений инженерной геологии, но шло время, и жизнь диктовала необходимость все более ответственного отношения к охране окружающей среды.

В различных министерствах, в промышленных регионах, в вузах страны создавались десятки организаций, чья деятельность была связана с оценкой и контролированием последствий техногенного воздействия на окружающую среду. Уже не требовалось доказывать, что этим надо заниматься везде и всегда. Слишком много отрицательных последствий этого воздействия стали очевидными в нашей стране, да и во всем мире. Все чаще приходилось констатировать, что чего-то не надо было делать, а что-то следовало делать не так, но в большинстве случаев исправление допущенных ошибок, просчетов в проектных решениях трудноосуществимо, а чаще и невозможно. Однако есть еще на нашей Земле районы, где деятельность человека почти не затронула первозданность окружающей среды и предугадать здесь возможные последствия антропогенного воздействия, предотвратить его отрицательное влияние оценивалось в новой Лаборатории в качестве весьма актуальной задачи.

Поэтому в 1984 году в состав ЛОГС была введена группа геокриологов во главе с ее руководителем А.Б. Чижовым. Этой группе предстояло заняться почти не затронутыми техногенным воздействием районами страны, изучением современного состояния и динамики изменения геологической среды криолитозоны, ее реакции на техногенное воздействие, характер и развитие проблемных экологических ситуаций, разработку методологических основ эколого-геологического районирования криолитозоны.

Разработка методик эколого-геологического картирования будущих районов хозяйственного освоения представляло интерес не только для нашей лаборатории. Эти работы проводились совместно с сотрудниками географического, химического и геологического (кафедра геокриологии) факультетов МГУ, институтов РАН и Института полярных и морских исследований им. Альфреда Вегенера (Германия).

Об актуальности и высоком научном уровне выполняемых работ свидетельствует защита докторской диссертации сотрудником группы геокриологов А.В. Гавриловым, являющегося с 2011 г. руководителем темы «Изучение экологически опасных природных процессов, связанных с эволюцией криолитозоны и климата восточного сектора Арктики».

Защита подземных вод от загрязнения на основе использования геохимических барьеров

Оценку воздействия предприятий на геологическую среду и обоснование природоохранных мероприятий для различных отраслей промышленности следует рассматривать как исходную основу в решении задач охраны геологической среды и, прежде всего, ее наиболее уязвимой составляющей – подземных вод. Необходимость разработки конкретных способов снижения интенсивности загрязнения водных ресурсов в районах размещения токсичных и радиоактивных отходов была уже вполне очевидна. Однако для того, чтобы приступить к реализации этой задачи потребовалось создать экспериментальную базу с современным оборудованием, лабораторными помещениями и специалистами различных научных направлений, способными решать комплексные природоохранные задачи.

С 1985 по 1987 годы такая экспериментальная база в Лаборатории была создана и укомплектована специалистами в области инженерной геологии, гидрогеологии, геохимии, химии, математики, технической мелиорации грунтов.

Ранее выполненные исследования В.М. Шестакова и его сотрудников А.А. Рошаля и И.С. Пашковского, а также их коллег из Ленинграда В.А. Мироненко и В.Г. Румынина послужили основой для формирования одного из основных направлений исследований Лаборатории – разработки способов защиты от загрязнения токсичными и радиоактивными загрязнителями подземных вод в районах размещения отходов промышленности.

Эти способы основаны на использовании природных глинистых отложений и искусственных экранов в качестве геохимических барьеров на пути распространения потенциальных загрязнителей подземных вод. Изучение поглощающей способности глинистых грунтов различного минерального состава и дисперсности, а также процесса массопереноса загрязнителей в них позволило в конечном итоге определить оптимальные модели этого процесса и описывающие их уравнения.

Определение в лабораторных условиях значений миграционных параметров загрязнителей при использовании образцов природных и искусственных экранов и жидкой фазы отходов в конечном итоге позволяет на любой момент времени и в любой точке геохимического барьера определить концентрацию потенциального загрязнителя подземных вод.

Результаты этих исследований дают возможность рассчитать предельное время эксплуатации природного геохимического барьера и определить минимальную необходимую мощность искусственного экрана, при которой исключен выход загрязнителей за пределы барьера, как в период эксплуатации хранилища отходов, так и после его консервации (при заданной техногенной нагрузке).

Оценка предельного времени эксплуатации природных и искусственных экранов, а также определение минимальной мощности экранов проводится с учетом процесса десорбции загрязнителей, всегда сопровождающем процесс их поглощения.

Разработка, апробирование данной методики позволили перейти к ее использованию в различных отраслях промышленности на объектах размещения отходов, а также при их проектировании.

В настоящее время Лаборатория может выполнять исследования для решения следующих задач.

1. Выбор оптимального участка для размещения хвостохранилища с учетом наличия природных геохимических барьеров.

2. Определение предельно-допустимого времени эксплуатации хранилища.

3. Расчет минимальной необходимой мощности искусственных горизонтальных экранов из глинистых грунтов или химических гелеобразующих растворов, защищающих подземные воды на участках складирования токсичных отходов в течение заданного времени.

4. Разработка и обоснование способов создания вертикальных геохимических барьеров методом инъекции глинистых и химических гелеобразующих растворов с высокой поглощающей способностью.

5. Консервация больших объемов жидкой фазы радиоактивных отходов с использованием воздушно-сухой тонкодисперсной фракции глинистых грунтов.

6. Расчет и обоснование состава и параметров сорбирующего элемента в геофильтрационных модулях, используемых для доочистки радиоактивных отходов.

Первыми объектами, на которых применялись разработанные в Лаборатории способы защиты подземных вод от загрязнения были объекты Минтопэнерго в Свердловской области: Рефтинская ГРЭС, Артемовская котельная, Пашийский цементно-металлургический комбинат. Выполнены работы по Алмалыкскому ГОКу (Узбекистан). Проведены исследования, необходимые для обоснования проектных решений по защите подземных вод на Кочкарской золото-извлекающей фабрике в г. Пласт (Южный Урал). Аналогичные обоснования проектных решений выполнены на сурьмодобывающих фабриках в Словакии.

Проводились исследования и по другим объектам. В последнее время основным «заказчиком» по этой тематике являются подразделения Росатома РФ. По этой причине весь коллектив группы по разработке способов защиты водных ресурсов от загрязнения перешел на разработку проектных решений на объектах этой организации.

Выполненные теоретические и экспериментальные исследования нашли отражение в научных статьях, опубликованных в российских и зарубежных журналах.

Помимо этих трех крупных научных тематик развитие ЛОГС происходит также путем формирования новых направлений исследований. Одним их таких направлений является изучение геохимических закономерностей техногенных процессов в окружающей среде: переноса загрязнителей в водных потоках с учетом взаи-

модействия с донными отложениями, процессов разрушения органо-металлических комплексов (С.А. Лапицкий). Интерес к этому научному направлению во Франции привел к образованию Европейской лаборатории по геохими окружающей среды, в котором геологический факультет МГУ и Университет Поля Сабатье (Франция) проводят совместные лабораторные и экспедиционные исследования.

Другое новое направление, определившееся в Лаборатории охраны геологической среды в 90-е годы, – инженерно-гидрогеологические исследования в области строительства и эксплуатации сооружений, представляющих угрозу экологической безопасности (М.В. Лехов). В связи с активным сотрудничеством лаборатории с проектными институтами это направление получило развитие в 2000-10 годы по пути как теоретического обоснования вопросов гидрогеомеханики, так и формирования аппарата методики исследований. Научно-исследовательская работа по направлению определяется практическими задачами строительства, что обуславливает актуальность разработки вопросов их теоретического обоснования. Это – обоснование прогностических геофильтрационных моделей подпора, подтопления и дренажа, оценка влияния подземных вод на развитие опасных физико-геологических процессов (оползни, осадочные деформации и т.п.), проектирование мероприятий защиты объектов гидротехнического назначения и водоснабжения от негативного воздействия природных факторов, вопросы гидрогеологических исследований в составе инженерных изысканий в строительстве.

Результатом многолетних работ стала разработка профессионального программного обеспечения исследований, используемого в настоящее время многими проектными организациями. В ходе проведения работ сложились учебные курсы «Геомеханика» и «Гидрогеомеханика и инженерная гидрогеология», которые преподаются на геологическом факультете МГУ сотрудником ЛОГС М.В. Леховым.

Мне кажется, что достигнутые Лабораторией результаты, их использование при решении конкретных проблем охраны геологической среды соответствует тем пожеланиям, которые были у Евгения Михайловича сорок лет назад. Надеюсь, что он был бы сегодня доволен развитием одного из своих «детищ».

Немного о жизни

Объекты, работа, жизнь, решение самых различных проблем – за этим многие воспоминания затухают со временем. Но некоторые из них возникают в памяти сами по себе. В моей жизни такие воспоминания связаны с Евгением Михайловичем. Думаю, они возникают не только у меня, но и у всех, кто по воле судьбы имел с ним контакт [2].

Первое, теперь уже приятное, воспоминание относится к 1963 году, когда мы, молодые и веселые, только что закончили геологический факультет МГУ и получили дипломы. Не надо ходить на лекции, готовиться к экзаменам… Хорошее и радостное настроение. А если принять во внимание тот факт, что оставили работать в должности лаборанта на кафедре грунтоведения и инженерной геологии – самом престижном по тем временам варианте трудоустройства – то мечтать больше не о чем. Проходит два или три дня после трудоустройства. Вдруг вызывают на

Е.М.Сергеев, март 1974 г. (фото В.И.Васильева

кафедру к Евгению Михайловичу.

Там выяснилось, что кроме меня вызвали еще двоих оставленных на кафедре – Е. Огородникову и В. Пометуна. Встретились с Евгением Михайловичем с некоторым волнением. Что-то он сейчас скажет? Вроде бы все решено? Улыбаясь, Евгений Михайлович спрашивает: «Ну, довольны, что будете работать на кафедре?». Мы все трое отвечаем: «Конечно!». На что Евгений Михайлович говорит: «Это хорошо, но кафедре нужны специалисты, которые продолжают заниматься повышением уровня своих знаний». Мы согласно киваем головами, на что Евгений Михайлович говорит: «Вариантов три: вечерний мехмат, физфак или химфак. На принятие реше-

ния у вас два дня».

Не могу сказать, что для меня это было тогда радостным предложением, но спустя годы я вспоминал об этом, не терпящим возражений, решении Евгения Михайловича с благодарностью. Особенно в те времена, когда решаемые научные задачи требовали принятия в коллектив специалистов, хорошо владеющих химией, математикой или биологией.

Работоспособность Евгения Михайловича была хорошо известна всем сотрудникам кафедры так же, как и стремление к тому, чтобы его подопечные в совершенстве не только владели методической и приборной базой, но и могли четко обосновать последствия неучтенных явлений, не принятых во внимание процессов. В этой связи мне вспоминается один из моментов, связанных с оценкой Евгением Михайловичем степени подготовленности его сотрудников. Тогда я, пожалуй, впервые осознал с каким необыкновенным человеком свела меня жизнь.

Это были мои самые первые годы полевых экспедиционных работ. Неожиданно на базу экспедиции нагрянул сам Евгений Михайлович. Наше начальство куда-то отлучилось по делам и Евгений Михайлович начал нас расспрашивать о результатах работ, проблемах, с которыми сталкиваемся, и в конце изъявил желание познакомиться с тем, как мы ведем описание разрезов. Мы предъявили свои дневники, он посмотрел, полистал и спрашивает: «А вот этот разрез рядом с базой вы уже описали?». Мы показали наши записи, после чего он предложил посмотреть разрез вместе. Мы слегка «задергались», т.к. было известно, что во время войны Евгений Михайлович получил серьезное ранение, но о протезе мы не догадывались, так как ходил он в университете даже без палочки. В конечном итоге мы не возразили и отправились к разрезу. Промоина на довольно крутом склоне имела длину не менее 50 метров. Мы прошлись по всему разрезу. Как сейчас помню, получили серьезные замечания по недостаточно четкой оценке роли глинистого прослоя на данном склоне и с интересом прослушали варианты последствий недоучета этого прослоя при строительстве различных сооружений на равнинной поверхности выше склона. Спустились на базу. И тут от начальства получили не просто замечание, а полный разгром за то, что не сумели отговорить Евгения Михайловича от похода к обнажению. Здесь-то мы узнали, что на фронте он потерял ногу, но его стремление к активному участию в работе, забота о повышении научного уровня своих сотрудников оставили неизгладимое впечатление на многие годы.

В заключение я хочу рассказать еще об одном совете Евгения Михайловича, который во многом определил дальнейшую научно-производственную составляющую моей жизни. Это было в 1966 году. В то время приобретение собственного автомобиля было мечтой не только молодых людей, но и их родителей. Машину можно было купить только в результате длительной заграничной командировки. Мне повезло – я получил предложение поехать в Египет на строительство Высотной Асуанской плотины, конкретно, – участвовать в создании противофильтрационной завесы в основании плотины.

Перед отъездом я встретился с Евгением Михайловичем. Без особого благодушия он оценил мой отъезд из университета на три года, произнеся фразу: «Машину очень хочется иметь?». Возразить было нечего. Потом, если мне не изменяет память, был упомянут ДнепроГЭС, который, как он сказал, породил грунтоведение, а дальше он остановился на том, что я еду на самый серьезный объект по созданию противофильтрационной завесы. Смысл его дальнейших комментариев заключался в том, что жизнь предоставила мне возможность стать специалистом в той области, которую наши инженер-геологи только начали изучать. По его мнению, в недалеком будущем знания в этой области будут использоваться не только в гидротехническом строительстве. Моя задача заключалась, наряду с добросовестным исполнением непосредственных обязанностей, в изучении и освоении всех задач и решений, которые возникают при создании противофильтрационных завес. Он считал, что я должен, прежде всего, сам себе ставить вопросы и искать на них ответы там, на объекте, а не после возвращения в Москву.

Жизнь подтвердила его правоту: противофильтрационные завесы теперь используются не только в гидротехническом строительстве, но и при решении широкого круга задач, связанных с охраной геологической среды, прежде всего, защитой подземных вод от загрязнения в районах размещения токсичных и радиоактивных отходов.

Заключение

Академика Евгения Михайловича Сергеева давно нет с нами, но столетие со дня его рождения вызывает в памяти только самые приятные, теплые воспоминания о нем, как о человеке, чья жизнь, отношение к развитию науки, развитию нашей страны, к проблемам его учеников, а ими можно считать всех, кто работал под его руководством, вызывали и вызывают искреннее уважение.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Воспоминания о академике Е.М. Сергееве (к 90-летию со дня рождения) / Под редакцией В.И. Осипова и В.Т. Трофимова. – М.: Издательство ГЕОС, 2004. 230 с.

2. *Королёв В.А., Герасимова А.С., Кривошеева З.А.* Инженер-геологи Московского университета: Преподаватели и сотрудники кафедры инженерной геологии и охраны геологической среды геологического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова. Биографо-библиографический справочник / Под ред. В.Т. Трофимова. – М., Изд-во Московского университета, 1998. 190 с.

УДК 624.131.1:624.131.29:556.383

ИССЛЕДОВАНИЯ И АНАЛИЗ ПРОЦЕССА КОНСОЛИДАЦИИ ВОДОНАСЫЩЕННЫХ ГЛИНИСТЫХ ГРУНТОВ

© 2014 г. Р.Э. Дашко

Национальный минерально-сырьевой университет «Горный»,
199106, Санкт-Петербург, ВО, 21-я линия д.2
e-mail: regda2002@mail.ru

Статья 2

Дана краткая история развития теории фильтрационной консолидации в нашей стране и за рубежом. Приведены результаты теоретических и экспериментальных исследований особенностей развития деформаций водонасыщенных дисперсных грунтов в процессе консолидации. Анализ результатов опытных работ выполнен на основе рассмотрения природы прочности глинистых грунтов, специфики разрушения структурных связей и перераспределения внешнего давления между скелетом и поровой водой с учетом изменения её структуры и формирования инертности по отношению к внешнему давлению. Предложен критерий – градиент начала фильтрационной консолидации, позволяющий определить возможность и практическую значимость фильтрационной консолидации в водонасыщенных глинистых грунтах в зависимости от содержания тонкодисперсных частиц различного минерального состава. Проведена сравнительная оценка величины градиента фильтрации и градиента начала фильтрационной консолидации. На основании выполненных экспериментальных исследований показана незначительная роль процесса фильтрационной консолидации в водонасыщенных глинистых грунтах различной степени литификации. Опытным путем доказано, что на развитие порового давления оказывает большое влияние характер и темпы передачи внешнего давления. Публикуемая статья является продолжением статьи 1 (Грунтоведение №2, 2013): «К проблеме фильтрационной консолидации: структура и свойства воды в глинистых грунтах».

Ключевые слова: консолидация, структура воды, деформация ползучести, поровое и эффективное давление, начальный градиент фильтрации, градиент начала фильтрационной консолидации, глинистая частица, поверхностные силы, передача давления, жесткий и гибкий штампы.

1. Обзор некоторых теорий физической сущности процесса консолидации водонасыщенных грунтов

Развитие деформации водонасыщенных глинистых грунтов в основании сооружения после разрушения наименее прочных структурных связей определяется процессом перераспределения внешнего давления между скелетом грунта и поровой водой. Давления в скелете грунта (эффективное напряжение) вызывают деформации ползучести скелета, за счет которой происходит формирование нового типа текстуры глинистого грунта, более устойчивой по отношению к действующему давлению. Давление в воде создает напоры, формирующие градиенты, под действием которых осуществляется движение поровой влаги, что определяет изменение влажностного режима в глинистых грунтах. Возникновение и развитие порового давления следует рассматривать в тесной взаимосвязи с процессом ползучести скелета глинистого грунта, поскольку этот процесс, способствуя созданию более устойчивого его сложения, будет регулировать и процесс развития порового давления во времени. Последнее обстоятельство имеет особо важное значение при прогнозе изменения прочности и устойчивости глинистых отложений в ходе их консолидации.

В общем случае в процессе консолидации развиваются как деформации изменения объема, так и формоизменения, удельное значение каждой из них будет зависеть от соотношения нагруженной площади и мощности сжимаемой толщи, величины действующего давления и типа глинистого грунта.

Как известно, в решении одномерной задачи консолидации по К. Терцаги-Н.М. Герсеванову рассматривается некоторая идеализированная модель без учета прочности структурных связей и особых свойств воды в водонасыщенном глинистом грунте. Согласно этой теории пред-

полагается, что в начальный момент времени все внешнее давление воспринимается поровой водой, при этом, величина осадки полностью со¬ответствует количеству отжатой воды из грунта. Работы К. Терцаги положили начало становлению теории фильтрационной консолидации, которая в дальнейшем была развита Н.М. Герсевановым, В.А. Флориным, М.А. Цытовичем, Д.Е. Польщиным, С.А.Роза, М.Н. Гольдштейном, Н.Н. Масловым, Н.Н. Веригиным, Ю.К. Зарецким, М.Ю. Абелевым, З.Г. Тер-Мартиросяном, М.В. Малышевым, А.И. Ксенофонтовым и др. За рубежом фильтра¬ционная теория консолидации получила свое развитие в работах И. Рендулика, Н. Карилло, Р. Баррона, Р. Гибсона, Д. Тейлора, Г. Менделя, В. Мершана и др. Допущения, сделанные К. Терцаги, обусловили значительные расхождения между наблюдаемыми и расчетными значениями деформаций и временем уплотнения водонасыщенных глинистых грунтов.

Сложный характер процессов при уплотнении, зависящий не только от внешних факторов (величины нагрузки, интенсивности ее нарастания во времени и др.), но и природы прочности и деформируемости грунтов, вызвал необходимость введения дополнительных параметров в теорию фильтрационной консолидации.

Одномерная задача уплотнения с учетом ползучести скелета грунта и видов воды впервые была предложена Д. Тейлором и В. Мершаном, несколько позднее подобная задача рассматривалась М.Н. Гольдштейном [11, 49]. Распределение напряжений согласно этим исследованиям происходит не между скелетом и водой, а между свободной и связанной водой, в связи с чем происходит некоторое запаздывание возникновения порового давления. Появление порового давления означает начало развития фильтрационной консолидации глинистого грунта и по мере его уплотнения внешнее давление передается на связанную воду. При этом уплотнение грунтов не заканчивается, а переходит в фазу вторичной консолидации - ползучести скелета глинистого грунта при сохранении постоянной влажности.

Еще в 1950 году С.А. Роза при исследовании консолидации плотных глинистых грунтов предложил использовать понятие начального градиента напора, величина которого определяется аномальными свойствами поровой воды [37]. Только при превышении начального градиента напора может наблюдаться уплотнение за счет уменьшения влажности глинистого грунта и нарастания его плотности.

Развитие теории консолидации В.А. Флориным велось в направлении учета прочности скелета глинистого грунта, который представляет основную ее несущую систему, воспринимающую не только сжимающие и касательные, но и растягивающие напряжения [41]. Пока между минеральными частицами структурные связи не нарушены, уплотнение глинистого грунта незначительно, при разрушении структурных связей уплотнение может происходить за счет оттока воды из него при одновременном развитии деформаций ползучести скелета. В.А. Флорин указывал, что процесс уплотнения сопровождается сжатием и растворением защемленного газа в поровой воде и несущественным сжатием самой воды. Скорость уплотнения глинистых грунтов, согласно В.А. Флорину, зависит от скоростей развития деформаций ползучести скелета грунта и отжима воды. Если нарастание деформаций ползучести скелета происходит достаточно быстро, а проницаемость грунта незначительная, то уплотнение сопровождается повышением давлений в воде, снижение которых наблюдается только по мере уплотнения грунта. При этом, время консолидации зависит от мощности деформируемой зоны. При уменьшении скорости ползучести скелета грунта уплотнение может происходить без заметного повышения порового давления. В этом случае длительность консолидации не зависит от размеров уплотняемой зоны. При рассмотрении возможности фильтрации воды из глинистого грунта, В.А. Флорин полагал обязательным учет начального градиента напора [41].

В.А. Флорин рассмотрел также задачу уплотнения с учетом старения глинистого грунта за счет трансформации структурных связей, переменности во времени коэффициента фильтрации и начального градиента напора в процессе консолидации при условии линейной и нелинейной связи между напряжением и деформацией. Он впервые предложил для описания процесса ползучести водонасыщенного глинистого грунта использовать интегральные уравнения Больцмана - Вольтерра в интерпретации Г.Н. Маслова - Н.Х. Арутюняна, которые позволяют учесть нелинейную зависимость между напряжениями и деформациями, а также изменяемость свойств грунта во времени.

Дальнейшие экспериментальные и теоретические работы С.Р. Месчяна показали применимость этой теории в широком диапазоне исследованных типов глинистых грунтов нарушенного и ненарушенного сложения разной степени уплотненности и водонасыщения, в различных условиях [31].

Совместный учет ползучести скелета глинистого грунта и деформации воды был также осуществлен в работах М. Био, Тан Тьонг-Ки, П. Шукле [43, 44, 45, 48].

Весомый вклад в развитие теории консолидации сделан Н.А. Цытовичем и его учениками,

причем при рассмотрении процессов уплотнения глинистых грунтов большое внимание уделялось изучению физических аспектов этого вопроса [4, 18, 26]. Согласно исследованиям Н.А. Цытовича оценка консолидации должна производиться с учетом структурной прочности грунта, наличия связей, постепенно разрушающихся во времени, и начального градиента напора. При этом анализ деформируемости необходимо проводить на базе рассмотрения совместного протекания фильтрационного уплотнения, сжимаемости газосодержащей поровой воды и ползучести скелета грунта. В зависимости от степени литификации глинистых грунтов и их консистенции Н.А. Цытович классифицировал отложения с точки зрения возможности использования различных схем консолидации. Для грунтов, имеющих текучепластичную консистенцию, применима теория фильтрационной консолидации. Для отложений мягкопластичной консистенции обязателен учет начального градиента напора и структурной прочности. Для глинистых разностей тугопластичной и полутвердой консистенции необходим учет не только структурной прочности и начального градиента напора, но и ползучести скелета грунта. Чем плотнее грунт, тем большее значение имеют деформации ползучести. Глинистые грунты высокой степени литификации деформируются, в основном, за счет ползучести скелета.

Исследования М.Ю. Абелева показали, что при оценке консолидации слабых глинистых грунтов и даже илов обязательным является учет начального градиента напора и структурной прочности, особенно при исследовании глинистых отложений ненарушенного сложения [2, 3].

Дальнейшее развитие идей В.А. Флорина сделано в работах Ю.К. Зарецкого, который рассмотрел и математически обосновал возможность использования модели В.А. Флорина для описания поведения однофазных, двухфазных и многофазных глинистых грунтов при их уплотнении. При этом к однофазным или квазиоднофазным глинистым грунтам Ю.К. Зарецкий предлагает отнести те разности, при деформации которых соотношение фаз в единице объема не меняется или оно так мало, что им можно пренебречь. Так, например, если фильтрация поровой жидкости из глинистого водонасыщенного грунта невозможна, то последний рассматривается как однофазная среда, то же самое можно сказать о глинистом грунте, в порах которого содержится только воздух или лед. Для таких грунтов развитие деформаций во времени при постоянных внешних факторах является следствием проявления их реологических свойств [19]. Если водонасыщенные глинистые грунты рассматриваются как двухфазные, то следует учитывать, что каждая фаза (вода и скелет) по-разному сопротивляются действию нагрузки и в процессе деформирования предполагается отток воды. Ю.К.Зарецкий полагает, что разделение консолидации на первичную (за счет фильтрации воды) и вторичную (ползучесть скелета) являются неправомочным, оба процесса протекают одновременно. Эта же идея была ранее сформулирована В.А. Флориным.

В своих исследованиях Ю.К. Зарецкий показал, что коэффициент порового давления β может быть выражен через отношение

$$\beta = \frac{n_{акт}}{n}$$

В этом выражении $n_{акт}$ определяет активную пористость, отвечающую относительному объему подвижной влаги, которая передает давление; nакт можно получить из выражения:

$$n_{акт} = n(1 - \int_{h\min}^{h^*} \phi(h)dh)$$

где φ(h) - функция распределения объема пор по размерам; h_{min} и h* - диапазон размера пор, через которые возможно движение влаги под действием градиента напора в зависимости от величины порового давления.

Следовательно, коэффициент β является некоторой инвариантной характеристикой, зависящей от сложения глинистого грунта [20].

Н.Н. Маслов, отмечая сложность процесса консолидации, пришел к выводу, что учет всех многообразных факторов в математической форме практически невозможен. Теория фильтрационной консолидации, по его мнению, имеет весьма ограниченное применение и может быть использована лишь для глинистых грунтов нарушенного сложения текучей и текучепластичной консистенции. Для отложений ненарушенного сложения различных консистенций и особенно тугопластичных, полутвердых и твердых теория фильтрационной консолидации не дает удовлетворительного совпадения с натурными наблюдениями. Опыт строительства и лабораторные исследования свидетельствуют, что факторами, тормозящими процесс уплотнения, являются: структурные связи (структурное сцепление по Н.Н. Маслову), вязкость и низкая водопроницаемость глинистых грунтов. При деформировании водонасыщенного глинистого грунта всегда имеет место конкурентная борьба между сопротивляемостью прохождению через толщу грунта воды, отжимаемой из него давлением (фактор коэффициента фильтрации), и сопротивляемостью деформации уплотнения за счет структурных связей (фактор вязкости). Под фактором вязкости понимается сопротивление, препятствующее перемещению частиц в грунте [28].

Для определения скорости уплотнения глинистых грунтов Н.Н. Маслов предлагает использовать теорию плотности-влажности с учетом особой роли показателя консолидации [27]. При этом время консолидации Tw толщи глинистых грунтов в основании сооружения мощностью H до заданного значения плотности-влажности может быть определено из результатов экспериментальных исследований того же глинистого грунта, имеющего мощность h и время уплотнения tw до той же величины влажности

$$T_w = t_w \left(\frac{H}{h} \right)^n ,$$

где п - показатель консолидации, отражающий условия уплотнения, которые определяются составом грунта, его консистенцией и свойствами.

На основании экспериментальных данных Н.Н. Масловым было установлено, что показатель консолидации п может быть определен по уравнению:

$$n = a_\alpha J_p + 2_\alpha ,$$

где aα и bα,- коэффициенты, зависящие от консистенции грунта и определяемые из графика на рис.1, J_p- число пластичности. График на рис. 1 отражает результаты опытов, проведенных в широком диапазоне давлений от 0,05 до 1 МПа [29, 30]. Приближение показателя консолидации n к двум означает возможность описания поведения глинистых грунтов при уплотнении согласно теории фильтрационной консолидации, для плотных грунтов - п близок к нулю.

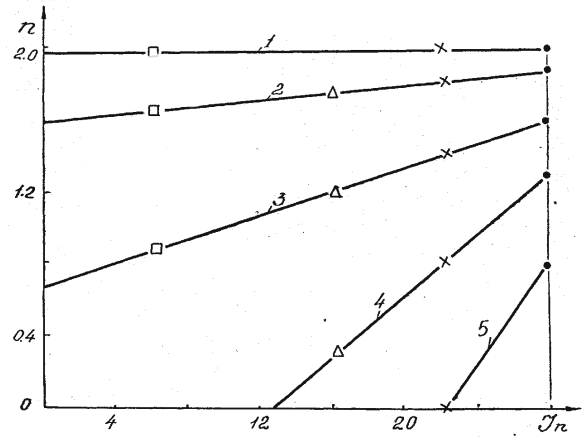


Рис. 1. Зависимость показателя консолидации (n) от числа пластичности (Jp) и консистенции: 1 –текучая; 2 – мягкопластичная; 3 – тугопластичная; 4 – полутвердая; 5 – твердая.

Практически на новой основе рассматривается процесс уплотнения глинистых грунтов А.И. Ксенофонтовым, который предложил релаксационную теорию консолидации, где расчетной моделью является линейно-деформируемая вязкая среда с переменными характеристиками вязкости. Основными физическими предпосылками в данной теории являются следующие: глинистый грунт рассматривается как однофазная среда, скелет которой характеризуется вязким сопротивлением структурных связей, причем в значение вязкости скелета входит и поровая вода. В общем случае характеристики вязкости принимаются зависящими от координат и времени. Консолидация рассматривается в пределах давлений, где возможно применение теории линейно-деформируемой среды. При выводе уравнений консолидации используются зависимости механики сплошной среды. Теория уплотнения А.И. Ксенофонтова служит примером возможности использования реологических моделей для решения задач консолидации водонасыщенных глинистых грунтов.

Анализ возможности применения фильтрационной консолидации привел А.И. Ксенофонтова к важному выводу: глинистые грунты, имеющие коэффициент фильтрации менее 10-3 м/сутки, нельзя рассматривать как двухфазные системы, поскольку мощность зоны, где возможна фильтрация воды из грунта, снижается до нуля [23, 24, 25].

Аналогичные выводы были получены А.Л. Гольдиным, который показал, что при коэффициенте фильтрации $10^{-3} \div 10^{-4}$ м/сутки отток поровой жидкости из глинистого грунта не наблюдается [10].

На основании обзора физических концепций развития теории консолидации можно сделать следующие выводы. Суммарная величина деформации глинистых грунтов при консолидации складывается из двух составляющих, одна из которых является результатом протекания деформаций ползучести при переменной, постепенно уменьшающейся влажности глинистого грунта за счет фильтрации воды под действием градиента напора, вторая составляющая характеризует деформации ползучести глинистого грунта при постоянной влажности.

При оценке значения первой составляющей деформаций необходимо, прежде всего, решить вопрос о характере перераспределения внешнего давления между скелетом грунта и поровой водой: чем бо̀льшая часть внешнего давления передается на воду, тем менее интенсивно будут протекать деформации ползучести скелета, тем менее вероятна перестройка и создание более устойчивого сложения глинистого грунта по отношению к внешнему давлению. Малые значения давлений в поровой воде означают практическое отсутствие ее оттока из грунта, когда развитие деформаций происходит за счет ползучести скелета и, следовательно, общая величина деформа-

ций, будет определяться лишь второй составляющей.

2. Понятие и оценка градиента начала фильтрационной консолидации глинистых грунтов

Впервые понятие о начальном градиенте было предложено Н.П. Пузыревским, хотя значительно раньше в 1898 году была опубликована работа В.Кинга о зависимости скорости фильтрации от действующего градиента напора по закону, отличному от закона Дарси. В 1935 году К.П. Лундин наблюдал явление начального градиента при фильтрации воды через торф и определил, что его величина растет с увеличением плотности торфа.

Опыты Б.В. Дерягина и Н.А. Крылова по изучению движения воды через пористые фильтры с размером пор 0,05 мкм, изготовленные из гидрофильного материала показали, что при малых давлениях движение воды не наблюдалось [17]. Только после преодоления некоторого порогового значения гидравлического градиента начиналось движение воды через фильтр. Подобные результаты были получены Б.Ф. Рельтовым для плотных глин. Весьма обстоятельные исследования аномалий фильтрации через плотные глинистые грунты были проведены С.А. Роза, которые подтвердили наличие начальных градиентов напора (или градиентов порога фильтрации) для глинистых грунтов [36]. С.А.Роза показал, что начальный градиент напора зависит от плотности и влажности глинистых грунтов. Все исследования С.А. Роза по определению начального градиента напора относились к маловлажным уплотненным глинистым грунтам. Им же было предложено ввести начальный градиент напора в расчет осадки, изменяющейся во времени, для сооружений, возводимых на плотных водонасыщенных глинистых грунтах.

Работы М.Ю. Абелева доказали существование начального градиента в малоплотных глинистых грунтах при коэффициентах пористости более двух [1, 2, 3, 33].

Природа начального градиента довольно сложна и большинством исследователей объясняется особыми свойствами воды, находящейся в поле действия тонкодисперсных частиц и ионов [4, 5, 6, 7, 17, 32]. Однако такая точка зрения разделяется не всеми исследователями. Отклонение фильтрации от закона Дарси при сравнительно небольших градиентах напора объясняется закупоркой пор коллоидной фракцией, влиянием пузырьков защемленного воздуха, электровязкостным эффектом, развитием колоний бактерий и др. [9, 11, 35].

Общий характер изменения скорости фильтрации от градиента напора может быть представлен кривой, на которой выделяются три области (рис. 2а). Первая область - скорость фильтрации близка к нулю, во второй наблюдается нелинейная зависимость между скоростью фильтрации (υ) и градиентом напора (J) вида:

$$\upsilon = K'(J - J_n)^n,$$

где n - величина, изменяющаяся от 1,5 до 2,0; K' - коэффициент фильтрации, зависящий от действующего градиента напора; Jn - начальный градиент напора.

Третья область определяет линейную зависимость между υ и J вида:

$$\upsilon = K''(J - J'_{=}) \ ,$$

где Jн - градиент напора, соответствующий началу фильтрации при условии линейной зависимости между υ и J, K'' - коэффициент фильтрации.

В соответствии с представлениями П.А. Ребиндера все жидкости по форме зависимости их вязкости от напряжения могут быть разделены на истинно-вязкие и структурированные. Для истинно-вязких или ньютоновских жидкостей характерно постоянство вязкости при всех значениях напряжений. У структурированных (неньютоновских) жидкостей имеется три области напряжений с различной вязкостью: первая - сохранение структуры жидкости с максимальной вязкостью, третья - разрушение ее структуры, когда вязкость становится минимальной. В промежуточной (второй) зоне вязкость меняется от максимального до минимального значения (рис. 2 б).

Экспериментальные исследования В.В. Дерягина и сотрудников, а также СВ. Нерпина и Н.Ф. Бондаренко показали, что вода, как и другие жидкости с водородными связями, является типичной неньютоновской жидкостью, обладающей сопротивлением сдвигу.

Н.Ф.Бондаренко провел специальные исследования для проверки роли межмолекулярных водородных связей при течении различных жидкостей через капилляры (табл.1). При этом были рассмотрены две группы жидкостей - первая из них не имела Н-связей (ацетон, четыреххлористый углерод, толуол), а вторая - характеризовалась их наличием (вода и спирты). Полученные результаты служат подтверждением особой роли Н-связей при течении жидкостей в тонких порах и капиллярах. При наличии таких связей жидкость должна рассматриваться как неньютоновская (см. рис.2).

Аналогичные результаты были получены при изучении фильтрации жидкостей без водородных связей через глинистые грунты. Ни в од-

ном из образцов не было зафиксировано наличие начального градиента напора при фильтрации толуола и ацетона через грунт.

По данным исследований Р.С. Зиангирова фильтрационная консолидация глины, поры которой были заполнены керосином, заканчивалась в течение нескольких десятков секунд, тогда как для водонасыщенных глинистых грунтов этот же процесс продолжался около двух часов [21].

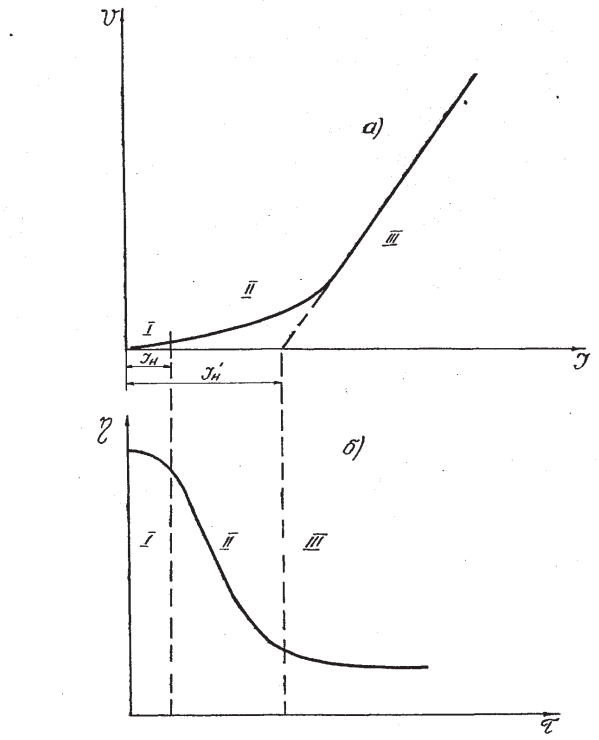


Рис. 2. Зависимости: скорости фильтрации воды (v) от действующего градиента напора (J) в глинистом грунте (а) и изменения вязкости воды (η) от действующего напряжения (τ).

Начальный градиент напора в глинистых грунтах зависит от гранулометрического и минерального состава, их влажности, плотности, а также температуры. Все перечисленные факторы влияют на удельную поверхность грунтов, характер их порового пространства и, как следствие, на структуру воды и степень ее подвижности.

Поровая вода в глинистых грунтах в подавляющем большинстве случаев представляет собой раствор электролитов, имеющих различную концентрацию (от пресных до высокоминерализованных), а ионы вносят изменения в структуру воды.

Ниже приводятся результаты экспериментальных исследований проявления начального градиента напора в глинистых грунтах в зависимости от гранулометрического и минерального состава, их плотности, а также температуры воды и концентрации различных электролитов. Начальный градиент напора возрастает при увеличении содержания глинистой фракции в грунте (рис.3). Основные показатели гранулометрического состава и физических свойств исследованных разностей приведены в табл. 2.

Наиболее отчетливо увеличение начального градиента напора с ростом плотности проявляется в глинах, поскольку именно содержание глинистой фракции определяет формирование слоя воды с измененной структурой (рис. 4). Наиболее тонкопористые монтмориллонитовые глины обнаруживают тенденцию к проявлению начального градиента даже в области достаточно высоких температур (до 50°С), для самых грубодисперсных - каолинитовых глин - характерны наиболее низкие значения начальных градиентов напора, которые при повышении температуры до 30°С исчезают (табл.3).

Таблица 1

Значения предельного напряжения сдвигу различных жидкостей при их течении в стеклянных капиллярах (марка стекла - кварц) [6]).

Наименование жидкости	Радиус капилляра, мкм	Температура Т, °С	Начальный градиент напора, Jн	Предельное напряжение сдвига воды то $\cdot 10^{-3}$, МПа
Ацетон Хлороформ	110,5 110,5	21,5 22,0	0 0	0 0
Четыреххлористый углерод Толуол	105,0 105,0	20,0 20,5	0 0	0 0
Вода Спирт этиловый	105,0 109,25	20,0 20,0	$1,0 \cdot 10^{-2}$ $2,6 \cdot 10^{-2}$	5,2 11,0

Таблица 2

Гранулометрический состав и физические свойства глинистых грунтов (позднеледниковые отложения)

№ пп	Наименование грунта	Содержание фракций,			Влажность, %	Плотность, т/м^3	Коэффициент пористости	Число-пластичности, %
		песчаная	пылеватая	глинистая				
1.	Супесь тяжелая пылеватая	5	87	8	25	1,75	0,91	5
2.	Супесь легкая пылеватая	10	85	5	20	1,74	0,06	3
3.	Суглинок легкий пылеватый	4	84	12	27	1,76	0,95	8
4,	Суглинок средний пылеватый	4	80	16	29	1,76	0,95	10
5.	Суглинок тяжелый пылеватый	7	68	25	34	1,79	1,01	14
6.	Глина пылеватая	3	66	31	37	1,83	1,03	16
7.	То же	2	61	37	35	1,84	1,00	18
Примечание: Минеральный состав в глинистой фракции преимущественно гидрослюдистый.								

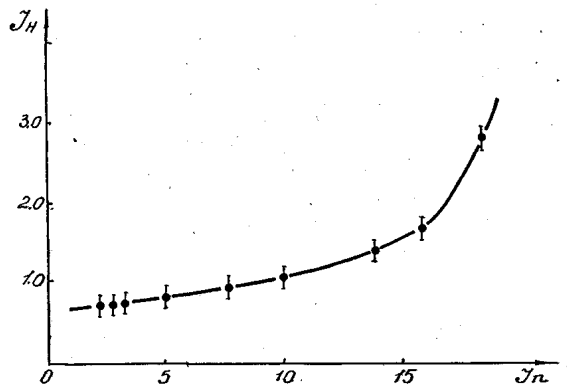


Рис 3. Зависимость начального градиента напора (Jн) от числа пластичности (Jп).

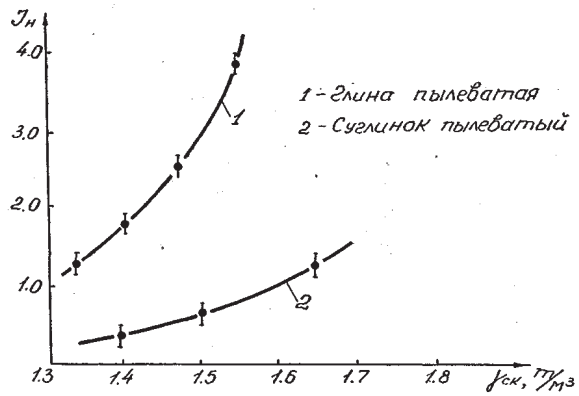


Рис 4. Зависимость начального градиента напора (Jн) от плотности глинистого грунта (γск).

В полном соответствии с полученными результатами (см. табл. 3) находятся экспериментальные данные по определению предельного напряжения сдвигу воды при ее фильтрации в капиллярах при изменении температуры от 15 до 50°С (табл. 4).

Однако представление о неподвижности слоя воды, находящегося в порах глинистого грунта под влиянием действия поверхностных сил, при значениях разности напоров, отвечающих начальному градиенту напора и меньших его, является условным. Принимая во внимание тепловое движение молекул воды, вызывающее их перемещение из одного положения равновесия в другое, можно предполагать, что разность напоров как дополнительная сила может усилить интенсивность движения молекул воды. В этом случае возникает диффузионный поток в виде направленного перемещения отдельных молекул в сторону падения напоров. По мере того, как разность напоров увеличивается, такое движение становится все более интенсивным и на определенном этапе

Таблица 3

Начальный градиент напора для различных глинистых грунтов в зависимости от температуры

Наименование грунта	Влажность, %	Коэф.пористости	Число-пластичности, %	Начальный градиентпри температуре				
				20°С	30°С	40°С	50°С	60°С
Гидрослюдистая глина	45	0,89	21	3,2	2,5	1	0	0
	40	0,74		3,5	2,9	2	.0	0
	38	0,68		3,6	3,10	2,3	1,0	-
Монтмориллонитовая глина	120	2,95	54	5,0	3,0	1,5	-	-
	97	2,23		8,8	6,7	5,0	1,5	-
	82	1,99 t		10,2	8,5	4,8	3,0	0
Каолинитовая глина	34	0,71	16	2,2	-	-	-	-
	31	0,65		2,0	-	-	-	-
	29	0,58		2,4	1,0	-	-	-

Таблица 4

Значения предельного напряжения сдвига для воды

Радиус капилляра, мкм	Марка стекла капилляра	то , Па при температуре				
		15°С	20°С	30°С	40°С	50°С
51	Стекло 16	11,5	9,5	80	3,5	1,0
265	Стекло 16	-	7,0	4,0	3,2	-
94	Кварц-стекло	-	8,6	-	-	-
103,5	Кварц-стекло	-	7,6	6,4	4,9	-
165	Кварц-стекло	-	8,9	6,9	6,0	1,6
Среднее значение		11,5	6,1	5,8	4,5	1,3

начинается механическое движение воды при условии минимального разрушения водородных связей (бингамовская вязкость) и при достаточно большой разности напоров фильтрация воды с максимально разрушенными структурными связями - ньютоновская жидкость. Следовательно, движение воды через глинистый грунт происходит при любых градиентах напора. Однако, при малых его значениях диффузионным потоком можно пренебречь.

В практике анализа и расчетов консолидации глинистых грунтов пользуются только начальным градиентом напора, величина которого определяется чаще всего экспериментальным путем по результатам фильтрационных испытаний, реже используется расчетный способ. Теоретические предпосылки для определения этого показателя как одним, так и другим способом являются одинаковыми. Одним из главных положений для получения начального градиента напора служит сохранение жесткости и неподвижности скелета грунта. Давление обязательно передается столбом воды. Следовательно, начальный градиент напора получают при ненарушенных структурных связях в грунте или при любой заранее заданной и постоянной плотности-влажности.

В то же время фильтрационная консолидация может иметь место только при условии разрушения структурных связей в грунте, когда поровое давление в процессе перераспределения внешней нагрузки между скелетом и водой достигнет определенной величины. Следует также учитывать, что для структурированных жидкостей существуют представления о коэффициентах вязкости при действии нормальных и касательных напряжений. Между этими коэф-

фициентами имеется определенное соотношение $\eta^* = 3\eta$, где η^* и η - соответственно вязкости воды при действии нормальных и касательных напряжений. Следует также иметь в виду, что существует принципиальная разница между передачей внешнего давления столбом воды и с помощью штампа (фундамента, земляных сооружений и т.п.). На это отличие было указано еще П. Рендуликом. На рис. 5, 6 показаны результаты динамики развития давления в поровой воде при передаче внешнего давления через водяной и жесткий металлический штампы. Давление от столба воды полностью передается на поровую воду в глинистых грунтах малой степени литификации (прямая проходит через начало координат под углом 45° на рис. 5). Существенные отклонения от 45° имеет прямая на рис. 6, которая характеризует развитие давления в поровой воде в грунтах средней степени литификации. В глинистых грунтах высокой степени литификации давления в поровой воде имеют минимальные значения и очевидно представляют практический интерес только при действии высоких напоров воды. Если при создании давления столбом воды (водяным штампом) во всех исследованных типах грунтов регистрируется давление в поровой воде, то при передаче давлений с помощью жесткого штампа даже в грунтах малой степени литификации давление в поровой воде развивается постепенно и максимума достигает при определенной величине внешнего давления в зависимости от гранулометрического типа грунта и степени его уплотненности. При этом наибольшие давления в поровой воде составляют лишь 30-35% от величины внешнего давления.

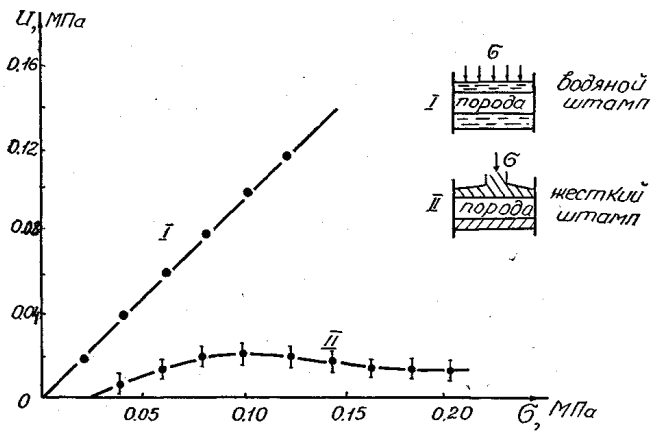


Рис 5. Характер развития давления в поровой воде глинистого грунта (u) при передаче давлениями (σ) водяным (I) и жестким (II) штампами (глина пылеватая малой степени литификации Mc = 41%; W = 42%; γ = 1,80 т/м³)

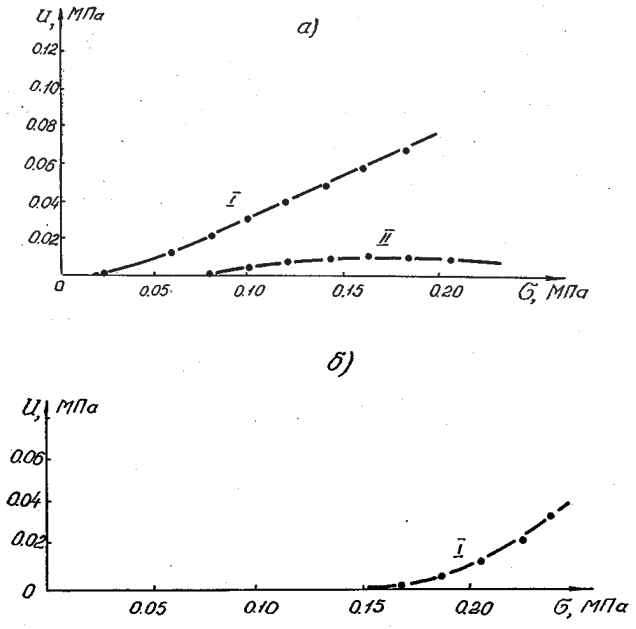


Рис 6. Характер развития давления в поровой воде глинистого грунта (u) при передаче давления (σ) водяным (I) и жестким (II) штампами.
Глинистые грунты: а – средней степени литификации (суглинок тяжелый пылеватый Mc = 22%; W = 20%; γ = 1,98 т/м³); б – высокой степени литификации (глина пылеватая Mc = 38%; W = 22%; γ = 2,11 т/м³).

При создании давлений жестким штампом в определенном интервале, зависящем от степени литификации и глинистости грунта, его деформация может протекать без ощутимого повышения давления в поровой воде за счет ползучести скелета, в ходе которой происходит так называемое «приспособление» грунта к новому напряженному состоянию, в связи с чем возможность интенсивного роста давления в поровой воде на начальных этапах нагружения грунта уменьшается. Следовательно, фильтрационная консолидация может протекать только при достижении определенных градиентов напора, отличных от градиентов, вызывающих фильтрацию воды при неподвижности скелета грунта.

Исследования показывают, что при испытании двух образцов - близнецов, один из которых уплотняется при возможности оттока воды, а другой - без оттока, их сжатие до определенного давления протекает с одинаковой интенсивностью. Чем выше глинистость грунта, тем больше давление, при котором наблюдается разница в уплотнении при возможности и отсутствии фильтрации воды из образца (рис. 7). Расхождение в характере сжимаемости глинистых грунтов при открытой и закрытой системах испытания дает возможность установить давление, при котором начинается фильтрационная консолида-

ция и которое может быть названо давлением начала фильтрационной консолидации σнфк. Эта величина при прочих равных условиях зависит от содержания глинистой фракции и плотности грунтов (рис. 8).

Если замерить поровое давление при σнфк, то можно определить градиент напора, отвечающий началу фильтрационной консолидации грунтов ($J_{нфк}$). Для водонасыщенных пылеватых глинистых отложений малой степени литификации была получена зависимость между градиентом начала фильтрационной консолидации $J_{нфк}$ и содержанием глинистой фракции в грунте Мс (в относительных единицах):

$$J_{нфк} = 100\sqrt{Mc}$$

Данное уравнение имеет вполне определенный физический смысл: если глинистая фракция отсутствует, то $J_{нфк}$ равен нулю. Эта эмпирическая формула была проверена для различного типа глинистых грунтов. При исследовании глинистых отложений с повышенным содержанием песчаной фракции изменяется значение первого сомножителя:

$$J_{нфк} = 50 \div 70\sqrt{Mc}$$

Для глинистых грунтов средней степени литификации величина сомножителя соответственно возрастает. По мере роста степени уплотнения все меньше сказывается влияние гранулометрического состава грунтов и, в первую очередь, соотношения между содержанием пылеватой и песчаной фракций. Для глинистых грунтов средней степени литификации, таких как моренные суглинки и супеси, этот сомножитель равен 120, для разуплотненных нижнекембрийских синих глин верхней зоны он повышается до 150.

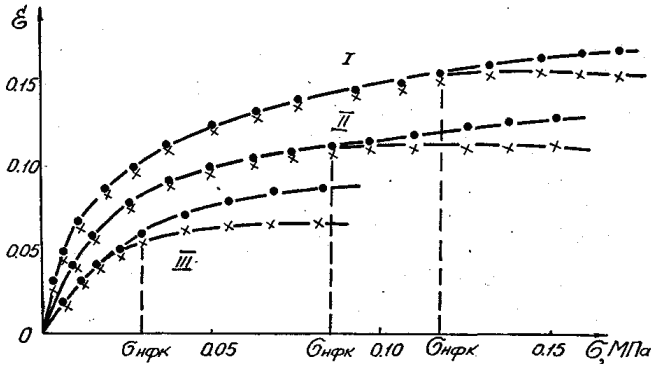


Рис 7. Характер развития относительных деформаций уплотнения (ε) глинистых грунтов в зависимости от действующего давления (σ) при закрытой (x) и открытой (·) системах испытания. Грунты малой степени литификации: I – супесь тяжелая пылеватая; II – суглинок средний; III – глина пылеватая (одномерное уплотнение).

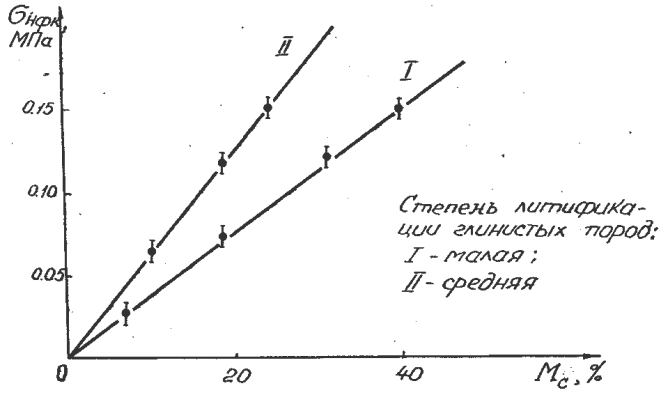


Рис 8. Зависимость давления начала фильтрационной консолидации (σнфк) от содержания глинистой фракции (Мс) в грунтах различной степени литификации.

Таким образом, величина градиента начала фильтрационной консолидации согласно опытным данным имеет общий вид [16].

$$J_{нфк} = A\sqrt{Mc}$$

Коэффициент А зависит от типа глинистого грунта и степени его литификации (табл. 5).Нарушение сложения снижает коэффициент А в среднем на 20%.

Таблица 5

Значения коэффициента А для определения градиента начала фильтрационной консолидации

Степень литификации грунтов	Разности грунтов	
	пылеватые	непылеватые
Малая	70-100	50-70
Средняя	120-150	100-120

В глинистых грунтах высокой степени литификации определение градиента начала фильтрационной консолидации не имеет практического значения.

Обсуждаемые результаты испытаний относятся к одномерной задаче уплотнения при возможности двустороннего оттока воды из грунта. Сравнение начального градиента напора с градиентом начала фильтрационной консолидации приведены в табл. 6.

Как следует из табл. 6 градиент начала фильтрационной консолидации на порядок и более выше, чем градиент фильтрации. Такое различие является следствием особенностей распределения напряжений между скелетом грунта и поровой водой при передаче внешнего давления с помощью столба воды и штампа.

Необходимо отметить, что факторы, влияю-

Таблица 6

Начальные градиенты напора фильтрации и фильтрационной консолидации

Степень литификации	Гранулометрический тип грунта	Начальный градиент напора		Отношение $J_{нфк}/J_н$
		Фильтрации $J_н$	фильтрационной консолидации $J_{нфк}$	
Малая	Пылеватые:			
	супеси	1	25	25
	суглинки	2	35	17
	глины	6	80	12,7
	Непылеватые:			
	супеси	0,5	19	38
	суглинки	1,0	28	28
	глины	4,0	42	10,5
Средняя	Супеси	2,0	30	15
	Суглинки	3,0	48	16
	Глины	7,0	98	12,6

щие на величину начального градиента напорной фильтрации, такие как гранулометрический и минеральный состав грунта, степень его уплотнения, являются определяющими и при оценке градиента начала фильтрационной консолидации. Об этом свидетельствуют полученные эмпирические формулы для расчета Jнфк .

Все приведенные выше экспериментальные исследования проводились на глинистых грунтах, имеющих преимущественно гидрослюдистый состав. Небольшие добавки монтмориллонита значительно повышают градиент начала фильтрационной консолидации, а при наличии в составе глинистой фракции только монтмориллонита его значения повышаются более, чем в пять раз (табл. 7).

Таблица 7

Градиент начала фильтрационной консолидации в зависимости от минерального состава глинистой фракции

Наименование грунта	Значения $J_{нфк}$ от состава глинистой фракции		
	гидрослюда	гидрослюда + 5% монтмориллонита'	монтмориллонит
Суглинок	35	60	105
Глина	80	120	440

В литературе практически отсутствуют результаты исследований, имеющие отношение к дифференциации градиентов, используемых при оценке фильтрации воды через глинистые грунты и фильтрационной консолидации. Исключение составляют эксперименты А.И. Котова, который изучал динамику развития порового давления в процессе фильтрационной консолидации глинистых грунтов [22]. В этих опытах отмечалось, что падение порового давления происходит до некоторых остаточных значений (табл. 8). Величина остаточных давлений в воде позволяет рассчитать те градиенты, при которых прекращался отток воды из образца при уплотнении. А.И.Котов сравнивал начальный градиент напора для легких суглинков, определенный путем фильтрации воды через образец под действием давления столба воды, со значением градиента напора, полученного путем расчетов по значениям остаточного порового давления. Первый из них оказался равным 0,2-0,3, величина второго градиента, рассчитанного по прекращению фильтрации при уплотнении, была значительно выше (см. табл. 8).

Приведенные в табл. 8 результаты согласуются с нашими данными, которые были получены при проведении экспериментов по определению Jнфк (табл. 9).

3. Исследование динамики развития давления в поровой воде грунтов при консолидации

В соответствии с моделями процесса консолидации, предложенными К. Терцаги, Н.М. Герсевановыми В.А. Флориным, возникновение

Таблица 8

Значения остаточных поровых давлений в глинистых грунтах [22]

Тип грунта	Суглинок легкий	Суглинок тяжелый	Глина пылеватая	Глина тяжелая
Содержание глин. фракций<0,002 мм, %	12,0	28	36	63
Максимальная величина остаточного порового давления, МПа	0,003	0,026	0,006	0,012
Градиент напора, при котором прекращалась фильтрационной консолидация	15	30	30	60

Таблица 9

Сравнительная оценка градиентов напора, определяющих возможность фильтрационной консолидации

Градиент напора	Типы грунтов			
	суглинок легкий	суглинок тяжелый	глина пылеватая	глина тяжелая
Градиент напора начала фильтрационной консолидации $J_{нфк} = A\sqrt{Mc}$	17	27	42	79
Величина градиента напора по А.И.Котову	15	30	30	60

и развитие порового давления в водонасыщенных глинистых грунтах может быть охарактеризовано кривыми на рис. 9. Согласно модели В.А.Флорина учет деформаций ползучести скелета, протекающих одновременно с фильтрационной консолидацией, снижает первоначальное значение порового давления, которое составляет лишь часть внешнего давления, постепенно рассеиваясь во времени до нулевого значения.

Введение представлений о структурной прочности глинистых грунтов, наличии пузырьков воздуха в поровой воде и начального градиента напорной фильтрации привело к тому, что развитие порового давления рассматривается как процесс, характеризующийся постепенным повышением давления в поровой воде и зависящий от прочности структурных связей. В настоящее время такой подход к оценке динамики порового давления во времени, предложенный школой Н.А. Цытовича, является основным при анализе процесса консолидации глинистых грунтов. При этом в глинистых грунтах максимальная величина порового давления соответствует внешнему давлению за вычетом значения структурной прочности грунтов. Снижение порового давления во времени может происходить как до нуля, так и до некоторых остаточных значений (рис. 10).

Величина порового давления в ходе консолидации зависит от содержания газа в жидкой фазе грунта. Наличие в ней 5% защемленного воздуха (степень насыщения равна 0,95) может снизить поровое давление на 50% по сравнению с полностью водонасыщенным глинистым грунтом. При степени водонасыщения меньше 0,8 давлением в поровой воде можно пренебречь, процесс уплотнения в этом случае определяется в основном явлениями ползучести скелета [33, 40].

Величина порового давления и динамика его развития зависят от: 1) степени уплотненности

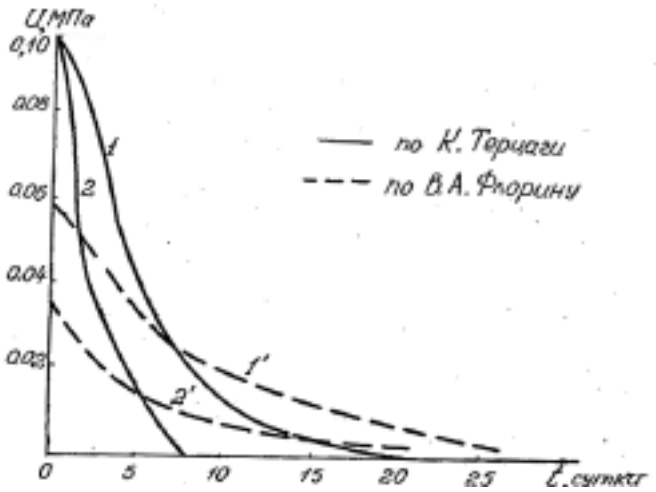


Рис 9. Изменение порового давления (u) во времени (t) в зависимости от мощности слоя глинистого грунта (h1 и h2); h1 – кривые 1 и 1'; h2 – кривые 2 и 2' ($\frac{h_1^2}{h_2^2} = 3$)

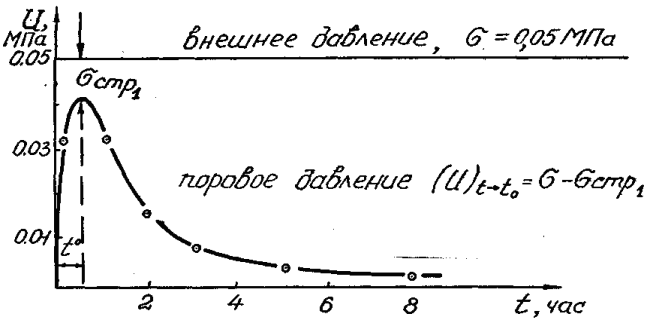


Рис 10. Характер изменения порового давления (u) во времени (t) в глинистом грунте (по Н.А. Цытовичу).

глинистого грунта, его структурной прочности, минерального и гранулометрического состава; 2) величины внешнего давления, способа его передачи и скорости приложения; 3) характера работы грунта под действием нагрузки (без возможности или при возможности бокового расширения грунта).

Наши экспериментальные исследования динамики развития давления в поровой воде проводились на глинистых грунтах малой и средней степени литификации с различным содержанием глинистой фракции (от супесей до тяжелых глин) как естественного, так и нарушенного сложений. Наблюдения за ростом давлений в поровой воде велись при условии передачи внешней нагрузки посредством водяного и жесткого штампов малыми ступенями, а также по типу "ударного" нагружения. Измерения порового давления выполнялись иглодатчиками системы Санкт-Петербургского государственного политехнического университета, в которых тонкая медицинская игла соединена с капилляром, заполненным дистиллированной водой. Величину давления в поровой воде определяют по изменению объема воздушного пузырька в запаянном капилляре. Для увеличения поверхности соприкосновения открытой части иглы (ее кончика) с глинистым грунтом произведена перфорация конца иглы. В этом случае замер давлений производится в некоторой полости внутри образца. Малые размеры этой полости по сравнению с размерами образца, недеформируемость и хорошая проницаемость воспринимающей части зонда, которая обеспечивает беспрепятственный переход воды из полости зонда в поры грунта и обратно, позволяют предполагать, что давление в капиллярной трубке соответствует давлению в поровой воде. Следует отметить, что для измерения показаний датчика требуются ничтожные количества воды, измеряемые $1 \cdot 10^{-4} - 2 \cdot 10^{-4} A<^3$, потери таких объемов воды совершенно не отражаются на изменении влажности и плотности глинистого грунта.

М.Ю. Абелев, проводивший исследования порового давления с помощью датчиков указанной системы, отмечал, что максимальное поровое давление, которое возникало после разрушения структурных связей, составляло 0,2-0,3 от действующего давления. Сомнения М.Ю. Абелева в полученных результатах были вызваны тем, что эти данные не согласовывались с закономерностями развития порового давления по теории фильтрационной консолидации. Небольшие величины давлений в поровой воде были объяснены им несовершенством применяемых датчиков. Однако, если иглодатчики фиксируют заниженные величины поровых давлений, то при любом способе передачи внешней нагрузки эта особенность датчиков должна сохраняться. На самом деле, иглодатчики при создании нагрузки с помощью водяного штампа показывают, что давления в поровой воде могут быть равны величине внешнего давления, причем характер его развития определяется гранулометрическим типом и плотностью грунта (рис. 11). Как уже указывалось ранее, степень структурированности воды возрастает с увеличением содержания глинистой фракции [15,16]. Следовательно, можно предполагать, что в более тонкодисперсных глинистых грунтах развитие давления в поровой воде происходит значительно медленнее, чем в отложениях более легких по своему гранулометрическому составу, что и подтверждается результатами экс-

периментальных исследований (см. рис. 11). По мере увеличения внешнего давления инерционность его передачи на поровую воду существенно уменьшается. Эти данные свидетельствуют о релаксационной способности воды в глинистом грунте, что увязывается с представлениями о поведении структурированных жидкостей при повышении давления и длительности его действия.

Динамика развития давления в поровой воде при передаче внешней нагрузки через жесткий штамп в глинистых грунтах малой и средней степени литификации показана на рис. 12 и 13, которые фиксируют максимальные значения поровых давлений. Наибольшие значения поровых давлений характерны при σ > 0,1 МПа для глинистых грунтов малой степени литификации и σ > 0,2 МПа для глинистых грунтов средней степени литификации. При этом отмечается ряд особенностей, имеющих определенный теоретический и практический интерес. Максимальные значения поровых давлений прослеживаются в более легких разностях глинистых грунтов. С увеличением содержания тонкодисперсных фракций величина поровых давлений уменьшается.

В глинистых отложениях средней степени литификации максимальные значения поровых давлений в грунтах с различным содержанием тонкодисперсной фракции мало отличаются между собой. Однако общая тенденция роста порового давления, определяющего начало фильтрационной консолидации сохраняется такой же, как и в грунтах мало уплотненных.

Если проследить развитие порового давления во времени для глинистых грунтов при действующем градиенте большем, чем градиент начала фильтрационной консолидации, то можно отметить следующие особенности этого процесса. Поровое давление развивается во времени быстрее в супесях, медленнее - в суглинках. Уменьшение величины порового давления во времени также зависит от содержания глинистой фракции - плавный характер снижения порового давления в течение трех суток отмечен в более тяжелых разностях глинистых грунтов (рис. 14). Во всех исследованных грунтах поровое давление уменьшалось не до нуля, а до некоторого постоянного значения, величина которого зависит от глинистости грунта. Особый интерес вызывает характер изменения порового давления в зависимости от уплотненности глинистого грунта. В этом случае важно установить величину плотности (влажности) грунта, при которой поровое давление снижается до значения, когда возможность фильтрационной консолидации исключается. На рис. 15 показана динамика развития порового давления в озерно-ледниковых глинах нарушенного сложения различной плотности. Анализ кривых U=f(σ) на рис. 15 и 16 показывает, что при влажности несколько большей, чем влажность на пределе раскатывания, поровое давление снижается до минимальных значений, представляющих лишь теоретический интерес. Как и следовало ожидать, более тонкодисперсные грунты - послеледниковые глины обнаруживают тенденцию к резкому снижению порового давления при достаточно высоком значении влажности, большем, чем влажность на пределе раскатывания (см. рис. 15, кривая 3). Полученные данные

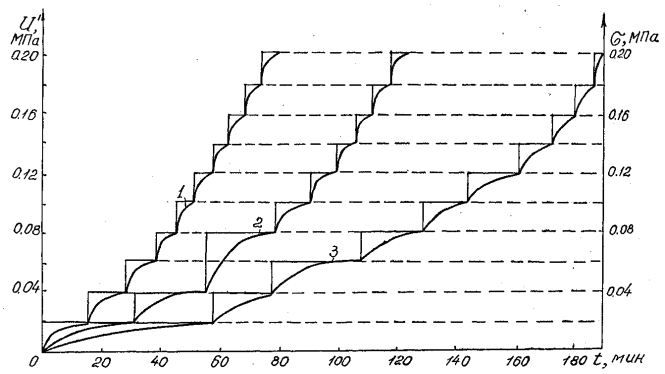


Рис 11. Развитие давления в поровой воде (u) во времени (t) при передаче внешнего давления (σ) через водяной штамп в грунтах малой степени литификации

1- супесь тяжелая пылеватая (Мс = 8%; W = 28%; γ = 1,89 т/м³)
2 – суглинок средний пылеватый (Мс = 16%; W = 32%; γ = 1,84 т/м³)
3 – глина пылеватая (Мс = 44%; W = 40%; γ = 1,82 т/м³)

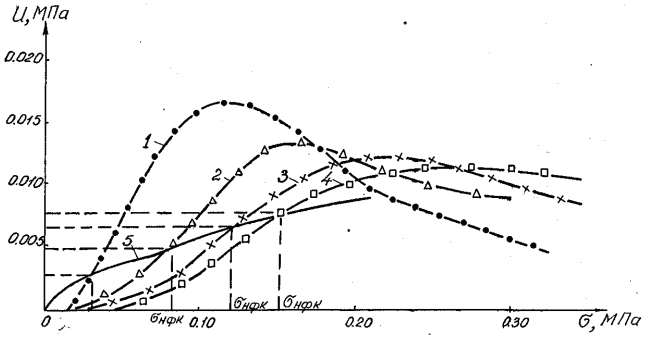


Рис 12. Развитие порового давления (u) в зависимости от действующего давления (б) в глинистых грунтах малой степени литификации

1 – Мс = 8%; W = 28%; γ = 1,89 т/м³; 2 - Мс = 25%; W = 33%; γ = 1,86 т/м³; 3 – Мс = 44%; W = 39%; γ = 1,82 т/м³; 4 - Мс = 64%; W = 48%; γ = 1,76 т/м³ 5 – зависимость σнфк от содержания глинистой фракции в грунте

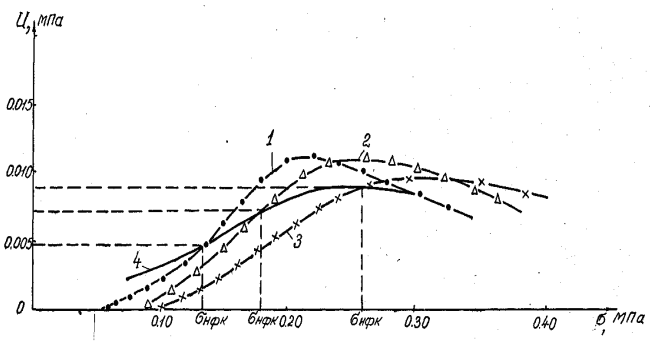


Рис 13. Развитие порового давления (u) в зависимости от действующего давления (σ) в глинистых грунтах средней степени литификации 1 - Мс = 9%; W = 10%; γ = 2,10 т/м^3; 2 - Мс = 22%; W = 14%; γ = 2,08 т/м^3; 3 - Мс = 34%; W = 20%; γ = 2,15 т/м^3; 4 – зависимость $\sigma_{нфк}$ от содержания глинистой фракции в грунте.

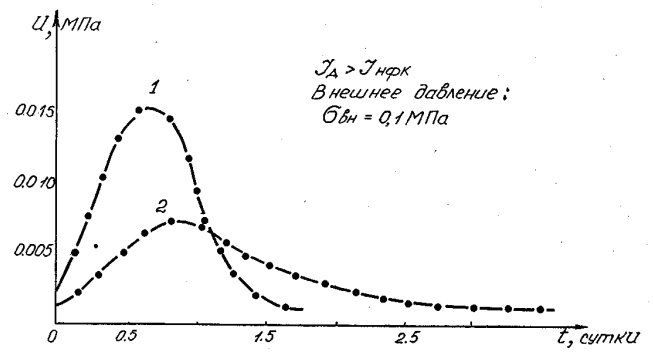


Рис 14. Характер развития порового давления (u) во времени (t) в глинистых грунтах малой степени литификации 1 - Мс = 9%; W = 30%; γ = 1,88 т/м^3; 2 - Мс = 25%; W = 34%; γ = 1,86 т/м^3.

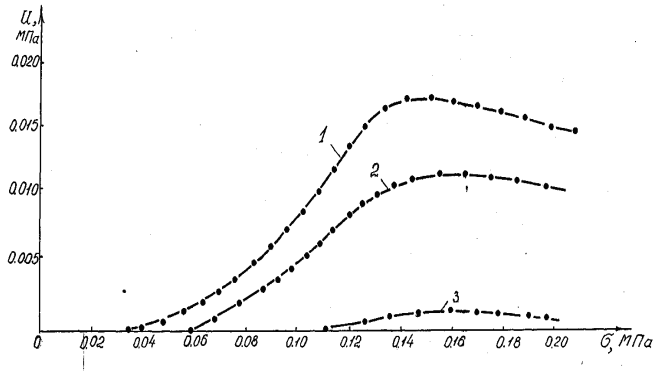


Рис 15. Максимальные значения порового давления (u) в зависимости от действующих напряжений (σ) в озерно-ледниковых глинах нарушенного сложения (Мс = 48%; Wт = 41%; Wр = 21%; Iп = 20 %) 1 - W = 44%; $\gamma_{ск}$ = 1,28 т/м^3; 2- W = 35%; $\gamma_{ск}$ = 1,38 т/м^3; 3- W = 26%; $\gamma_{ск}$ = 1,51 т/м^3.

находятся в удовлетворительном соответствии с результатами экспериментальных исследований дальнодействия поверхностных сил глинистых частиц на структуру воды.

Ранее отмечалось, что поровое давление и характер его развития зависят от способа передачи внешнего давления. Данные экспериментальных исследований показывают, что в одномерной задаче, а также в условиях всестороннего сжатия грунта величина порового давления постепенно возрастает по мере увеличения гибкости системы, передающей давление (рис. 16, 17).

Особого внимания заслуживает также наблюдаемая разница в развитии порового давлений при плавной и постепенной передаче внешнего давления, а также его ударном воздействии, т.е. в зависимости от характера нагружения. При мелкоступенчатом нагружении поровое давление значительно ниже, чем при создании внешнего давления большими ступенями (рис. 18). Заметная разница в величине порового давления наблюдается при различных условиях работы грунта: при возможности и отсутствии его бокового расширения. В первом случае поровое давление оказывается ниже, чем во втором (см. рис. 18).

Таким образом, исследование динамики развития порового давления в водонасыщенных глинистых грунтах является достаточно сложной проблемой, которая не может быть решена однозначно только лишь при знании физического состояния грунта, оцениваемого но показателю консистенции и структурной прочности грунта, как рекомендуется в настоящее время многими исследователями.

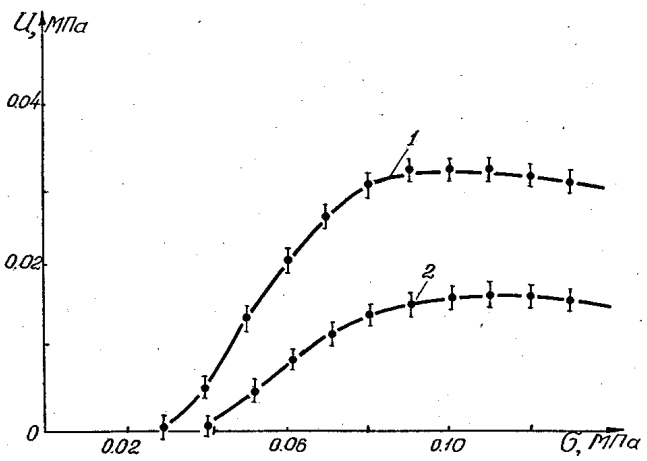


Рис 16. Развитие порового давления (u) в глинистом грунте при передаче внешнего давления (σ) посредством гибкого (1) и жесткого (2) штампов (Мс = 25%; W = 33%; γ = 1,86 т/м^3).

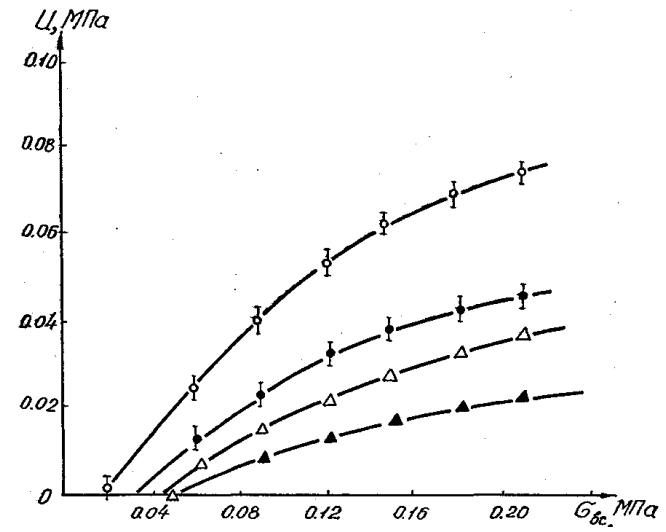


Рис 17. Развитие порового давления (u) в зависимости от всестороннего давления (σвс) в условиях трехосного сжатия (закрытая система испытаний) для различных типов грунтов и гибкости изолирующей оболочки.
1,2 - Мс = 16%; W = 25%; 3,4 - Мс = 49%; W = 42%;
Передача всестороннего давления:
1,3 – через резиновую оболочку; 2,4 – через пластилиновую оболочку.

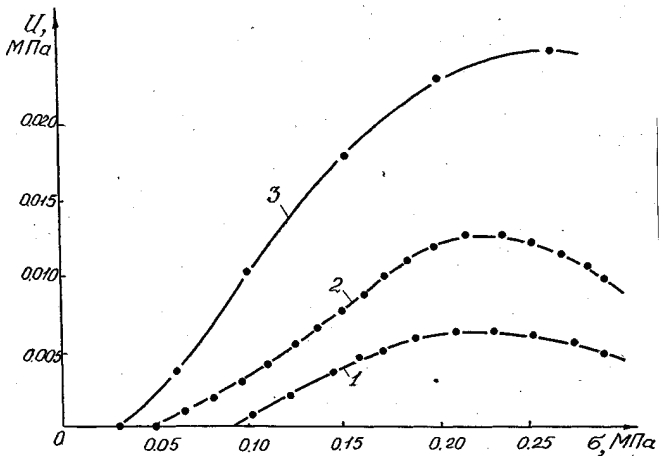


Рис 18. Развитие порового давления (u) в зависимости от условий работы грунта и режима загружения (Мс = 32%; W = 32%; γ = 1,8 т/м^3)
1 – при возможности бокового расширения грунта
2 – при невозможности бокового расширения грунта
3 – при невозможности бокового расширения грунта
1,2 – ступень давления 0,01 МПа
3 – ступень давления 0,05 МПа

Возможность восприятия поровой водой внешнего давления зависит от степени искажения ее структуры в поле действия тонкодисперсных частиц. Чем меньше величина пор глинистого грунта, тем больше свойства воды в нем отличаются от свойств воды в объеме. Влияние поверхности глинистых частиц на изменение структуры воды сказывается в ее эпитаксиальном и поляризующем воздействии, причем последнее может проявляться на значительных расстояниях, достигающих 10 мкм. Следовательно, в порах размером 20 мкм структура и свойства воды должны отличаться от воды в объеме. Исследования, проведенные различными авторами, показали, что зависимость радиуса поры от степени уплотненности грунта и его дисперсности линейна (рис. 19).

В глинистых грунтах естественного сложения различаются поры межагрегатные и внутриагрегатные. При исследовании легких глинистых разностей, в которых межагрегатные поры могут быть диаметром более 20 мкм, поровое давление фиксируется при самых минимальных внешних нагрузках, что подтверждается результатами выполненных исследований. По мере увеличения содержания глинистых частиц в грунте и степени его уплотнения размер пор существенно уменьшается, соответственно возрастает степень структурированности воды, поровое давление при этом имеет меньшие значения даже при достаточно высоких внешних давлениях. Вода в глинистых грунтах как любая структурированная жидкость обладает хорошо выраженной релаксационной способностью, что находит свое подтверждение в опытах с передачей давления с помощью водяного штампа (см. рис. 11). По мере роста давления в силу уменьшения эффективной вязкости воды за счет разрушения ее структуры наблюдается уменьшение промежутка времени, в течение которого происходит выравнивание давления в поровой воде с внешним давлением. Наибольшая степень структурированности поровой воды в глинистых грунтах средней и особенно высокой степени литификации находит свое подтверждение в характере возникновения и развития давления в поровой воде при его передаче водяным штампом. В случае передачи внешнего давления с помощью жесткого штампа основную роль играют структурные связи, последовательность разрушения которых по мере повышения давления определяет динамику развития порового давления. Рост порового давления при разрушении структурных связей определяется релаксационной способностью воды в глинистом грунте.

Прекрасным подтверждением выдвинутого ранее положения, что динамика порового давления является следствием развития деформации ползучести, служат экспериментальные исследования характера роста порового давления в ходе деформирования грунта с возможностью и без возможности его бокового расширения. При развитии поперечных деформаций значения поровых давлений существенно уменьшаются по

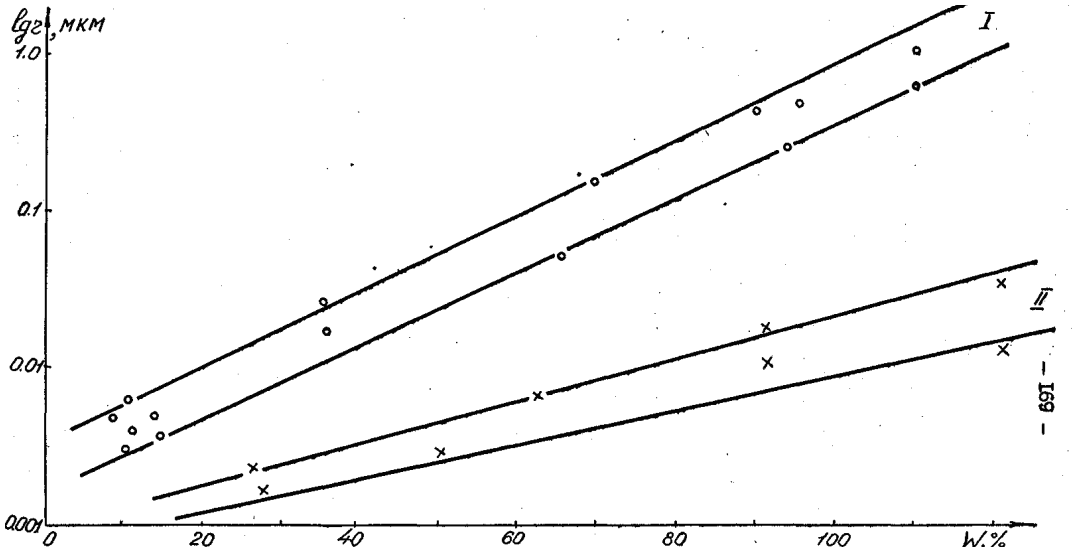


Рис 19. Зависимость среднего радиуса пор (τ) от степени уплотненности (влажности) глинистых грунтов различного минерального состава (I – гидрослюдистые; II - монтмориллонитовые).

сравнению с одномерной задачей уплотнения. Следовательно, чем в большей степени, при прочих равных условиях, выражена способность и возможность грунта к развитию деформаций ползучести, тем меньшую величину имеет поровое давление при деформируемости глинистых грунтов.

При исследовании процесса развития порового давления в глинистом грунте, как следует из опытных данных, особое значение имеет степень гибкости конструкции, передающей внешнее давление (см. рис. 17). Особенно отчетливо это наблюдается в глинистых грунтах малой степени литификации. Податливость системы передачи внешней нагрузки влияет на характер распределения давления в грунте между скелетом и водой: чем более гибка передающая система, тем больше величина порового давления и соответственно меньше значение концентраций напряжений в скелете грунта. Таким образом, исследование особенностей развития порового давления является одним из узловых моментов для решения вопросов оценки характера и интенсивности деформируемости глинистых грунтов в основании сооружений, поскольку позволяет прогнозировать возможность изменения их свойств, а также обосновывать выбор расчетной схемы устойчивости сооружений на основе анализа физической сущности процессов, протекающих в различных глинистых грунтах.

4. Особенности развития деформаций глинистых грунтов в процессе их уплотнения

В настоящее время большая часть исследователей при оценке сжимаемости водонасыщенных глинистых грунтов исходит из предпосылок существования двух стадий уплотнения: процесса фильтрационной консолидации и вторичной консолидации. Разделение этих двух стадий рекомендуется производить по чисто формальному признаку: изменению характера кривой осадка - время. При этом существуют специальные методы определения перехода этапа фильтрационной консолидации во вторичную. Один из них известен как метод квадратного корня или способ Д.Тейлора, второй - логарифмический способ А. Казагранде [38, 39].

В высокодисперсных грунтах даже малой степени литификации возможность оттока воды является затрудненной в силу значительного искажения структуры поровой воды и ее повышенной вязкости в тонких порах. По этой же причине поровое давление развивается чрезвычайно медленно по мере повышения нагрузки. Следовательно, возможность развития фильтрационной консолидации существует только при действии достаточно высоких значений внешнего давления (рис. 20). Согласно рис. 20, при давлениях, меньше 0,1 МПа, развитие деформаций идет, в основном, только за счет ползучести скелета грунта. В этих случаях можно использовать те физические представления о деформируемости глинистых грунтов, которые обычно рассматривались в анализе процесса вторичной консолидации. Наибольшая интенсивность процесса развития деформации на 1 стадии (см. рис. 20), связана с достаточно высокими значениями эффективных давлений в скелете грунта. Постепенное повышение поровых давлений означает снижение эффективных напряжений, вследствие чего интенсивность развития деформаций ползучести в грунте уменьшается. Интенсивность развития порового давления а глинистых грунтах малой степени литификации, как уже отмечалось выше, определяется содержанием глинистой фракции (рис. 21).

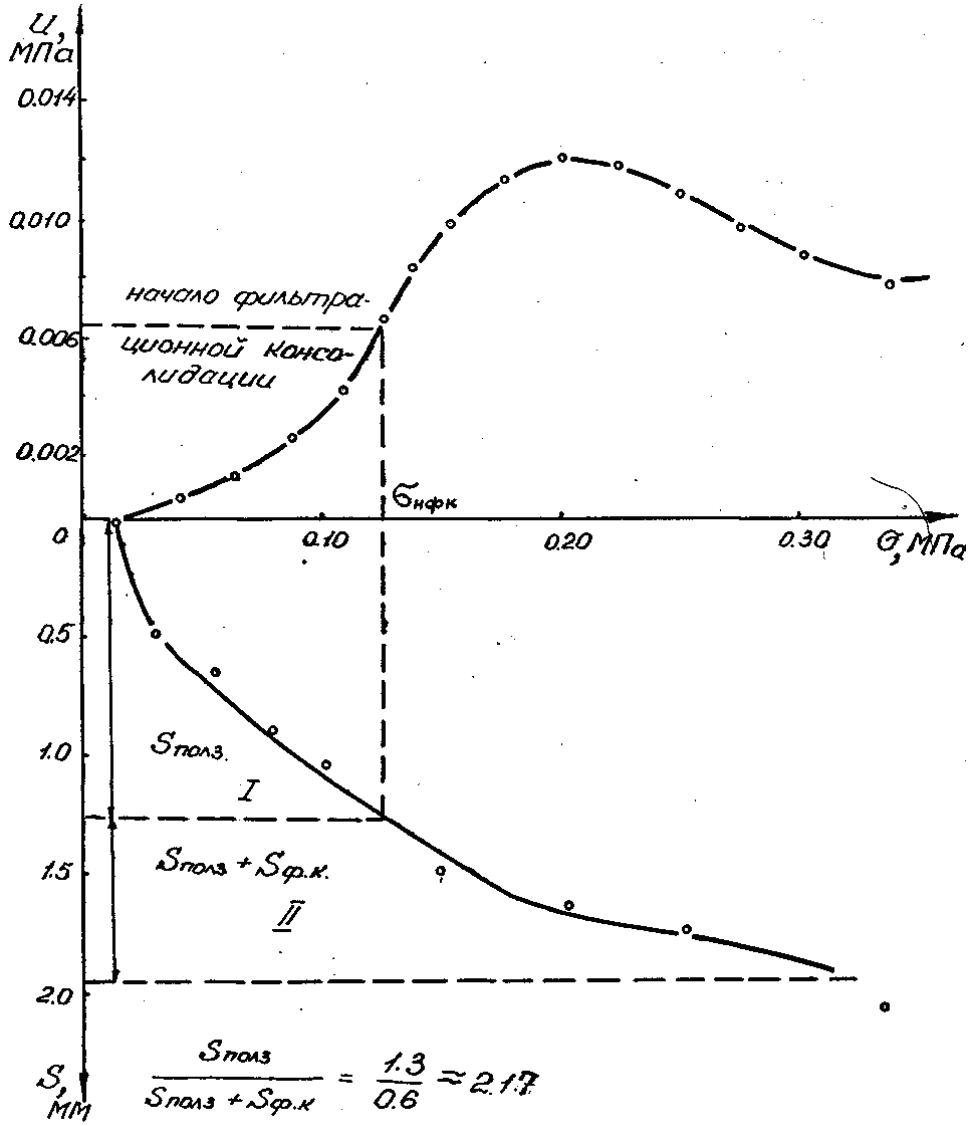


Рис 20. Развитие осадки (S) в глинах малой степени литификации в зависимости от действующего (σ) и порового (u) давлений: Mc = 54%; Wнач = 48%; Wкон = 46%; γ = 1,74 т/м³

I – осадка за счет ползучести скелета (Sполз);

II – осадка за счет ползучести скелета (Sполз) и фильтрационной консолидации (Sполз+Sф.к.) (одномерное сжатие).

При исследовании глинистых грунтов средней степени литификации максимум порового давления фиксируется при внешних давлениях, составляющих более 0,2 МПа, и роль первой стадии деформируемости грунтов за счет ползучести скелета возрастает по сравнению с малоуплотненными глинистыми отложениями (рис. 22). В этом случае деформации ползучести для грунтов на первой стадии составляют более 400% по сравнению с деформациями, обусловленными оттоком воды.

Доказательством малой значимости фильтрационной консолидации служат также опыты по уплотнению монтмориллонитовых глин высокими давлениями. В этих опытах проводилась сравнительная оценка динамики оттока воды при компрессионном сжатии под действием гидростатического напора, а также при комбинированном способе передачи нагрузок. Фильтрация под действием гидростатического напора приводит к получению больших объемов отжатой воды, чем в компрессионных опытах за одно и то же время. При комбинированном способе передачи давления количество отжатой воды имеет промежуточное значение. Уменьшение влажности монтмориллонитовых глин в компрессионном приборе при давлении от 0 до 60 МПа составляло 28% (от 80% до 52%), т.е. в среднем на каждый 0,1 МПа приходилось менее 0,05% потери влажности; в пределах первых ступеней давлений до 1 МПа изменение влажности практически не наблюдалось. В монтмориллонитовых глинах при давлениях 15 МПа в течение 10 часов отжим воды не наблюдался и только при 50 МПа у Ca и Fe-монтмориллонита было отжато 2,1 и 1,5 мл воды, в то время, как у K – монтмориллонита 1,3

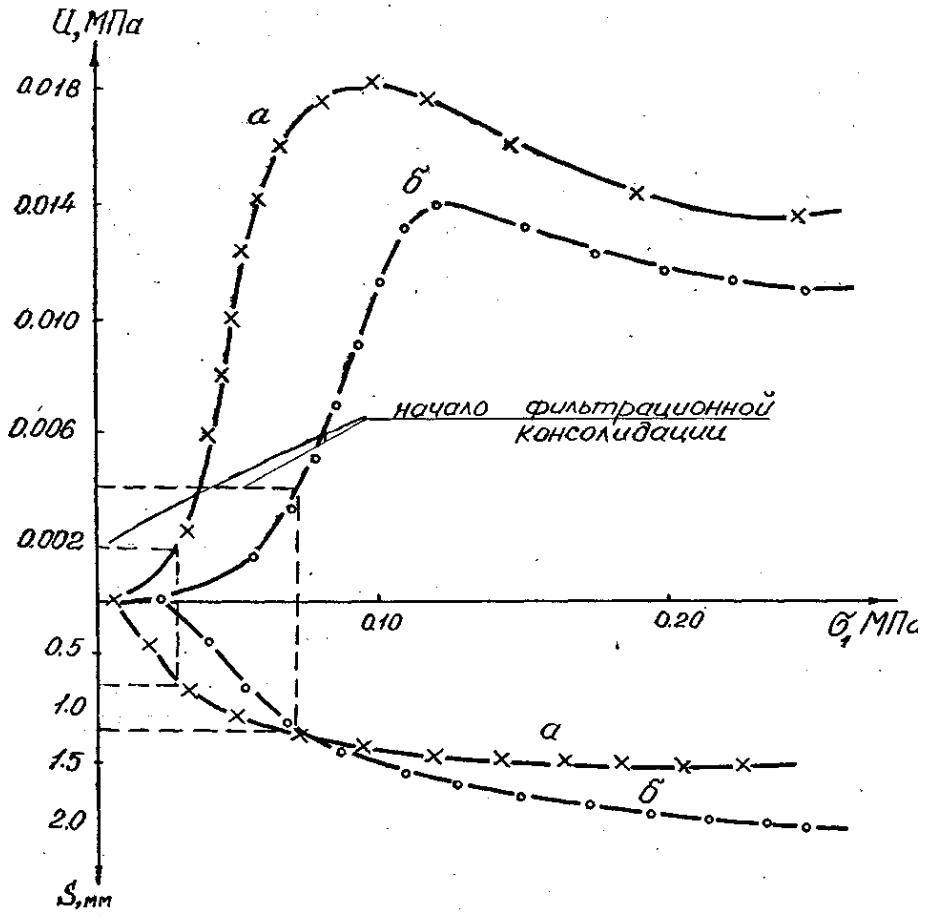


Рис 21. Сравнительный характер развития осадки (S) в глинистых грунтах малой степени литификации в зависимости от действующего (σ) и порового (u) давлений (одномерная задача)
а - Mc = 8%; W = 25%; γ = 1,82 т/м^3
б - Mc = 25%; W = 33%; γ = 1,79 т/м^3

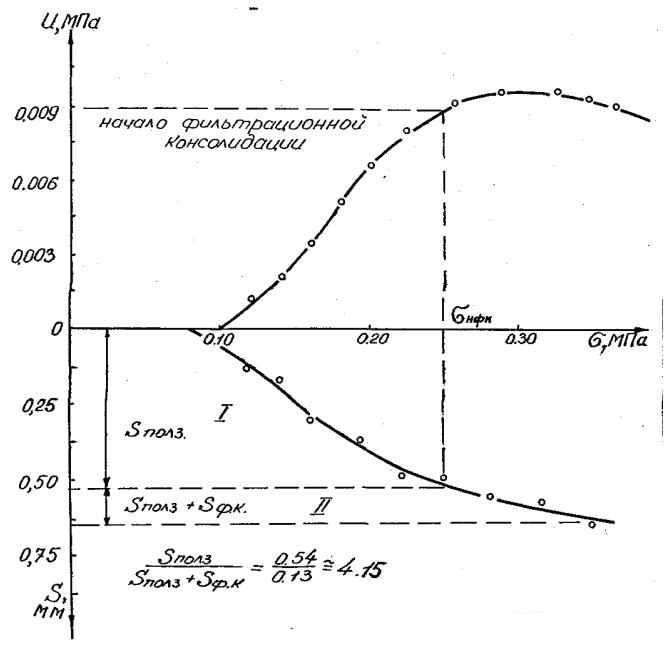


Рис 22. Развитие осадки в глинах средней степени литификации в зависимости от действующего (σ) и порового (u) давлений (Mc = 34%; Wнач = 20%; Wкон = 18,5%; γ = 2,15 т/м^3)

I – осадка за счет ползучести скелета (Sполз);
II – осадка за счет ползучести скелета (Sполз) и фильтрационной консолидации (Sполз+Sф.к.) (одномерное сжатие).

мл воды было получено при давлении 200 МПа. Исходная влажность глинистого грунта была равна его пределу текучести.

Таблица 10

Изменение влажности монтмориллонитовых глин под действием давления [42]

Диапазон давлений, МПа	Характеристика глин	Начальная влажность, %	Конечная влажность, %
10,0-700,0	К -монтмориллонит	78,6	57,7
	Са -монтмориллонит	79,1	54,6
	Fe -монтмориллонит	89,9	58,2
10,0-700,0	К - каолинит	45,5	8,3
	Na - каолинит	51,7	5,0
	Са - каолинит	55,0	4,35
	Fe- каолинит	52,0	0,6

Если сравнить результаты исследований отжима воды из высокоактивных глин с аналогичными опытами с малоактивными каолинитовыми глинами, то можно сделать однозначный вывод: под действием высоких давлений из каолинитовых глин удается отжать значительно больше воды, чем из монтмориллонитовых (табл. 10). В этом случае отмечается также одна особенность, связанная с влиянием обменного катиона. Чем меньше его коагулирующая способность, тем меньшее количество воды может быть отжато из грунта (см. табл. 10). Эти результаты хорошо согласуются с проведенными исследованиями на пастах глинистых грунтов с одинаковыми исходными показателями физических свойств, но содержащими поровые воды различного химического состава - хлориды натрия и кальция с концентрацией 0,05N (рис. 23). Начало фильтрационной консолидации в Na-глинах приходится на более высокие- значения внешних давлений, чем у Са -глин.

Как показывают исследования процесса уплотнения водонасыщенных глинистых грунтов, разрушение структурных связей в грунте еще не является предпосылкой для возможности оттока воды из него. При действии градиентов напора меньших, чем Jнфк, развитие деформаций будет происходить только за счет ползучести скелета. Этот процесс имеет особо важное значение при исследованиях глинистых грунтов с повышенным содержанием тонкодиспёрсных фракций. Именно в этих грунтах под действием давлений происходят необратимые изменения их текстуры. Текстура водонасыщенных глинистых отложений весьма чувствительна к внешним воздействиям. При этом наиболее

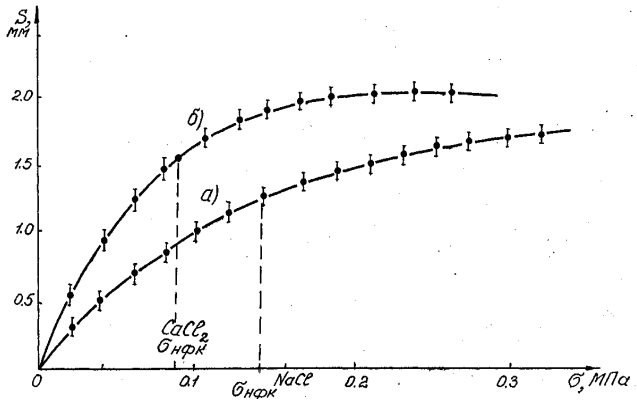


Рис 23. Развитие осадки (S) от действующего давления (σ) в глинистых грунтах с различным составом поровых вод (а – NaCl; б – $CaCl_2$) Мс = 32%; W = 35%; γ = 1,79 т/м^3) (одномерное сжатие)

существенные изменения текстуры происходят в глинистых грунтах малой степени литификации. Наиболее совершенная ориентировка частиц наблюдается при одноразмерном сжатии. С увеличением степени литифицированности роль текстурных преобразований в глинистом грунте снижается. Так, например, по данным исследований Ц.М. Райтбурд установлено, что для тугопластичных глин каолинитового состава в пределах давлений 0,13-100 МПа текстура грунта меняется очень мало, заметное изменение текстуры происходит в интервале давлений 500-1000 МПа. Изменение текстуры водонасыщенных глинистых грунтов каолинитового состава с высокой влажностью в процессе сжатия без возможности бокового расширения грунта показано на рис.24. Из данного рисунка следует, что уже при внешнем давлении более 0,1 МПа происходит ориентировка плоских глинистых частиц и их агрегатов перпендикулярно направлению действия внешнего давления. Наиболее заметное изменение текстуры наблюдается в каолинитовых глинах по сравнению с гидрослюдистыми и монтмориллонитовыми. Процесс стабилизации деформаций зависит от времени перестройки сложения: чем раньше в текстуре глинистого грунта намечается упорядоченность, тем быстрее наступает затухание деформаций [8, 12, 44].

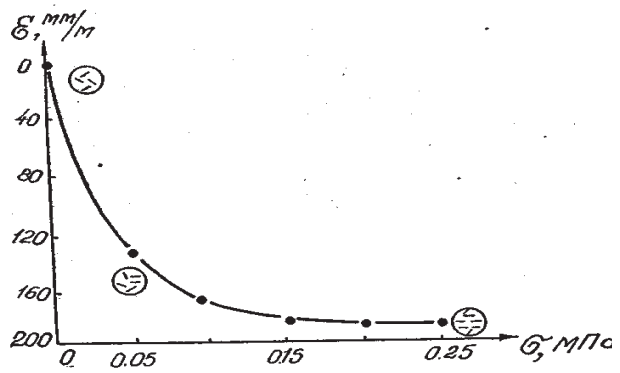


Рис 24. Изменение текстуры каолинитовой глины при одномерном сжатии.

Ориентировка частиц в грунте влияет на характер и геометрию порового пространства. Поры неправильной формы при сближении базальных плоскостей глинистых частиц превращаются в щелевидные, при этом воздействие поверхностных сил усиливается и происходит дополнительное изменение структуры воды с последующим уменьшением степени ее подвижности. Это положение подтверждается изменением периода продольной релаксации воды T_1 в глинистом грунте, претерпевшем длительное действие внешнего давления (0,3 МПа) при сохранении исходной влажности. В неуплотненных образцах глинистых грунтов T_1 = 4,3-4,8 миллисекунд, в уплотненных при сокращении той же влажности - T_1 = 2,3-2,8 миллисекунд.

Таким образом, преобразование структуры воды на первом этапе деформирования в процессе ползучести скелета грунта предполагает замедление роста порового давления в процессе его нагружения.

Ранее приведенные данные говорят о том, что при увеличении гибкости передающей системы поровое давление возрастает и соответственно уменьшается значение эффективных напряжений. Следовательно, степень текстурных изменений в глинистом грунте будет возрастать по мере перехода от передачи внешнего давления водой к передаче его жестким штампом. Это положение находит свое подтверждение при исследовании прочности глинистых грунтов с помощью конического пластометра. При этом, испытывались образцы, которые в течение двух месяцев выдерживались под давлениями, передающимися через водяной штамп, гибкий пластилиновый штамп и жесткий (металлический) штамп при условии отсутствия оттока воды из образца. Испытания проводились на двух сериях образцов: на пастах каолинитовых глин, как наиболее подверженных изменению текстуры и на пастах глин гидрослюдистого состава (рис.25). Анализ этих данных дает возможность предположить, что наиболее совершенная ориентировка глинистых частиц происходит при передаче давления через жесткий штамп, где фиксируется максимальное увеличение пластической прочности, что практически не наблюдается при передаче давления через водяной штамп. При действии давления через гибкий пластилиновый штамп изменение пластической прочности грунта занимает промежуточное значение. Как и следовало ожидать, наибольшие изменения прочности глинистых грунтов наблюдаются в каолинитовых глинах, где выявлен наиболее совершенный характер перестройки текстуры - после окончания опыта наблюдалось расслаивание образца при его подсыхании.

Результаты исследований изменения текстуры каолинитовых глин при возможности бокового расширения образцов (одноосное сжатие) приведены на рис. 26. В этом случае даже при достаточно малых значениях давлений, в пределах от 0 до 0,03 МПа,

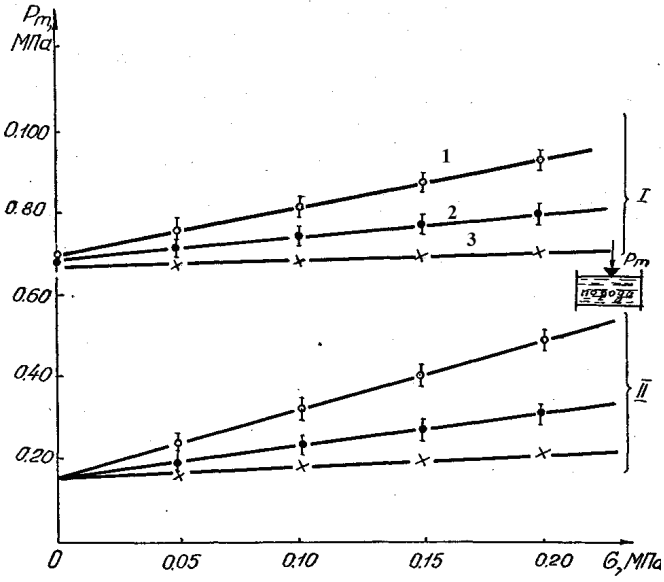


Рис 25. Изменение пластической прочности (Pm) глинистых грунтов нарушенного сложения при различных способах передачи внешнего давления (σ) (закрытая система).

1 – через жесткий штамп; 2 – через гибкий штамп; 3 – через водяной штамп.

I – глины каолинитового состава (Iп = 18%; W = 44%; γ = 1,7 т/м^3)

II - глины гидрослюдистого состава (Iп = 32%; W = 58%; γ = 1,68 т/м^3)

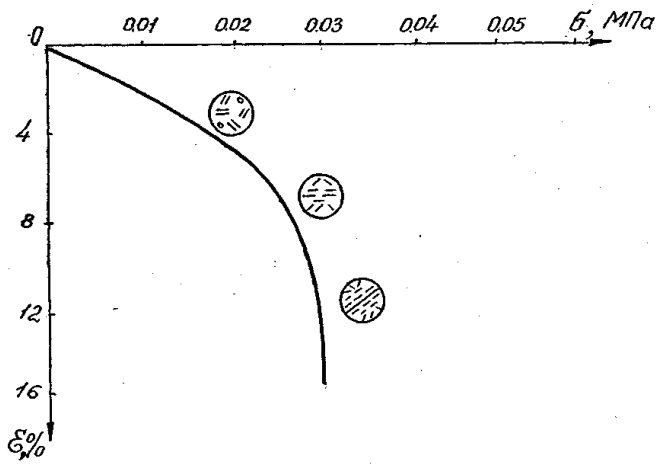


Рис 26. Изменение текстуры каолинитовых глин при одноосном сжатии [39].

отмечается ориентировка глинистых частиц и их агрегатов сначала под действием сжимающих напряжений, а затем тангенциальных. Как уже отмечалось ранее, при исследовании глинистых грунтов с возможностью бокового расширения, поровое давление составляет ничтожную часть по сравнению с эффективными напряжениями. Именно поэтому при одноосном сжатии наиболее отчетливо протекает перестройка сложения грунта даже при действии сравнительно небольшой внешней нагрузки.

Заключение

1. Рассмотрено в историческом аспекте зарождение и развитие теории фильтрационной консолидации водонасыщенных глинистых грунтов от К. Терцаги до наших дней. Показано, что при накоплении наблюдений за поведением грунтов в основании реальных объектов, проведении специальных экспериментальных работ с использованием современного оборудования, а также достижений в области природы прочности глинистых грунтов, исследований с помощью ядерно-магнитного резонанса (ЯМР) структуры поровой воды в тонкодисперсных грунтах, научно-практические основы фильтрационной консолидации претерпевают коренные изменения в трактовке её роли и значимости при оценке устойчивости сооружений.

2. Экспериментально подтверждено, что процесс перераспределения внешнего давления между скелетом глинистого грунта и поровой водой зависит от степени его литификации, содержания глинистой фракции, способа и характера передачи внешнего давления на грунт: жесткий и гибкий штампы, а также с помощью столба воды. Минимальные значения порового давления зафиксированы в глинистых грунтах с высоким содержанием тонкодисперсной фракции монтмориллонитового состава при плавном мелкоступенчатом загружении через жесткий штамп. Отмечено, что при одноразмерном сжатии грунта поровое давление в нем значительно выше, чем при возможности бокового расширения.

3. Введено понятие градиента начала фильтрационной консолидации и показано, что величина этого градиента и начального градиента напора существенно отличаются. Раскрыта физическая сущность этих градиентов. Предложена эмпирическая формула для расчета градиента начала фильтрационной консолидации. Принимая во внимание, что градиент начала фильтрационной консолидации характеризуется высокими значениями, фильтрационная консолидация в основании сооружений имеет практическое значение только в супесях и суглинках малой степени литификации при чем в слое ограниченной мощности. При отсутствии фильтрационной консолидации водонасыщенные глинистые грунты под действием давления следует рассматривать как квазиоднофазную среду, поведение которой определяется реологическими процессами.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Абелев М.Ю.* Сопоставление результатов полевых и лабораторных исследований сжимаемости слабых водонасыщенных глин. В сб.: Основания, фундаменты и механика грунтов, Киев, 1971.

2. *Абелев М.Ю.* Слабые водонасыщенные глинистые грунты как основания промышленных и гражданских сооружений. Автореф. дис. докт. технич. наук, МИСИ, М., 1980.

3. *Абелев М.Ю.* Строительство промышленных и гражданских сооружений на слабых водонасыщенных грунтах. М., Стройиздат, 1983.

4. *Арье А.Г.* К вопросу о существовании начального градиента фильтрации. Материалы I Всесоюзной гидрогеологической конференции "Формирование подземных вод как основа гидрогеологических прогнозов", т.1, М., изд. Наука, 1982.

5. *Арье А.Г.* Фильтрация жидкостей в горных породах с учетом фазового взаимодействия. В сб.: научных трудов - Исследование фильтраций через глинистые породы, вып.153, М., 1983.

6. *Бондаренко Н.Ф.* Физика движения подземных вод. Л., Гидрометеоиздат, 1973.

7. *Бондаренко Н.Ф., Нерпин С.В.* Соотношение между сдвиговой прочностью жидкостей в объеме и граничных слоях. - В кн.: Поверхностные силы в тонких пленках и дисперсных системах. М., Изд. Наука, 1972.

8. *Бондарик Г.К., Царева А.М., Пономарев В.В.* Текстура и деформация глинистых пород. М., Недра, 1975.

9. *Брилинг И.А.* Интерпретация экспериментальных результатов по начальному градиенту. Сб.научных: трудов: Исследование фильтрации через глинистые породы, вып. 153, М., 1983.

10. *Гольдин А.Д., Горелик Л.В., Нуллер Б.М,* Влияние ползучести и газонасыщенности на процесс консолидации грунтов. Труды VIII Международному конгрессу по механике грунтов и фундаментостроению. М., Стройиздат, 1973.

11. Г*ольдштейн М.Н.* Механические свойства грунтов. М., Стройиздат, 1971, 1973, 1979.

12. *Гольдштейн М.Н., Туровская А.Я., Лапидус Л.С.* Исследование оползневого течения. - Вопросы геотехники. Днепропетровск, 1962, № 5.

13. *Дашко Р.Э.* Инженерно-геологический анализ процесса консолидация водонасыщенных глинистых, пород. - Инженерная геология, 1981, №1.

14. *Дашко Р.Э.* Инженерногеоложка оценка на възможностите за фильтрационна консолидация на водонаситени глинести почви. Хидротехкака и мелиорации, 1983, № I (на болгарском языке).

15. *Дашко Р.Э.* Оценка консолидации и несущей способности пород основания некоторых защитных сооружений. Материалы Всесоюзной конференции «Проблемы инженерной геологии в связи с рациональным использованием геолог. среды», Л., 1976.

16. *Дашко Р.Э.* Основные представления, а критерии начала фильтрационной консолидации водонасыщенных глинистых пород. Тематический межвузовский сборник. Автомобильные дороги. Л., ЛИСИ, 1982.

17. *Дерягин Б.В., Крылов Н.А.* Аномальные явления при течении жидкостей. В кн.: Труды совещания по вязкости жидкостей в АН СССР. М., 1941.

18. *Зарецкий Ю.К.* Теория консолидации грунтов. М., Наука,1967.

19. *Зарецкий Ю.К.* О реологических свойствах грунтов и осадке штампа. - Основания, фундаменты и механика грунтов, 1972, № 2.

20. З*арецкий Ю.К., Вялов С.С.* Вопросы структурной механики глинистых грунтов. - Основания, фундаменты и механика грунтов,

21. *Зиангиров Р.С., Окнина Н.А., Даврова Н.А.* Изменение физико-мехамических свойств хволынских глинистых пород под влиянием кислых техногенных вод. В кн.: Изменение геологической среды под влиянием деятельности человека. М., Наука, 1982.

22. *Котов А.И.* Поровые давления в процессе ползучей консолидации глинистых грунтов. - Труды ЛИИВТ, 1962, вып.27.

23. *Ксенофонтов А. И.* Фильтрационная и релаксационная теория консолидации. Труды МИИТ. Инженерная геология и механика грунтов. 1968, вып.270.

24. Ксенофонтов А.И. Об учете ползучести скелета грунта в теориях консолидации. - Труды МИИТ. Инженерная геология и механика грунтов. 1969., вып.264.

25. *Ксенофонтов А. И.* Об учете начального градиента напора и "активной" зоны фильтрации при решении задач по консолидации грунтов. Труда МИИТ. Инженерная геология и механика грунтов. 1973, вып. 432.

26. *Малышев М.В.* Расчет порового давления в период строительства в насыпях из грунта, содержащего в порах воду и воздух. - Основания и фундаменты и механика грунтов, 1964, № 5.

27. *Маслов Н.Н.* Инженерная геология. М., Госстройиздат, 1941.

28. *Маслов Н.Н.* Основы механики грунтов и инженерной геологии. М., Автотрансиздат, 1983.

29. *Маслов Н.Н., Ле Ба Лданг.* К вопросу о повышении прочности и несущей способности глинистых грунтов под нагрузкой во времени. - Основания, фундаменты и механика грунтов, 1972, № I.

30. *Маслов Н.Н., Ле Ба Лыонг.* К вопросу о консолидации глинистых грунтов. В кн.: Инженерно-геологические свойства глинистых пород и процессы в них. Изд. МГУ, 1972, вып.2.

31. *Месчян С.Р.* Ползучесть глинистых грунтов. Ереван, Изд. АН Арм. ССР , 1967.

32. *Нерпин С.В., Чудновский А.Ф*, Физика почв. М., Наука, 1967.

33. Прогноз скорости осадок оснований сооружений. /Н.А.Цытович, Ю.К.Зарецкий, М.В.Малышев и др./, М., Госстройиздат, 1967.

34. *Райтбурд Ц.М.* Рентгеновское изучение текстурообразования в глинах при их деформации. - В кн.: Инженерно-геологические свойства горных пород и методы их изучения. М., 1962.

35. *Рельтов Б.Ф.* Влияние физико-химических факторов на водопроницаемость и деформируемость связных грунтов. - В кн.: Труды совещания по механике грунтов, основания и фундаменты. М., 1956.

36. *Роза С.А*, Расчет осадки гидроэлектростанций. М.-Л., Госэнергоиздат, 1959.

37. *Роза С.А.* Результаты экспериментального изучения нач¬ального фильтрационного напора в плотных глинах. - В кн.: Вопросы механики грунтов, 1953, №4.

38. *Тейлор Д.* Основы механики грунтов. М., Госстройиздат, 1960.

39. *Терцаги К.* Строительная механика грунтов. М., Госстойиздат, 1933.

40. Т*ер-Мартиросян З.Г., Цытович Н.А.* О

вторичной консолидации глин. - Основания, фундаменты и механика грунтов, 1965, № 5.

41. *Флорин В.А.* Основы механики грунтов. Т 1, Л.-М., Госстрой издат, 1959.

42. *Чеховских М.М., Питьева К.Е.* Исследование закономерностей изменения химического состава растворов, полученных путем опрессовывания мономинеральных глин при различных давлениях. В сб.: Связанная вода в дисперсных системах, вып.2, Изд. МГУ, 1972.

43. *Шукле Л.* Реологические проблемы механики грунтов. М., Стройиздат, 1973.

44. *Biot M.A.* Theory of elasticity and consolidation for a porous anisotropic solid. - Journal of Appl. Phys., 1955, 26, № 2.

45. *Biot M.A.* Theory of deformation of a porous visco-elastic anisotropic solid. - Journal of Appl. Phys., 1956, 27, N 5.

46. *Hall L.* Origin of ultrasonic absorption in water. – Phys. Rev., 1948, 73, N 7.

47. *Rendulic L.* Wasserwirtschaft und Technik, 1935, N 2.

48. *Tan Tjong-Kie.* Consolidation and secondary time effect of homogeneous, anisotropic, saturated clay strata. - Proc. of the 5th. Intern. Conf. on Soil Mech.. and Found. Eng., 1961, vol. I.

49. *Taylor D.W., Merchant W.A.* A theory of clay consolidation accounting for secondary compression. - Journal of Mathematics and Physics, 1940, vol. 19, N 3.

STUDY AND ANALYSIS OF CONSOLIDATION PROCESS IN WATER-SATURATED CLAY SOILS

© 2013 R.E. Dashko

National Mineral Resources University «Mining»,
2, str. 21 liniya, Vasilievskiy island, Saint-Petersburg, 199106
regda2002@mail.ru

The paper briefly describes the development of the filtration consolidation theory in our country and abroad. It displays the theoretical and experimental results for features of developing deformations of water-saturated loose grounds under consolidation. The analysis of experimental data is performed on a basis of considered nature of clay soils strength, specificity of structural bonds disturbance and redistribution of external pressure between the solid matrix and pore water with due account for structural change of the latter as well as formation of its inertness towards the external pressure. The paper offers a new criterion, namely the initial gradient of the filtration consolidation, allowing finding the possibility and establishing the practical relevance of the process in water-saturated clay soils depending on the content of fine-grain particles with a diverse mineral composition. The comparative evaluation of filtration gradient value and initial gradient of filtration consolidation is carried out. With reference to the experimental tests completed the low profile of filtration consolidation process in water-saturated clay soils with different degree of lithification is shown. The experience has proven that the development of the pore pressure is greatly influenced by the mode and rate of external pressure transmission. The paper published is a continuation of a paper 1 (Soil science, 2, 2013): «On filtration consolidation issue: structure and properties of water in clay soils».

Key words: consolidation, water structure, creep strain, pore and effective pressure, initial gradient of filtration, initial gradient of filtration consolidation, clay particle, surface forces, pressure propagation, rigid and flexible stamp.

УДК 549.01

ТЕХНОГЕННЫЕ ГРУНТЫ И ТЕХНОГЕННЫЕ ОТЛОЖЕНИЯ, ТЕХНОГЕННЫЕ ЛАНДШАФТЫ И КУЛЬТУРНЫЙ СЛОЙ – СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ КЛАССИФИКАЦИИ И СИСТЕМАТИКИ

©2013 г. А.А. Каздым

Российский университет дружбы народов,
Москва, 117198, ул. Миклухо-Маклая, д. 6,
e-mail: kazdym@mail.ru

В настоящее время не создано одной объективной систематики и классификации техногенных отложений, которые учитывали бы различные условия и факторы их образования, вследствие чего возникает проблема с терминологией и каждый автор, руководствуясь своими выводами по этому вопросу, предлагает собственные профессиональные и лингвистические выкладки по построению номенклатуры. При разработке классификаций техногенных отложений, вероятно, следует опираться с одной стороны на степень антропогенного воздействия на горную породу или почву, интенсивность ее изменения, а с другой стороны, обращать внимание на определенные следы материальной культуры, как древние (объект изучения археологов), так и современные (объект изучения экологов, почвоведов, географов, инженеров-геологов, грунтоведов).

Ключевые слова: техногенные отложения, культурный слой, урбофации, антропогенно-измененные почвы.

В классическом грунтоведение и инженерной геологии под «грунтом» в общем смысле понимается совокупность горной породы и почвенных горизонтов, обладающих определёнными физико-химическими, горно-геологическими, прочностными и иными свойствами. «Техногенные грунты», соответственно – это грунты, изменённые определенными техногенными процессами.

ГОСТ 25100-95 [13], действующий в настоящее время, большинство искусственных геологических образований объединяет термином «техногенные грунты», под которыми понимаются естественные грунты, измененные или перемещенные в результате производственной и хозяйственной деятельности человека, а также определённые антропогенные образования.

Под «антропогенными образованиями» понимаются техногенно-образованные твердые отходы производственной и хозяйственной деятельности человека, в результате которой произошло коренное изменение состава, структуры и текстуры природного материала или органического сырья.

Кроме того, выделяются природные перемещенные (техногенно-переотложенные) образования – природные грунты, перемещенные с мест их естественного залегания и подвергнутые частичной производственной переработке в процессе их перемещения.

Выделены также и техногенно-измененные природные образования, т.е. измененные в условиях их естественного залегания (природные грунты, для которых средние значения показателей химического состава изменены не менее чем на 15 %).

Таким образом, в настоящее время, по ГОСТу 25100-95 выделяются [13]:

- Грунты, измененные физическим воздействием, т.е. природные грунты, в которых уплотнение, замораживание, повышение температуры и т.д. изменило строение и фазовый состав.
- Грунты, измененные физико-химическим воздействием, т.е. природные грунты с измененным вещественным составом, структурой и текстурой.
- Насыпные грунты – техногенные грунты, перемещение которых осуществляется с использование транспортных средств, взрыва (однако, в данном случае не совсем ясно, могут ли относится к насыпным грунты, перемещенные путем использования ручного инструмента – лопат, тачек и т.д., А.К.).
- Намывные грунты – техногенные грунты, перемещение и укладка которых проводилась при помощи гидромеханизации
- Бытовые отходы – твердые отходы, образованные в результате бытовой деятельности человека.

- Промышленные отходы – твердые отходы производства, полученные в результате химических и термических преобразований материалов природного происхождения (в данном случае не понятно, куда можно отнести отвалы карьеров, шахт и др., А.К.)
- Шлаки – продукты химических и термических преобразований материалов природного происхождения
- Шламы – высокодисперсные материалы, образующиеся в горно-обогатительном, химическом производствах.
- Золы – продукты сжигания твердого топлива
- Золошлаки – продукты комплексного термического преобразования горных пород и твердого топлива.

Кроме того, выделяются и нарушенные земли (ГОСТ – 17.5.1.02.-78), с группами отвалов внутренних, отвалов внешних, провалов, прогибов, отвалов [60].

Различные авторы [7, 10, 11, 17, 34, 36, 37, 39, 43, 48, 57, 58, 60, 71, 72] предлагают различные классификации техногенных грунтов и отложений, антропогенно-измененных почв и специфических литогенно-педогенных отложений (культурного слоя), характерных в основном для урбанизированных или промышленных территорий. Отметим, что большинство классификаций техногенных грунтов и отложений в той или иной степени «привязаны» к грунтоведению или инженерной геологии, и отражают в основном инженерно-геологическую спецификацию. Нами уже отмечалось, что в настоящее время особенно остро чувствуется недостаток целостной классификации различных техногенных поверхностных образований и отложений, оказывающих интенсивное воздействие на литосферу и педосферу, влияющих на изменение свойств горных пород, а также генетического профиля, свойств и структуры почвы, что при создании единой классификации техногенных отложений, которая отражала бы все критерии поступления и трансформации техногенного материала, и интенсивность техногенного воздействия требуются длительные исследования В настоящее время не создано одной объективной систематики, учитывающей различные условия и факторы образования отложений, вследствие чего возникает проблема с терминологией и каждый автор, руководствуясь своими выводами по этому вопросу, предлагает собственные профессиональные и лингвистические выкладки по построению номенклатуры [36, 37, 39, 43, 71].

Одна из первых расширенных классификаций антропогенных отложений представлена Ф.В. Котловым [50, 51, 52] в 1962 году (таблица 1), где были выделены генетические комплексы, типы, виды и разновидности. Более современная, принятая в грунтоведение, классификация техногенных отложений была разработана А.П. Афонининым, И.В. Дудлером, Р.С. Зиангировым, Ю.М. Лычко, Е.Н. Огородниковой и рядом других авторов в 1990 году [7] (см. табл. 2).

А.М. Худайбергенов [60] при изучении антропогенных отложений Ташкента составил классификацию, включающую в себя комплекс, тип, вид и разновидность отложений (таблица 3). Следует отметить, что эта одна из немногих классификаций, в которой грунты кладбищ и культурные почвы выделяются именно как вид антропогенных отложений, а не как антропогенно-измененные почвы.

А.М. Михайлов выделял нарушения земной поверхности (табл. 4), связанные с горными работами [59]. Д.В. Спиридонов выделил три группы техногенных отложений: техногенно-изменённых пород, техногенно-переотложенных, техногенно-образованных [60].

В фундаментальной работе М.И. Хазанова в 1975 году [36, 39] впервые приведена типизация искусственных грунтов по условиям формирования, по составу и инженерно-геологическим свойствам.

Современные исследователи, как например М.А. Викторова [10] выделяют такое понятие как «грунты несанкционированных строительных отвалов и свалок, к которым относят стихийно формирующиеся массивы насыпных грунтов на территории городов, содержащие помимо природных переотложенных грунтов очаговые включения строительного и бытового мусора». Инженерно-геологическая типизация грунтов несанкционированных строительных отвалов и свалок, предложенная М.А. Викторовой, в той или иной степени повторяет различные классификации техногенных грунтов, ранее представленных грунтоведами и инженер-геологами [10].

Ряд исследователей выделяет специфическую группу поверхностных отложений непочвенного происхождения (с точки зрения «почвы» как природно-исторического тела). Выделяются техногенные поверхностные образования (ТПО), т.е. техногенные отходы промышленного происхождения, сельскохозяйственные образования, территории, обладающие химически активными материалами и т.д. [72]

В «Классификации и систематике почв России» [48] в основе систематики ТПО выделяется характер вещественного состава субстратов, слагающих эти образования, причем ТПО не рассматриваются как генетически сопряженные горизонты (в отличие от почвы). Выделяются четыре основных группы ТПО: «квазиземы»,

«натурфабрикаты», «артифабрикаты», «токсифабрикаты», в названии которых используются латинские корни.

В целом ТПО достаточно специфические, и неоднородные образования, которые сложены разнообразными и разнородными, твердыми по агрегатному составу отходами и отбросами различных отраслей промышленности, теплоэнергетики и коммунального хозяйства, извлеченными из недр земли или собранными с ее поверхности, в той или иной степени подвергшихся обработке, перемещенных и сосредоточенных тем или иным способом на относительно ограниченном пространстве.

В классическом почвоведении выделяют типы и классы (по происхождению) антропогенных почв: класс «антропогенных почв» с двумя основными типами - техноземы и литоземы, с дальнейшим подразделением по почвенным признакам и по мощности [17]. Кроме того, выделяются деградированные и деструкцированные почвы (засоленные, подкисленные, радиоактивные и т.д.) с различной степенью деградации [9]. Также существует и понятие «эродированные почвы», с различной степенью нарушения (или разрушения) почвенного профиля.

Почвоведы выделяют антропогенно-измененные (трансформированные, модифицированные), т.е. такие почвы (или почвенные образования) в которых результаты деятельности человека морфологически или аналитически меняют определенные почвенные свойства, вплоть до формирования нового почвенного горизонта [11]. Антропогенно-измененные почвы – это почвы, профиль которых состоит из агрогенно-преобразованного гомогенного органогенного горизонта мощностью более 25 см, сменяющегося резко любым естественным срединным генетическим почвенным горизонтом или непосредственно почвообразующей породой [11, 48] - то есть почвы, в которых техногенные и антропогенные процессы не затрагивают весь почвенный профиль в целом, и практически не изменяют ее генетические свойства (в отличие от ТПО). Термин «антропогенно-преобразованные почвы» признан неудачным, т.к. «…в нем есть оттенок целенаправленности трансформации, т.е. преобразования, переделки, что на самом деле справедливо далеко не для всех почв…» [11]. Следует отметить, что изменение и преобразование почв (с точки зрения процессов техногенного воздействия на педосферу) в общих случаях идентично, так как, изменяя почвы, человек в той или иной степени их преобразовывает, а преобразовывая, естественно изменяет.

Для почв испытавших техногенное воздействие предложен термин «антропогенные почвы» по аналогии с зарубежным аналогом «антросоли». По зарубежной классификации «антросоли» – это почвы, генезис которых определяется деятельностью человека [11, 48]. В почвенных классификациях мира выделяются различные виды антропогенных почв: антропогенные болотные в Германии; антропиковые почвы с типом культиземов в Чехии и Словакии; различные группы антросолей в Китае (аккумулированные, ирригационно-намытые, почвы «лоу», «дынные почвы»); рисовые почвы в Японии. В настоящее время на долю антропогенных почв приходится около 3 % всей площади почв, а на долю антропогенно-измененных - 52 % [11].

Ярким примером антропогенно-измененных почв являются агроземы (хотя данное понятие в ряде случаев относят и к техногенным поверхностным образованиям), которые образуются в результате перепашки одного или нескольких верхних горизонтов естественных почв (преимущественно органогенных и элювиальных) [48]. Критерием разделения агроземов на различные типы являются особенности агрогенно-преобразованного горизонта и характер подпахотной части профиля (агроземы светлые, агроземы темные, агроземы светлые глеевые, агроземы торфяные и т.д.) [48].

Антропогенно-измененные почвы и техногенные поверхностные отложения отражают исключительно взаимодействие человека с природой и не всегда несут историческую информацию, представляя лишь современные техногенные процессы. В ряде случаев выделяется и понятие «техногенный морфогенез», которое связанно с антропогенной трансформацией почв и антропогенным преобразованием земной поверхности, в том числе и перемещением материала.

При исследовании различных техногенных отложений промышленного типа, например отвалов месторождений некоторые авторы выделяют отвалы сложенные минеральными грунтами, отвалы сложенные «органическими субстратами» [49], а также «нарушения земной поверхности» в зависимости от параметров нарушения и элементов открытых разработок (траншеи, канавы, дамбы, поверхности отвалов, откосы отвалов, карьеры) [59].

Техногенный ландшафт – это ландшафт в той или иной степени измененный техногенной деятельностью человека. Классический техногенный ландшафт – город, городская агломерация или территория промышленных, горно-добывающих и горно-перерабатывающих предприятий. Техногенные ландшафты формируются (в большинстве случаев) техногенными отложениями, и могут быть представлены техногенными грунтами

Таблица 1.

Классификация техногенных отложений

Комплекс	Тип	Вид	Разновидность
Насыпной	Строительный (грунты земляных сооружений)	Крупнообломочный, песчаный, глинистый, торфяной	Специально укладываемые; Свалочные; Стихийно-накапливающиеся
	Горный (отвалы выработанных пород)	Скальные, полускальные и рыхлые породы	
	Промышленный (отходы предприятий)	Зола, шлак, металлические отходы, древесные отходы	
	Хозяйственно-бытовой (могильники, курганы, кладбища, свалки, мусор и т.д.	Беспорядочная смесь различных грунтов, бытовых и хозяйственных отходов	
Намывной	Строительный (намывы земляных сооружений и площадей)	Песчаная и супесчаная смесь речных, озерных и морских отложений	
	Горный (намыв пород из карьеров)	Пульпа – водная смесь разрабатываемых грунтов	
Отложения искусственных водоемов	Отложения каналов, прудов, водохранилищ	Гравийно-галечный, песчаный, глинистый, органо-минеральный	А) «in situ»; Б) переотложенные человеком
Искусственно созданный	Строительный (искусственные покрытия дорог, аэродромов, канав и т.д.)	Искусственная грунтовая смесь с добавлением химически активных и инертных веществ	
Искусственно преобразованный	Строительный (грунты)	Грунты силикатизированные, цементированные, обожженные	
		Осадочные и метаморфизованные породы, вмещающие угли, сланцы, соли)	

и антропогенно-измененными почвами, ТПО, внешними и внутренними отвалами вскрышных горных пород при открытых горных разработках и добыче строительных материалов, терриконами, разнообразными насыпями, навалами, дражными полями, дамбами и плотинами, шламовыми полями и хвостохранилищами обогатительных фабрик, золошлаконаливными полями и золоотвалами тепловых электростанций, отвалами металлургических шлаков, строительного мусора, бытовых отходов и им подобным искусственным образованиям, весьма разнообразными по происхождению, морфометрии и другим показателям. Отвалы, как положительные техногенные формы рельефа, сочетаются с отрицательными техногенными формами рельефа – карьерами, выработками, провальными и суффозионными ямами и воронками, оползнями, трещинами, траншеями, размоинами, вымоинами и т.д. Масштабы нарушения целостности биосферы в результате расширения площади ландшафтов промышленных отвалов внушительны и быстро возрастают в связи с геометрически-прогрессирующей потребностью в горнорудном сырье и столь же быстро увеличивающимися массами промышленных и бытовых отходов. Отдельно можно выделить специфичесиек техногенные формы рельефа – курганы, могильники и захоронения, в ряде случаев формирующих специфический ландшафт [31, 32, 46].

На территории России можно выделить несколько регионов с очень высокой интенсивностью формирования техногенных (искусственных) ландшафтов. В Московской области

Таблица 2.

Классификация техногенных отложений (по [7].

Класс	Группа	Подгруппа		Тип	Подтип	Вид	Разновидность
Техногенно образованные	По виду деятельности (источнику формирования): строительное, горное, промышленное производство, коммунальное хозяйство	Насыпные	Свалки	Твердые коммунальные и бытовые отходы Грунты культурного слоя	Блочные, скальные и полускальные, песчаные, пылеватые, глинистые	Рыхлые, уплотнившиеся	По показателям вещественного состава и физико-механических свойств
			Отвалы	Шлаки металлургические Шламы		Распавшиеся, нераспавшиеся	
		Намывные	Гидро-отвалы	Золошлаки Золы Шламы		Химически активные Инертные	
Техногенно переотложенные		Насыпные	Отвалы	Горного производства (открытая и подземная разработка полезных ископаемых) Строительные		Свежеотсыпанные Уплотнившиеся	
			Планомерно отсыпанные массивы	Грунты земляных сооружений Грунты подготовленных для строительства территорий		Рыхлые Средней плотности	
		Намывные	Гидро-отвалы	Горного производства Хвосты обогащения		Свеженамывные	
			Планомерно намытые	Грунты земляных сооружений Грунты намывных территорий		Уплотнившиеся Упрочнившиеся	
Техногенно измененные		Измененные физическим воздействием	Планомерно и нецеленоправленно сформированные массивы	Уплотненные Разуплотненные Замороженные Оттаившие Обезвоженные		Упрочненные	
		Измененные физико-химическим воздействием		Увлажненные Осушенные Химически модифицированные Химически закрепленные		Разупрочненные	

Таблица 3.

Классификация антропогенных отложений г. Ташкента (по [60])

Комплекс	Тип	Вид	Разновидность
Насыпные	Строительный	Грунты зоны дренажей и современной застройки	Суглинки и супеси с включениями строительного материала
		Грунты древних оборонительный сооружений	Суглинки погребенные, глинобитные стены, кирпичная и бутовая кладка
		Грунты дорог и дорожные насыпи	Суглинки, супеси, гравий, галька, песок
	Производственный	Грунты земляных плотин и дамб	Суглинки
		Отходы древнего ремесленного производства	Золы, обломки керамики, шлака, металла
		Отходы современного производства	Шлак, зола, формовочные земли
	Хозяйственно-бытовой	Грунты современных и бывших кладбищ	Суглинки с включениями кирпичной кладки, камней, костей
		Культурные почвы садов и огородов	Суглинки, супеси обогащенные гумусом
	Полигенный	Засыпанные долины каналов, овраги и карьеры	Суглинки и материал пестрого состава
Отложения искусственных водоемов	Отложения каналов	Не определен	Галечник, гравий, песок, ил
	Отложения озер	Не определен	Глинистые осадки, ил

преобладают техногенные ландшафты, образовавшиеся при городском строительстве (70 %) или концентрации бытовых отходов (15 %).

В Липецкой, Курской и Тамбовской областях, территории которых отнесены к районам с высокой интенсивностью преобразования природных ландшафтов в техногенные, более 60 % приходится на долю агроландшафтов. К районам средней интенсивности образования техногенных ландшафтов относятся Брянская, Смоленская, Калужская, Нижегородская области, где на долю агроландшафтов приходится 20 - 40 %, до 50 - 60 % агроландшафтов приходится на Пензенскую и Новосибирскую область [39, 60].

В Псковской, Ивановской, Ярославской областях примерно 40 % техногенных ландшафтов это агроландшафты, 25 % - на ландшафты измененные мелиорацией и 25 % - урболандшафты. В Орловской области и Поволжье ирригационные ландшгафты занимают около 40 % площади, агроландшафты - 50 % [39, 60].

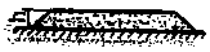
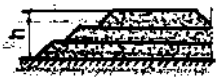
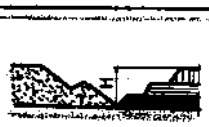
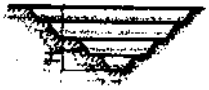
В Уральском регионе, в связи с широким развитием горнодобывающей промышленности, на долю ландшафтов, сформированных отвалами, связанными с добычей угля приходится 50 %, железной руды - 30 %. Аналогичные регионы могут быть выделены и в Сибири, например, в Кемеровской области при добыче угля образуется 90 % искусственных ландшафтов [39, 60]. В Пермской области и Хабаровском крае на долю ландшафтов, сформированных искусственными грунтами угледобыми, приходится соответственно 60 и 20 % образованных искусственных грунтов [39, 60].

Нами уже отмечалось, что любые техногенные отложения – техногенные грунты, антропогенно- и техногенно–измененные почвы, отвалы месторождений и т.д. входят в такое понятие, как техногенный литогенез. Т.е. именно техногенный литогенез формирует техногенные отложения, которые образуют, в свою очередь, техногенные формации и техногенные фации.

Техногенный литогенез, это новый, современный, «неогеологический», особый тип литогенеза, связанный исключительно (прямо или

Таблица 4.

Классификация нарушений земной поверхности (по [59])

Класс нарушений	Вид, характер нарушений	Параметры нарушений	Элементы открытых разработок	Поверхностный слой (группа поверхностного слоя)	Вид освоения	Индекс вида нарушений
I		10 м 10 га 10 м	Траншеи, канавы, дамбы	Потенциально плодородный (1), нейтральный (наносы) (2), нейтральный (скала) (3), фитотоксичный (4),	Пашня, лес, сад, пастбища	I I I I
II		10 м	Поверхность внешних отвалов, гидроотвалов, шламохранилищ	Потенциально плодородный (1), нейтральный (наносы) (2), нейтральный (скала) (3), фитотоксичный (4),	Пашня лес, сад пастбища, застройки	II II II II
III		10 м 10 га	Откосы отвалов и поверхность отвалов с площадью участка менее 10 га	Потенциально плодородный (1), нейтральный (наносы) (2), нейтральный (скала) (3), фитотоксичный (4)	Лес, пастбища	III III III III
IV		100 100	10 м 10га	Карьеры гориз.	Потенциально плодородный (1), нейтральный (наносы) (2), нейтральный (скала) (3), фитотоксичный (4)	Водохранилища, зоны отдыха, пруды для рыбоводства	IV IV IV IV
V		100 м 100 га	Глубокие карьеры	Потенциально плодородный (1), нейтральный (наносы) (2), нейтральный (скала) (3), фитотоксичный (4)	Водохранилища лес, сад	V V V V

косвенно) с техногенной деятельностью человека, процесс формирования любых искусственных геологических образований. В большинстве случаев техногенный литогенез, в отличие от естественных видов литогенеза, является азональным [34, 36, 37, 39].

В сложном комплексе техногенного литогенеза выделены техногенные формации, т.е. комплекс техногенных отложений или образований, распространенный на значительную площадь и имеющий определенную мощность (обычно не менее 1 метра) и соответственно техногенные фации, к которым можно отнести [34, 36, 37, 39]:

«Геотехногенные» и «гидрогеотехногенные» фации, включающие отвалы шахт, карьеров, каналов и канав, терриконы, искусственные водоемы на месте добычи полезных ископаемых, шламохранилища, золо - и шлакоотвалы, искусственные гидротехнические сооружения (водохранилища, каналы), донные и иные отложения искусственных водоемов и др.

«Террафации» и «итэрфации» (от латинского «terra» - земля, «iter» - дорога) - дорожные и прочие искусственные насыпи, польдеры, искусственные земли (техногенные грунты, техноземы и др.), а также различные строительные сооружения как на уровне земной поверхности, или искусственных насыпей, так и находящиеся в толще горных пород.

«Агрофации», к которым относятся антропогенно-измененные почвы, сельскохозяйственные угодья, пастбища, места содержания скота, искусственные почвы (плаггены, древнеорошаемые почвы, хейлуту, рисовые чеки, и др.).

«Мортуусфации», (от латинского «mortuus» - мертвый) – ритуальные сооружения: курганы, могильники, захоронения, погребальные сооружения, некрополи, каменные выкладки и обкладки курганов, менгиры, дольмены и др.

«Кэнумфации», (от латинского «caenum» – грязь, нечистоты) – свалки, полигоны ТБО, скотомогильники, отстойники и др.

«Урбофации» - культурный слой урбанизированных и протоурбанизированных территорий (стойбищ, поселений, городищ, селищ, городов и др.), культуросодержащие и культуровмещающие отложения, разрушенные, переотложенные, трансформированные (природными или техногенными процессами) культурные слои, местонахождения артефактов и др.

«Спелеофации» – подземные сооружения (находящиеся ниже уровня поверхности) различного назначения (ритуального, бытового, военного, промышленного и т.д.): шахты, штольни, различные горные выработки, подвалы, подземные ходы, бункеры, схроны, подземные церкви, мечети, монастыри и т.д., а также отложения в них [34, 32, 36, 37, 39].

Следует отметить, что могут существовать определенные виды промежуточных техногенных (а также природно-техногенных) фаций, сочетающих в себе несколько (или даже все) виды техногенных фаций.

Степень и интенсивность взаимодействия человека и лито-педосферы зависит от природно-климатических условий местности, гидрологических особенностей, растительности и прочих природных компонентов, а также длительности и интенсивности техногенного воздействия. Именно данные процессы формируют специфическую структуру, которая отвечает определению «культурного слоя», одного из вида сложных техногенных фаций, включающих в себя и геотехногенные фации, и урбофации, и мортуусфации, и кэнумфации и ряд других техногенных фаций, что и определяет его гетрогенность.

Термин «культурный слой» появился в научном мире из работ археологов [2, 3, 4, 6, 8, 53, 54, 55, 56, 57, 58, 64, 65, 68, 70] и культурные слои поселений фиксируются с момента появления первых стоянок древнего человека в раннем палеолите [53, 54]. По определению археологов - культурный слой это слой или пласт любой горной породы и почвы со следами деятельности человека, т.е. наличия в его толще различных артефактов [56].

Понятие культурного слоя определяется также «…как слой земли (напластование) на месте поселений минувших эпох (городов и сельскохозяйственных поселений, состоящий из двух связанных компонентов – остатков сооружений (строительных и архитектурных, развалин), являющихся его скелетом, и напластований или наслоений (насыпей), отражающих основные направления хозяйственной жизни…» [47].

Отмечается, что культурный слой фиксирует отношение явлений, изучаемых археологией к природной среде, кроме того, определение культурного слоя соответствующее процессу, невозможно без использования понятий «техносфера», «техногенез», «культурный ландшафт» [37].

По мнению Н.Б. Леоновой культурный слой понимается как сложная система материальных свидетельств деятельности конкретной культурно-исторической общности, включенных в геологическое образование и взаимодействующее с ним [16].

Изучение культурных слоев предпринималось инженер-геологами [14, 50, 51, 52, 63]. С точки зрения инженер-геологов культурный слой относится к искусственным грунтам без кристаллизационных связей [63]. В ряде случаев культурным слоем называют породы заброшенных шахт [12].

Д.Ю. Здобин [18], вероятно одним из первых исследователей, кто попытался классифицировать культурный слой, определяя его именно как «…геологическое образование, часть литосферы (шире – биосферы, еще шире – ноосферы…», отмечая при этом, «…что к нему применимы все естесвенно-научные методы исследований, в том числе и геологические…» [18].

Таким образом, Д.Ю. Здобин определяет культурный слой как «… полигенетическое, исторически сложившееся образование (искусственное геологическое тело), включающее в себя антропогенные образования (археологические артефакты, техногенный грунт и палеопочвы…» [18]. Но, тем не менее, в основе классификации Д.Ю. Здобина положена все та же инженерно-геологическая классификация, при этом автор отмечает, что неоспоримым преимуществом грунтоведческой классификации является генетическая составляющая – общая инженерно-геологическая классификация, построенная на генезисе образований, а также «…их математическая наполненность – строгое цифровое выражение выделяемых объектов…» [18].

Отметим, что к культурному слою Д.Ю. Здобин в той или иной степени относит и наскальную живопись. Вероятно, наскальная живопись всё же не имеет отношения к культурному слою, это скорее артефакт, определенный вид воздействия человека на горные породы, не связанный непосредственно с техногенными отложениями, так как отложения, грунт, всё же подразумевают под собой определенное накопление или изменение техногенного материала. Наскальная живопись сродни так называемому «подъемному материалу», т.е. тем артефактам, которые волю случаю оказались на поверхности, и не привязаны ни к культурному слою, ни к иным техногенным отложениям.

Ф.В. Саваренский определял культурный слой как класс искусственно созданных грунтов, обладающими в зависимости от уплотненности и связанности различными физико-химическими свойствами, отмечая, что современный культурный слой - это рыхлый, не слежавшийся материал, иногда содержащий неразложившиеся органические остатки. По мнению Ф.В. Саваренского древние культурные слои отличаются большим уплотнением и связностью [63].

Накопление насыпного культурного слоя происходит при производстве земляных работ, подсыпке грунта, благоустройстве территории, и что немаловажно - за счет накопления мусора. Например, значительные массы грунта были извлечены при строительстве в Москве оборонительных рвов вокруг Кремля, Китай-города, Белого и Земляного города, а в 30-40 годы XX века при строительстве Московского метрополитена. Материал использовался для засыпки логов и оврагов на окраинах и посыпки пониженных участков на территории г. Москвы [63].

Техногенные отложения и грунты на территории г. Москвы разделяют на три группы [61,

62]: перемещенные (аналогичные по составу природным грунтам); отходы строительного и промышленного производства; твердые бытовые отходы с большим содержанием органического вещества. Кроме того, выделяют погребенные дорожные покрытия (булыжник, брусчатка, асфальт, бетон), фундаменты (кирпичные и др.) и мелиорированные грунты.

С.И. Петренко [61] выделяет 4 основные зоны современного рельефа Москвы:

- неизмененного рельефа
- минимального изменения рельефа, с мощностью техногенных отложений до 1 м, реже до 3- 6 метров
- умеренного изменения рельефа, с мощностью техногенных грунтов до 3 метров, метами – 6- 10 метров
- максимального изменения рельефа, с мощностью техногенных грунтов свыше 6-10 метров,

Техногенные отложения – специфическая генетическая группа современных континентальных образований, происхождение которых связано с практической деятельностью человека [7, 61].

Техногенные отложения широко развиты по всей территории Москвы, причем сплошным мощным чехлом покрыта наиболее древняя часть города – центр (в пределах Садового кольца) и участки естественных понижений и пойм рек.

Средняя мощность техногенных отложений по данным различных авторов определяется от 2-4 метров (1 метр и менее на окраинах и в районах новостроек) до 20-24 метров в центре города, максимальные мощности техногенных отложений характерны для засыпанных оврагов, долин рек, болот, старых карьеров и выработок [34, 38, 39, 61, 62].

Например, мощность насыпного грунта на бывшем Пашенском болоте достигает 18 метров (старые торфоразработки 19 века), на бывшем Сукином болоте – 10 метров, Козьем болоте 4 метра. В районе Неглинки, и засыпанных вдоль нее болот и прудов – от 3 до 10 метров, на Болотной площади – 4-5 метров [39, 61, 62].

Весьма характерны мощные техногенные отложения в районе набережных Москва реки и Яузы, связанные с отсыпкой грунта при строительстве или при стихийных свалках мусора. Например, в районе Кропоткинской, Кремлевской и Москворецкой набережной отметки поверхности повысились на 8-10 метров, Смоленской – до 10 метров, Кожевнической и Дербеневской – до 8 метров, Фрунзенской и Новоспасской – до 6 метров, Краснопресненской – от 8 до 12 метров [61, 62].

Следует отметить, что в большинстве случаев техногенные отложения Москвы характеризуются неоднородностью материала, что связано как с геологической неоднородностью строения, так и с производственно-хозяйственной деятельностью. Однако однородные отложения все же присутствуют как результат планомерной отсыпки насыпей и намыва грунтов при планировке территории (например, Лужники, Южный порт), а также при складировании грунта и при строительстве метрополитена.

Б.М. Даньшин определял техногенные отложения Москвы как «…культурную насыпь, представляющую собой «…темную мусорную суглинисто-супесчаную породу, большей частью довольно рыхлую…». В толще культурной насыпи встречаются «…обломки древесины, угля, кирпича, известки, обделанного известняка, черепки гончарной посуды, стекло, банки, склянки, ржавые железные изделия, кости животных, а в местах многочисленных прицерковных кладбищ и человеческие кости…» [14]. В ряде случаев «…в периферической части города и редко в центральной культурная насыпь представлена перекопанной местной породой (чаще песок), обогащенной перегноем и обломками изделий. Особой разновидностью культурной насыпи являются известковые и кирпичные кладки фундаментов и зданий погруженных в культурный слой»..» [14].

При исследовании разновозрастных культурных слоев Москвы: ул. Ильинка, 3 (XIII – XIV век), Гостиный Двор (XVI – XVII век), Б. Харитоньевский переулок (Юсуповский дворец, XVIII - XIX век), Тверской бульвар (XVII - XIX век), Лефортовский парк (XVIII век), Царицыно (XVIII - XIX век), Старый Ботанические Сад (Проспект мира, XVIII - XX век), Романов переулок. (XVII - XVIII век), Арбатская площадь. (XVI - XVIII век), Манеж (XV-XVIII в.в.) и ряд других объектов, нами были отмечены определенные специфические литологические особенности, а также специфика микростроения [25, 28, 29, 33, 34, 37, 39, 40, 41, 42].

Вне зависимости от геологической основы формирования для культурного слоя Москвы характерна высокая перемешанность и гетерогенность, в ряде случаев слоистость, иногда присутствие отдельных почвенных горизонтов. Цвет культурного слоя в основном бурый, темно-бурый, до черного.

Для культурного слоя Москвы характерно высокое количество техногенных включений (привнесенных минеральных и органических) - обломки кирпича, извести, известняка, керамики, металлические предметы, гравий и щебень различных горных пород, стекло, шлак, асфальт, бетон, уголь (древесный и каменный), древесина в различной степени разложения. В ряде случаев

количество техногенных включений может составлять 90 и более %. В отдельных случаях отмечено исключительно высокое содержание органического вещества (углей, древесины, бересты), в различной степени разложения. Некоторые горизонты и слои на 80-90% состоят из органического вещества.

В зависимости от геологических условий формирования, культурный слой может быть псаммитого, алевритового или пелитового, а также смешанного и переменного состава. Для микростроения культурного слоя Москвы характерна высокая гетерогенность, сосуществование различных микрозон, генетически не связанных друг с другом. В минеральном составе преобладает кварц (до 50-60 %), в основном окатанные или угловатые зерна размером от 0.01 до 2 мм. Также характерны минералы группы амфиболов и пироксенов, полевых шпатов, глауконит, оксиды и гидроксиды железа, включения мелкой гальки и дресвы гранитного, гранито-гнейсового, гнейсового состава, включения известняка, обломков кости, в ряде случаев замещенной халцедоном. Весьма характерны натеки, пленки гумусового, гумусо-глинистого, глинисто-гумусо-железистого и иного состава, включения тонкораспыленных углистых частиц. Весьма характерны следы переувлажения, высокое содержание карбоната кальция, высокое содержание органического вещества, повышенная щелочность, высокое содержание фосфора. Отметим, что высокое содержание тяжелых металлов характерно для культурного слоя города [15, 19, 20, 22, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 33, 34, 35, 39, 41, 45].

Е.М. Сергеев отмечал, что культурный слой является сложным образованием, под которым понимают «...верхние слои земли крупных населенных пунктов, несущие в себе отпечаток деятельности человека...» [63]. По мнению Е.М. Сергеева «...в местах поселений человека в течение десятилетий и столетий на поверхности земли формируется слой, который по вещественному составу и свойствам отличается от естественных нижележащих пород. В культурном слое в качестве остатков встречаются самые разнообразные материалы, как-то: строительный мусор, битый кирпич и камень, предметы домашнего обихода - глиняные черепки и т.п.» [63].

Формирование культурного слоя связано как с геологическими и геоморфологическими условиями местности, так и с историей города, характером хозяйственно-культурной деятельностью человека.

В состав культурного слоя включены оставшиеся в нем фундаменты, погреба, срубы колодцев, сваи, шпунты, ряжы и другие сооружения. Культурный слой имеет своеобразный состав, формирующийся в процессе его образования. Минералого-петрографический состав основной массы культурного слоя обусловлен чаще всего геологическими условиями местности, а состав включений определяется характером хозяйственно-культурной деятельности человека [34, 39, 51, 52].

В отличие от горных пород природного происхождения культурный слой в большинстве случаев весьма неоднороден по своему составу, причем неоднородность проявляется как по вертикали, так и по горизонтальному направлению. Часто в составе культурного слоя присутствуют разнообразные органические включения, количество которых уменьшается с увеличением возраста культурного слоя.

Условия накопления культурного слоя в городе могут быть специфическими в соответствии с естественноисторической обстановкой (особенностями рельефа, заболоченностью, наличием оврагов, балок), а также с характером строительных мероприятий (сооружение каналов, рвов, дамб, валов, срезание или подсыпка грунта) [52]. При проведении инженерно-геологических исследований и изысканий при строительстве Московского метрополитена, инженерами-геологами был достаточно детально изучен культурный слой Москвы. Мощность культурного слоя изменяется от центра города к окраинам - средняя мощность отложений в центре Москвы более 10 метров, на окраинах менее 1 метра [14].

По определению географов и почвоведов [5, 67, 69, 70] культурный слой - это антропогенный почвенный или почвенно-литологический горизонт, образованный на месте поселения людей, включенный в профиль, как древних, так и современных почв.

Рядом авторов подчеркивается, что культурный слой является уникальным объектом, продуктом «…творения природы и человека, имеющим двойственную основу – природный и антропогенный компонент…» [67]. Природный компонент представляет собой «...особый почвенно-литологический субстрат, образованный из почвенного горизонта или из горной породы, послужившей основой для формирования данного культурного слоя…» [67]. Антропогенный компонент культурного слоя – это материальные остатки деятельности человека, возникшие на местах поселения человека или привнесенные извне. Как правило, чем древнее культурный слой, тем больше в нем природной и меньше антропогенной составляющей. Исключением являются специализированные поселения (мастерские, места массового забоя животных) или поселения, где существовали различные вымостки, тропы, улицы, использовался трудноразрушимый мате-

риал для строительства жилищ [67, 68]. Однако С.А. Сычевой культурный слой определяется и как «...особая порода (???, А.К.), созданная людьми на месте их обитания при участии различных природных процессов…» [67, 70]. Следует отметить, что культурный слой может быть создан человеком и без участия природных процессов, например, накопление различного рода материала, не имеющего природных аналогов - шлаки, золошлаки, зола и т.д.).

Основным отличием культурного слоя, как почвенно-литологического субстрата от других типов техногенных отложений, в частности антропогенно-измененных почв, по мнению ряда исследователей, является наличие в нем артефактов, определенных вещественных остатков искусственного происхождения, т.е. «…культурный слой можно определить как целостное природно-историческое тело, …представленное вещественными остатками искусственного происхождения (артефактами), и органоминеральным субстратом (заполнителем), имеющим природные и антропогенные составляющие...» [67, 70].

Исследование культурного слоя и связанной с ним палеоэкологической реконструкции - важнейшее направление современных археологических исследований. Изучая культурный слой, археологи фиксируют не только различные находки, но пытаются реконструировать весь комплекс археологического объекта, оценить длительность существования объекта, освоение прилежащих территорий, решить некоторые частные задачи (использование сырьевой базы, интенсивность заселения территории). Ряд исследователей отмечают, что культурный слой – это поверхностные и приповерхностные части земной коры, превращенные деятельностью человека в целостную систему напластований и сооружений, рельефов и ландшафтов.

М.В. Александрова отмечала, что «…культурный слой имеет смешанный антропогенно-природный генезис и состоит из двух равноценных частей «собственно материальных остатков поселения» и «заполнителя» (четвертичной породы, сохраняющей материальные следы присутствия и модификации ее человеком палеолита, являющейся в значительной степени продуктом его жизнедеятельности) выступая одновременно органически целостным образованием…» [3, 4].

По мнению Н.Б. Леоновой процесс формирования культурного слоя может быть одноразовым (непрерывным) или площадь могла использоваться многократно [53]. При классификации культурных слоев в археологии предлагается разделение на слои первичной, остаточной и вторичной концентрации культурных материалов [55], причем ряд авторов определяют истинный культурный слой, только в случае первичной концентрации артефактов [54, 57, 58]. Рядом авторов отмечены и своеобразные нарушенные культурные слои [64].

С.Д. Захаров отмечает, что могут существовать и «размываемые культурные слои», формирующиеся на месте затопленных поселений и городов, определяя при этом некоторые особенности культурного слоя связанные с его затоплением и разрушением: «…Вода как бы производит «горизонтальную зачистку» слоя. В случае большей крутизны берега возникает значительный абразионный врез, вызывающий интенсивное разрушение культурного слоя и отступание береговой линии… В ходе этого процесса идет постоянное погребение вымытых артефактов продуктами абразии и их проецирование на площадь размыва новых изделий…» [39]. В данном случае фактически образуется культурный слой, состоящий исключительно из одних артефактов, при этом артефакты могут образовывать (в случае размывания разновозрастных культурных слоев или культурных слоев относящихся к различным археологических этапам или культурам) своеобразные «местонахождения культурных остатков», тяготеющие часто к берегам рек, озер, современных водохранилищ и т.д.

И.С. Каменецкий различает «правильные» и «мусорные» напластования, определяя «правильными» те культурные слои, которые образовались постепенно на месте человека (остатки жилищного строительства, золы из очагов и печей, кости животных и рыб, обломки керамики и др.), причем особенность правильных напластований – одновременность слоя с входящим в него материалом. «Мусорные» слои связаны с вывозом мусора и являются свалочными, переотложенными, или как частный случай опрокинутые [47].

Кроме того, наравне с термином «культурный слой» выделено понятие «культурных отложений», «культуросодержащих отложений» или «культуровмещающих геологических слоев» [57, 58], под которым понимается все разнообразие захоронения и консервации следов деятельности древнего человека. Под культурными отложениями понимаются [57, 58]:

1. «Первично-погребенные» (тафономичные) - непотревоженные, залегающие на месте своего первоначального захоронения;

2. «Перезахороненные», т.е. разрушенные первично погребенные культурные отложения, фиксируемые нарушением первоначальной планиграфии и стратиграфии, но часто с сохранением на прежнем геоморфологическом уровне;

3. «Переотложенные», т.е. перемещенные с

места первоначального захоронения на другие участки, гипсометрические уровни и геоморфологические формы, при этом артефакты включены в иной геологический слой, пачку, пласт, во всех случаях более поздний по возрасту чем сам культура;

4. «Экспонированные», когда «...при деструкции кроющих и вмещающих геологических отложений, проекции культуры на поверхность подстилающих пород и отсутствии нового захоронения культурные образования имеют поверхностное залегание…».

Следует отметить, что подобная классификация в настоящее время применяется исключительно к культурным слоям палеолита и исключительно С.А. Несмеяновым.

Наиболее распространенным признаком длительного функционирования поселения является, по мнению археологов, мощность культурного слоя [53]. В ряде случаев мощность культурного слоя максимальна в отрицательных формах рельефа [50, 51, 52]. Тем не менее, отметим, что мощность и площадь культурного слоя может быть связано не только с длительностью освоения территории, но и с интенсивностью и мощностью техногенного воздействия.

Для многих городов мощность культурного слоя может достигать первые десятки метров. Так, например, мощность культурного слоя в Москве достигает 24 метра, Одессе и Киеве до 44 метров, Перми - 40 метров, Таганроге - 25 метров, Ростове-на-Дону - 25 метров, Воронеже - 20 метров, Ташкенте - 18 метров, Волгограде - 17 метров, Новгороде - 14 метров, Саратове - 12 метров, Санкт-Петербурге - 10 метров, Лондоне - 25 метров, Париже - 20 метров, Сан-Франциско - 23 метра [52].

Некоторые древние (и ныне не существующие) поселения, протополисы и города имели значительную площадь, при этом мощность культурного слоя также могла достигать нескольких метров.

Для некоторых древних поселений характерны телли - искусственные холмы, представляющие собой многометровые наслоения развалов глинобитных стен и строений (фактически представляющие собой культурный слой). Мощность теллей может достигать 32-36 метров (Анау, Намазга-Тепе) [56].

Культурные слои различных эпох имеют индивидуальную специфику, связанную с прогрессивным развитием человека (владение огнем, строительство жилищ) и как особое природно-историческое тело, имеет свою историю развития, в которой можно выделить несколько этапов [67, 68, 69, 70]:

1. Подготовительный: уничтожение растительности, нарушение почвенного покрова, микро- и даже мезорельефа при рытье ям, строительстве жилищ, оборонительных и иных сооружений. При этом часто образуется «строительный горизонт», который можно рассматривать как один из подуровней в стратиграфии одновозрастного культурного слоя.

2. Функциональный: формирование культурного слоя во время существования поселения за счет различных механизмов поступления материала, как антропогенных, так и природных. В процессе формирования культурного слоя изменяются первоначальные свойства почвы или горной породы, появляются новые. Идет постепенное захоронение дневной почвы под культурными остатками. В формировании культурного слоя принимают участие не только антропогенные процессы и характеристики; численность коллектива, длительность обитания, плотность населения, специфика быта и хозяйственной деятельности, - но и природная обстановка. Сухие или влажные, холодные или теплые условия поразному формируют свойства культурного слоя.

3. Заключительный – формирование (? А.К.) культурного слоя после ухода населения. Существование оставленного людьми поселения до полного его «погружения» (? А.К.) во вмещающую его породу или почву. В этот период важна роль природных процессов: скорость разрушения жилищ, заплывания рвов и ям, оплывания валов, скорость погружения культурного слоя в консервирующий горизонт зависят от геоморфологических условий, водного и воздушного режимов, типа почв, растительности, поведения животных и т.д.

В последнем случае не ясно, что означает фраза «…формирование культурного слоя после ухода населения...». После оставления мест жизнеобитания человека происходит процесс деградации культурного слоя, его разрушения, размыва, смыва или консервации под современными осадками.

Абсолютно непонятен и термин «…погружение культурного слоя…». Культурный слой может быть захоронен под более молодыми осадками (а иногда и под более древними, если произошло его перемещение, связанное например, с обвалами или оползнями), но не может «погружаться в них». Если культурный слой разрушен, размыт, переотложен, то он является в той или иной степени перемещенным, нарушенным, разрушенным, но никак не «погруженным во вмещающую его породу или почву».

По мнению С.А. Сычевой, развитие и формирование культурного слоя начинается с процессов формирования антропогенно-измененных почв, образование которых на первом этапе

связано с инженерно-хозяйственной и культурно-бытовой деятельностью человека, которая зачастую влечет за собой разрушение почвенного слоя, рельефа, и является одной из первых ступеней развития культурного слоя [67, 68].

В данном случае возникает ряд вопросов, которые касаются возможности существования почвенного покрова в районе формирования культурного слоя. Далеко не всегда в месте возникновения культурного слоя мог быть почвенный покров (например, на песчаных мысах, в пещерах и т.д.). Следовательно, человек не мог формировать на месте поселения, стойбища и т.д. антропогенно-измененные почвы (если там вообще не было почвенного покрова!), или почвенный покров очень слабо развит (например, слабовыраженный гумусовый горизонт молодых почв, мощностью несколько миллиметров, реже 1-2 см). В ряде случаев почвенный покров мог быть вообще полностью уничтожен (например, при строительстве, нивелировке поверхности), и соответственно антропогенно-измененные почвы на месте поселения не могли быть сформированы! И последний вопрос, который связан с постоянными теоретическими спорами, – а что собственно считать «антропогенно-измененными почвами»?

Н.Б. Леонова [53, 54, 55] выделяет три основных периода в «жизни культурного слоя», которые по-разному отражаются на его структуре (применительно к культурным слоям палеолита):

- Период непосредственного отложения различных материальных остатков;
- Период «бытования» (???, А.К) оставленного людьми памятника «…до его полного погружения во вмещающую породу…» (в данном случае также непонятно, что подразумевается под термином «погружение» А.К.);
- Существование памятника в погребенном состоянии, при этом на характер и сохранность последнего существенно влияют процессы почвообразования, химизм почвы, эрозионные процессы, режим влажности, деятельность роющих животных.

Таким образом, рассмотрев и проанализировав различные понятия термина «культурный слой», можно отметить, что в широком смысле слова, культурный слой - это отголосок определенной материальной культуры, а в узком смысле слова – это скопление бытовых, производственных и иных отходов, своеобразный тип отложений, созданный человеком на местах его жизнеобитания при участии различных природных и техногенных процессов.

Нами неоднократно отмечалось, что культурный слой древних и современных урбанизированных и протоурбанизированных территорий - это специфический литогенно-педогенный субстрат, один из видов техногенного литогенеза, своеобразная техногенная фация, сформировавшийся в местах жизнеобитания человека, и обладающий рядом специфических свойств, отличающих его от горных пород и почв, послуживших базисом его формирования, в ряде случаев не имеющий природных аналогов. В целом культурный слой является зоной интенсивных процессов техногенного седиментогенеза и первых стадий техногенного диагенеза [21 -30, 33 - 42].

Совокупность специфических геохимических, физико-химических, гидрологических, микробиологических особенностей культурного слоя дает возможность возникновения и формирования ряда минералов и минеральных ассоциаций, многие из которых являются своеобразными минералами-индикаторами геоэкологической обстановки. Ряд аутигенных минералов являются нехарактерными, а иногда не встречаются в горных породах и почвах биоклиматической зоны, в которой происходило формирование и развитие культурного слоя [21 - 30, 33 - 42]. Ряд минералов является индикаторами древней и современной геоэкологической обстановки урбанизированной территории.

Изучение культурного слоя в настоящее время не только археологическая или палеопочвенная задача, это еще и решение важных палеоэкологических проблем – ре¬конструкция древнего техногенного воздействия и среды обитания.

Реконструкция среды обитания предполагает определение древней геологической и геоморфологической среды, почвенного покрова, растительности. Исследование палеорельефа важно не только с точки зрения изучения природных процессов, но как процесс фор¬мирования искусственных форм рельефа. Древние техногенные формы рельефа – это и территория древних поселений, городищ, городов, это курганы и могильники, оборонительные валы, дренаж¬ные и ирригационные каналы, рвы, телли, «ишаны», отвалы древних шахт и горных выработок. В ряде случаев древние антропогенные формы рельефа практически пол¬ностью формируют рельеф местности.

Петрографо-минералогическое исследование различных техногенных отложений, в том числе и культурного слоя древних поселений, в частности исследование на микроуровне, в прозрачных шлифах, а также на субмикроуровне, с применением методов электронной микроскопии, дает возможность определить временное и пространственное изменение почв и горных пород, на которых сформировался культурный слой, под воздействием антропогенной деятельности. Подобные исследования позволят избе-

жать терминологических и фактических ошибок не только в археологических, но и в почвенно-археологических исследованиях.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Аникович М.В.* О методе исследования стоянок с переотложенным культурным слоем (на примере изучения Костенок 12) //Краткие сообщения Института Археологии АН СССР (КСИА), выпуск 202, 1990. С. 25 – 33.

2. *Абрамова З.А., Гречкина Т.Ю.* Культурный слой как отражение определенной конкретно-исторической реальности (на примере IV культурного слоя стоянки Кокорево I) //КСИА, вып. 202, 1989. С. 9 – 12.

3. *Александрова М.В.* Вопросы изучения палеолитического культурного слоя //Тезисы научно-практического семинара «Новое в методике археологических работ на новостройках РСФСР, Суздаль, 1989». М.: ИА АН СССР, 1989. С. 41 – 44.

4. *Александрова М.В.* Некоторые замечания по теории палеолитического культурного слоя // КСИА, выпуск 202, 1989. С. 4 – 8

5. *Александровский А.Л.* Почвы и культурный слой Москвы: Строение, история развития //Тезисы докладов Международной конференции «Проблемы антропогенного почвообразования». М., 1997. С. 96- 99.

6. *Александровский А.Л., Бойцов И.А., Кренке Н.А.* Почвы и культурный слой Москвы: строение, история развития, география //Известия РАН, серия географическая, № 3, 1997. С. 82 95.

7. *Афонин А.П., Дудлер И.В., Зиангиров Р.С., Лычко Ю.М., Огородникова Е.Н., Спиридонов Д.В., Черняк Э.Р., Дроздов Д.С.* Классификации техногенных грунтов //Инженерная геология, № 1, 1990. С. 115 121.

8. *Беляева В.И.* Единицы культурного слоя: теория и практика //Локальные различия в каменном веке. Тезисы докладов на Международной конференции, посвященной 100-летию со дня рождения С.Н. Замятина. СПб, 1999. С. 63 – 69

9. *Большаков В.А.* Картография и классификация деградированных почв //Техногенное воздействие на почвы и их плодородие: методы контроля. Научные труды конференции. М., 1991. С. 17 21.

10. *Викторова М.А.* Грунты несанкционированных строительных отвалоа и свалок (на примере территории г. Москвы) Автореф. на соиск. уч. степени канд. геол.-минер. наук. М., МГУ, 2007.

11. *Герасимова М.И., Строганова М.Н., Можарова Н.В., Прокофьева Т.В.* Антропогенные почвы. М.:, 2003. 266 с.

12. *Горшков С.П.* Концептуальные основы геоэкологии. М.: 2001. 569 с.

13. ГОСТ 25100-95 Грунты. Классификация. 1995.

14. *Даньшин Б.М.* Геологическое строение и полезные ископаемые Москвы и ее окрестностей. М. Изд. МОИП. 1947.

15. *Евдокимова А.К.* Тяжелые металлы в культурном слое средневекового Новгорода //Вестник Московского университета, серия 5, географическая, № 3, 1986.

16. Естественно-научные методы исследования культурных слоев древних поселений //М., НИА-Природа, 2004. 161 с.

17. *Етеревская Л.В., Донченко М.Т., Лехцие р Л.В.* К вопросу о систематике и классификации техногенных почв //Рекультивация земель в СССР: Тезисы Всесоюзной научно технической конференции, т. 2. М., 1982. С. 67 – 70.

18. *Здобин Д.Ю.* О классификации грунтов культурного слоя //Российская археология, 2008, № 1. С. 48-52.

19. *Кайданова О.В.* Накопление тяжелых металлов в почвах городов Курской области на разных исторических этапах //Антропогенная эволюция геосистем и их компонентов. М.: ИГ РАН, 1987. С. 127 – 142

20. *Кайданова О.В.* Геохимия культурных слоев городов //Эколого-геохимический анализ техногенного загрязнения. М.: ИМГРЭ. 1992. С. 126 – 133.

21. *Каздым А.А.* Аутигенные минералы культурного слоя города //Уральский геологический журнал. 2000, № 6(18). С. 153 – 157.

22. *Каздым А.А.* Петрографо-минералогические характеристики культурного слоя Гнездово //Труды ГИМ, выпуск 124. М., 2001. С. 202 – 203.

23. *Каздым А.А.* Техногенные минералы культурных слоев города //Минералогия техногенеза-2001, под ред. С.С. Потапова, Миасс, Имин УрО РАН, 2001. С.40 61.

24. *Каздым А.А.* Техногенные неогеологические отложения - культурные слои и процессы аутигенного минералообразования //Вестник РУДН. Серия «Экология и безопасность жизнедеятельности». 2001, № 5. . 45 – 53.

25. *Каздым А.А.* Культурный слой как один из видов техногенного литогенеза и его литогеохимические особенности //Минералогия техногенеза - 2002. Миасс, Имин УрО РАН, 2002. С. 226 – 247.

26. *Каздым А.А.* Литогеохимические особенности культурного слоя – продукта техногенного литогенеза //Уральский геологический журнал, 2002, № 4(28). С.225 231.

27. *Каздым А.А.* Геохимические и физико-химические характеристики техногенных отложе-

ний урбанизированных территорий (на примере г. Москвы) //Вестник РУДН. Серия «Экология и безопасность жизнедеятельности» 2002, № 6. С. 52 – 57

28. *Каздым А.А.* Литолого-микроморфологическая и геохимическая диагностика культурного слоя – подходы и перспективы //Экология древних и современных обществ. Вып. 2. Тюмень, изд. ИПОС СО РАН, 2003. С. 44 – 45.

29. *Каздым А.А.* Минералогическое и микроморфологическое изучение культурного слоя // Минералогия техногенеза-2004. Под ред. С.С. Потапова. Миасс. Имин УрО РАН, 2004. С. 165 – 182.

30. *Каздым А.А.* Химические элементы в древних техногенных отложениях (культурном слое) как индикаторы производственной и бытовой деятельности человека //Экологические системы и приборы, № 11, 2004. С. 15 – 20.

31. *Каздым А.А.* Курганы и могильники как техногенные формы рельефа и процессы техногенного аутигенеза //Пятые Всероссийские научные чтения памяти ильменского минералога В.О. Полякова. Миасс, 2004. С. 54 – 58.

32. *Каздым А.А.* Погребальные сооружения – некрополи, курганы, могильники, захоронения как техногенные формы рельефа и их воздействие на экосистему //Минералогия техногенеза-2005. Под ред. С.С Потапова. Миасс, Имин УрО РАН, 2005. С. 203 – 213.

33. *Каздым А.А.* Техногенные отложения Москвы – литология, геохимия, микростроение // Экологические системы и приборы, № 8, 2005. С. 17-22.

34. *Каздым А.А.* Техногенные отложения древних и современных урбанизированных территорий (палеоэкологический аспект). М., Наука, 2006. 158 с.

35. *Каздым А.А.* Геохимические параметры древних техногенных отложений //Сергеевские чтения. Вып. 8. М., ГЕОС, 2006. С. 114 –118

36. *Каздым А.А.* Техногенные отложения и культурный слой – к вопросу о систематике и классификации //Минералогия техногенеза-2007. Под ред. С.С. Потапова. Миасс. ИМин УрО РАН, 2007. С. 224 – 254.

37. *Каздым А.А.* Техногенные отложения и техногенное минералообразование. М.: Изд. «ИП Скороходов», 2008. 132 с.

38. *Каздым А.А.* Историческая экология. М.: «ИП Скороходов», 2008. 209 с.

39. *Каздым А.А.* Техногенные отложения и техногенное минералообразование. М.: РИС ФГУП ВИМС, 2010. 178 с.

40. *Каздым А.А., Верба М.П.* Микростроение культурного слоя древних поселений как устойчивый временной диагностический признак // Экология древних и современных обществ. Вып. 2. Тюмень, изд. ИПОС СО РАН, 2003. С. 46 – 49.

41. *Каздым А.А., Верба М.П., Черных Н.А.* Микроморфологическая и минералогическая диагностика древних антропогенных отложений (культурного слоя) //Вестник РУДН. Серия «Экология и безопасность жизнедеятельности», 2003, № 3 (9). С. 122 129.

42. *Каздым А.А., Леонова Н.Б., Несмеянов С.А., Воейкова О.А.* Литолого-микроморфологическая характеристика вмещающей толщи и культурного слоя палеолитической стоянки Каменная Балка II //Материалы IV Всероссийского совещания по изучению четвертичного периода. Сыктывкар, 2005. С. 160 – 161.

43. *Каздым А.А., Султанова Е.Ф., Хибарина В.А.* Техногенные отложения, культурный слой и антропогенно-измененные почвы – проблемы классификации и терминологии //Актуальные проблемы экологии и природопользования. Вып. 6, ч. 1. М., Изд. РУДН, 2004. С. 266 – 269.

44. *Каздым А.А., Султанова Е.Ф., Седов С.Н.* Микростроение погребенных почв и культурного слоя Костенки 14 //Материалы IV Всероссийского совещания по изучению четвертичного периода. Сыктывкар, 2005. С. 162 – 163.

45. *Каздым А.А., Уткина О.Г.* Тяжелые металлы в древних техногенных отложениях как индикаторы бытовой и производственной жизнедеятельности человека //Материалы 2-ой Международной геоэкологической конференции «Геоэкологические проблемы загрязнения окружающей среды тяжелыми металлами». Тула, 2004. С. 21 – 26.

46. *Каздым А.А., Уткина О.Г., Копицына Е.А., Любчанский И.Э.* Курганы и могильники как техногенные формы рельефа и их литогеохимические особенности (на примере археологических памятников Кондуровской долины, Челябинская обл.) //Актуальные проблемы экологии и природопользования. Выпуск 6, часть 1. М.: Изд. РУДН, 2004. С. 262 – 265.

47. *Каменецкий И.С.* К теории слоя //Статистико-комбинаторные методы в археологии. М.: Наука, 1970. С. 83 –94.

48. Классификация и диагностика почв России //Сост. Л.Л. Шишов, В.Д. Тонконогов, И.И. Лебедева, М.И. Герасимова. Смоленск: Ойкумена, 2004. 342 с.

49. *Колесников Б.П., Пикалова Г.М.* Классификация промышленных отвалов и условия почвообразования на них //Рекультивация земель в СССР. М., 1973. С. 33 – 64.

50. *Котлов Ф.В.* Изменение природных условий территории Москвы под влиянием деятельности человека и их инженерно-геологическое значение. М., 1962. 220 с.

51. *Котлов Ф.В.* Антропогенные геологические процессы и явления на территории города. М.: Недра, 1977. 171 с.

52. *Котлов Ф.В.* Изменение геологической среды под влиянием деятельности человека. М. Недра. 1978. 263 с.

53. *Леонова Н.Б.* Длительность обитания на верхнепалеолитических стоянках // Проблемы палеоэкологии древних обществ //Под ред. Н.Б. Леоновой, С.А. Несмеянова. М., 1993. С. 74 – 98.

54. *Леонова Н.Б., Несмеянов С.А.* Проблемы палеоэкологической характеристики культурных слоев //Методы реконструкции в археологии. Новосибирск: Наука, 1991. С. 219 – 246.

55. *Леонова Н.Б., Несмеянов С.А., Матюшкин И.Е.* Региональная и локальная палеоэкология каменного века // Проблемы палеоэкологии древних обществ. М., 1993. С. 3 – 18

56. *Матюшин Г.Н.* Археологический словарь. М. Просвещение, 1996. 304 с.

57. *Медведев Г.И, Несмеянов С.А.* Классификация культуросодержащих отложений //Методические проблемы археологии Сибири. Новосибирск: Наука, 1988. С. 45 – 55.

58. *Медведев Г.И., Несмеянов С.А.* Типизация «культурных отложений» и местонахождений каменного века //Методические проблемы археологии Сибири. Новосибирск: Наука, 1988. С. 113 – 142.

59. *Михайлов А.М.* Классификация нарушений земной поверхности и оценка использования земли горным предприятием //Рекультивация земель, нарушенных при добыче полезных ископаемых. Тезисы докладов. Орджоникидзе. 1977. С. 78 – 81

60. *Огородникова Е.Н., Николаева С.К.* Техногенные грунты. М.: Изд. МГУ, 2004. 249 с.

61. *Петренко С.А., Кофф Г.Л.* Инженерно-геологическое строение и инженерно-геологическая типизация Москвы // В сб. «Инженерная геология и гидрогеология Москвы. М., 1989. С. 22 -45

62. Рекомендации по усовершенствованию инженерно-геологических изысканий для промышленного и гражданского строительства на территории г. Москвы и лесопарковой зоны в связи с охраной и рациональным использованием геологической среды. М, 1989. 117 с

63. *Сергеев Е.М.* Инженерная геология. М., Изд. МГУ. 1978. 383 с.

64. *Синицын А.А.* О признаках нарушений культурного слоя (по материалам стоянок залегающих в костенковских гумусах) //КСИА, выпуск 202, 1989, С. 33 – 37.

65. *Сорокин А.Н.* Исследования на новостройках и сохранность археологических памятников //Тезисы. научно-практического семинара «Новое в методике археологических работ на новостройках РСФСР». М.: ИА АН СССР, 1989. С. 40 – 41.

66. *Сычева С.А.* Почвенно-геоморфологические условия древних поселений Среднерусской возвышенности и характеристика их культурных слоев //Экологические проблемы в исследованиях средневекового населения Восточной Европы. М.: ИА РАН, 1993. С. 190 – 204.

67. *Сычева С.А.* Почвенно-геоморфологические аспекты формирования культурного слоя древних поселений //Почвоведение, 1994, № 3. С. 28 – 33.

68. *Сычева С.А., Гольева А.А.* Разнообразие и эволюция культурных слоев древних поселений //Многоликая география. Развитие идей И.П. Герасимова (к 100-летию со дня рождения) Под редакцией Н.Ф. Глазовского. М.: 2005. С. 223 – 236

69. *Сычева С.А., Леонова Н.Б. и др.* Руководство по изучению палеоэкологии культурных слоев древних поселений. М., 1998. 59 С.

70. *Сычева С.А., Леонова Н.Б. и др.* Эволюция культурных слоев эпохи голоцена //Известия РАН, серия географическая, № 4, 2000. С. 29 – 37.

71. *Султанова Е.Ф., Хибарина В.А., Каздым А.А.* Антропогенные почвы, техногенные грунты, культурный слой – проблемы терминологии //Минералогия техногенеза-2004. Под ред. С.С. Потапова, Миасс.: Имин УрО РАН, 2004. С. 240 – 245.

72. *Тереньтева М.А., Суханов А.И.* Классификация деградированных почв и непочвенных поверхностных образований //Тезисы и доклады Всероссийской конференции «Антропогенная деградация почвенного покрова и меры ее предупреждения», Т. 1. М., 1998. С. 16 – 18.

TECHNOGENIC GROUND, TECHNOGENIC SEDIMENTS, TECHNOGENIC LANDSCAPES AND CULTURAL LAYER-MODERN PROBLEMS OF CLASSIFICATION AND SYSTEMATICS

© 2014 Kazdym A.A.

Peoples' Friendship University of Russia, Moscow, 117198, Miklukho-Maclay St., 6, Russia
kazdym@mail.ru

Summary. Currently no one objective of taxonomy and classification of technogenic sediments that are sensitive to different conditions and factors of their education, so that there is a problem with the terminology and each

author, acting in accordance with its conclusions on this subject has its own professional and linguistic analyses on construction of the item. With the development of classifications of technogenic sediments probably should rely on the one hand the extent of human influence on rock or soil, intensity change, and on the other hand, pay attention to certain traces of material culture, both ancient (an object of study of archaeologists and paleoecologists) and modern (an object of study of soil scientists, ecologists, geographers, geologists).

Key words. Technogenic deposits cultural layer urbofatsii, anthropogenically altered soils.

УДК 624.131

К ВОПРОСУ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ВЕЩЕСТВЕННОГО СОСТАВА (КАРБОНАТНОСТИ) И ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ГРУНТОВ

© 2014 г. Дроздова С.Б.

ЗАО «ИнжГеоПроект»,
141101, г. Щелково, ул. Заводская, д. 9
e-mail: drozdovas@mail.ru

В статье изложены методы определения физико-механических свойств, вещественного состава-количественного содержания карбонатов в глинистых грунтах: кальциметрический, иммерсионный и метод окрашивания. Даны практические рекомендации для изучения и классифицирования карбонатно-глинистых пород спорной номенклатуры.

Ключевые слова: грунт, свойства грунтов, лабораторные испытания, карбонаты, классификация, карбонатно-глинистая порода, глина известковая, глинистый мергель, методика испытаний, нормативная документация.

Лабораторные испытания грунтов – важнейшая часть инженерно-геологических изысканий. Правильное определение состава, состояния и физико-механических свойств грунтов – основа безопасности и экономической эффективности проектируемых зданий и инженерных сооружений.

В ряде случаев в процессе лабораторных исследований грунтов возникает проблема выбора определяемых показателей и схем испытаний. Это связано как с отсутствием нормативных документов на некоторые виды исследований, технической сложностью технологического процесса официально принятых методик, так и специфичностью исследуемых грунтов.

Таким образом, основными задачами, стоящими перед грунтовыми испытательными лабораториями, являются:

1. правильно качественно классифицировать грунт с целью выбора корректной схемы испытаний;

2. провести испытания в соответствии с выбранной схемой, описанной в нормативных документах, а при отступлении от принятых методик (для упрощения и/или ускорения опытов) обратить особое внимание на точность и качество полученных результатов.

Например, в настоящее время отсутствует стандарт, в соответствии с которым следует определять количественное содержание карбонатов в грунтах.

Существуют три основных метода определения минерального состава, в частности, содержания карбонатов в грунтах:

1. кальциметрический (газометрический) на кальциметре (рис.1) –

ТУ 25-11-1106-76);

2. иммерсионный;
3. метод окрашивания [8].

Суть кальциметрического метода заключается в определении с помощью прибора (кальциметра) объёма CO2, выделяющегося из растёртого в порошок грунта при обработке его 18% раствором соляной кислоты:

$CaCO3+2HCl=CaCl2+H2O+CO2$.

По объему углекислоты, вытесненной из грунта, вычисляется количественное содержание в нем CaCO3. В доломитизированных грунтах количество выделившейся углекислоты пересчитывается на процентное содержание карбонатов кальция и магния $CaMg(CO3)2$. В зависимости от количества CaCO3 и $CaMg(CO3)2$ в грунте осуществляется его классификация по С.Г. Вишнякову (табл.1).

Рис.1 Кальциметр. Внешний вид. (ТУ 25-11-1106-76)

Иммерсионный метод основан на изучении ориентированных частиц глинистой составляющей связных грунтов в специально приготовленных препаратах. При этом способе проба грунта, погруженная в иммерсионные жидкости, исследуется под поляризационным микроскопом с целью подсчёта зёрен тех или иных минералов, определения формы агрегатов и оценки их оптических свойств.

Метод определения минерального состава глинистых грунтов с использованием органических красителей основан на способности глинистых частиц окрашиваться в разные цвета в зависимости от строения. Окрашиванию подвергаются, преимущественно, светлые грунты: глинистые, песчано-глинистые, карбонатные и др.

Наиболее широко в производственных грунтовых испытательных лабораториях применяется кальциметрический метод, т. к. два других способа требуют специфического оборудования (поляризационный микроскоп), вспомогательных материалов и дополнительных специалистов с определенными навыками.

Метод обеспечивает качественные, достоверные результаты, технически достаточно прост, легко осваивается сотрудниками лаборатории, поэтому может применяться в производственных целях.

В качестве примера грунта, номенклатурное определение которого весьма затруднено, можно привести известковую глину верхнемелового возраста с высоким содержанием $CaCO_3$. Иногда этот грунт классифицируют в зависимости от количественного содержания $CaCO_3$ как глинистый мергель (табл.1).

На рис. 2 показан внешний вид такого грунта, распространённого в районе г. Брянска. Качественная реакция, активное вскипание глины в 10%-ном растворе HCl, указывает на наличие в ней карбонатов.

В табл.2 приводятся средние значения показателей физических свойств известковой глины этого региона.

Итак, согласно общефедеральному стандарту обязательного применения (ГОСТ 25100-2011), данный вид грунта классифицируется как глина лёгкая, твердая, хотя фактически это глина известковая. Как видно из табл. 2, количество $CaCO_3$ находится около верхней границы диапазона процентного содержания, характерного для известковой глины (см табл.1). В некоторых аналогичных образцах значение $CaCO_3$ превысило 25%, следовательно эти грунты требовалось классифицировать как глинистый мергель. Однако согласно остальным физическим показателям, способности к «раскатыванию», макроскопическому описанию, отсутствию кристаллических связей, эти образцы были целиком идентичны первым. Таким образом, согласно [9], было принято решение о выборе схем испытаний этих грунтов, как дисперсных, а не полускальных. В данном случае налицо некорректность применения классификации по карбонатности (по С.Г. Вишнякову), приведенной в [3], где в зависимости от содержания карбонатов меняется класс грунта (из скального на дисперсный).

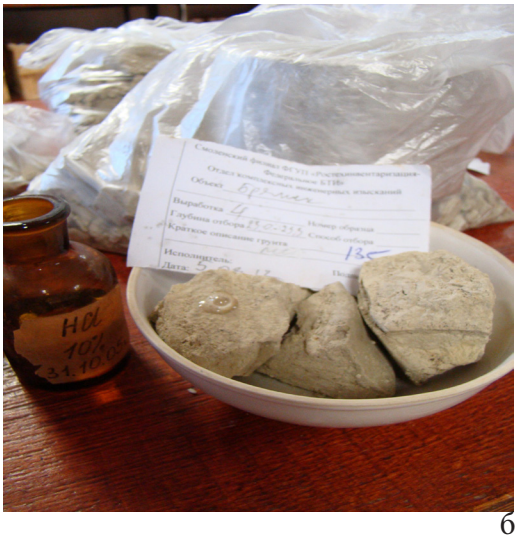
Для грунтов, находящихся на границе раздела полускальных и дисперсных грунтов (например, полускальные трещиноватые грунты и твердые прочные глины и суглинки), допускается решать

Таблица 1

Классификация карбонатно-глинистых пород – известковистый ряд (по С.Г. Вишнякову)

Содержание глинистого материала, %	Известковистый ряд		Доломитовый ряд	
	Породы	$CaCO_3$, %	Породы	$CaMg(CO_3)$ 2,%
0-5	Известняк	95-100	Доломит	95-100
5-25	Известняк глинистый	75-95	Доломит глинистый	75-95
25-50	Мергель	50-75	Мергель доломитовый	50-75
50-75	Мергель глинистый	25-50	Мергель глинистый доломитовый	25-50
75-95	Глина известковая	5-25	Глина доломитовая	5-25
95-100	Глина	0-5	Глина	0-5

а



б

Реакция с 10%-ном раствором HCl

Рис.2. Известковая глина (К2) с глубины 23 м (район г. Брянска)
а- нарушенная и ненарушенная структуры, б- вскипание грунта в 10%-ном растворе HCl.

Таблица 2

Средние значения показателей физических свойств известковой глины
(район г. Брянска, глубина 23,0 м)

ρ, г/см3	ρd, г/см3	ρs, г/см3	e	Sr	We, %	WL, %	Wp, %	Ip	IL	CaCO3, %
1,56	1,04	2,73	1,615	0,83	49	69	51	18	-0,12	24,93
Классификация по С.Г. Вишнякову					Глина известковая					
Классификация по ГОСТ 25100-2010					Глина твердая, легкая*					

где: ρ - плотность грунта, ρс - плотность скелета грунта, ρs - плотность частиц грунта, e - коэффициент порис¬тости, Sr - степень водонасыщения, We – естественная влажность, WL- влажность на границе текучести, Wp- влажность на границе раскатывания, Ip - число пластичности, IL- показа¬тель текучести.

*- по причине отсутствия результатов определения гранулометрического состава этого грунта не представляется возможность его классификации по этому показателю в соответствии с ГОСТ 25100-2011 п. Б.2.10 табл. Б 17.

вопрос об отнесении их к одной из указанных групп на основе местного опыта исследований и строительства на этих грунтах [9], исходя из чего должна быть выбрана соответствующая схема лабораторных испытаний.

В рассмотренном случае исследуемые грунты были определёны как дисперсные, в соответствии с ГОСТ 25100-2011. Исходя этого, определялись их деформационные (модуль общей деформации) и прочностные (величина сцепления и угол внутреннего трения) характеристики, а не предел прочности на одноосное сжатие, как в случае со скальными и полускальными грунтами.

Для специалистов- грунтоведов также представляют интерес суглинки известковые пылеватые лёгкие твёрдые, которые встречаются в районе г. Кореновска Краснодарского края (Рис.3).

На указанной территории повсеместно распространены просадочные грунты (2-й тип грунтовых условий по просадочности). Значения основных показателей физических свойств суглинка приведены в табл. 3. Исследуемые образцы активно вскипают в 10%-ном растворе HCl, характеризуются отчетливо выраженной

макропористостью (до трубно-порового пространства), но при этом имеют достаточно высокую плотность.

Рис.3 Известковый суглинок с глубины 1,2 м, район г. Кореновска

Как видно из табл. 3, исследуемые грунты обладают достаточно невысокими значениями относительной просадочности, что предполагает их классификацию, как слабопросадочные, а в отдельных случаях непросадочные. Просадочность имеет качественную связь с карбонатностью, в частности, с содержанием вторичных карбонатов, которые играют роль цемента в структуре. Для большинства просадочных грунтов характерно высокое, иногда до 15-20%, содержание карбонатов, преимущественно CaCO3. В нашем случае эта величина составила всего 10,18%. Таким образом, возможно уменьшение относительной просадочности за счет содержания труднорастворимых солей. Значения относительной просадочности этих грунтов составили от 0,004 до 0,022, что позволило их классифицировать по ГОСТ 25100-2011 как непросадочные или слабопросадочные, несмотря на инженерно-геологические особенности региона. Своевременное и оперативное определение количественного содержания карбонатов кальциметрическим методом позволило объяснить нетипичные значения просадочности этих грунтов.

К сожалению, в настоящее время в практике пока нет опытных наработок для сравнения результатов содержания CaCO3 различными методами, но отсутствие потребности покупать дополнительное дорогостоящее оборудование, минимизация человеческого фактора при испытаниях, сходимость параллельных определений позволяет выявить превосходства кальциметрического метода.

Нами предлагается применять способ определения содержания карбонатов в грунтах кальциметрическим методом и принять его в качестве базового для разработки национального стандарта ГОСТ Р «Грунты. Методы определения содержания карбонатов».

В качестве заключения хотелось бы отметить, что для получения достоверных результатов лабораторных испытаний, кроме технических аспектов (качественного отбора и хранения проб грунта и воды, добросовестного соблюдения технологических схем исследований и обработки результатов), необходимы формирование и до-

Таблица 3

Средние значения показателей свойств суглинка
Район г. Кореновск, глубина 1,0-3,0 м.

ρ, г/см3	ρd, г/см3	ρs, г/см3	e	Sr	We, %	WL, %	Wp, %	Ip	IL	CaCO3, %	δ, д.е
1,78	1,51	2,72	0,809	0,63	19	36	27	9	-0,67	10,18	0,022
Содержание частиц, %											
5-2мм	2-1мм	1-0,5мм	0,5 - 0,25мм	0,25 - 0,1мм	0,1 - 0,05мм	0,05 - 0,001мм	0.01-0,005 мм	меньше 0,005мм			
0,2	0,1	0,1	0,2	1,7	0,5	39,4	14,4	43,4			
Классификация по ГОСТ 25100-2011			Сугл инок известковый пылеватый легкий твердый, слабопросадочный								

где: δ, д.е- величина относительной просадочности

полнение современной нормативной базы с привлечением ведущих специалистов-практиков в области инженерных изысканий и модернизация имеющегося, а также разработка нового лабораторного оборудования. Заключение никак не связано с темой, заявленной в названии статьи.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Аринушкина Е.В.* Руководство по химическому анализу почв М., МГУ, 1970, 488 с.
2. ГОСТ 23740-79 «Грунты. Методы лабораторного определения содержания органических веществ», М. 1980.
3. ГОСТ 25100-11 «Грунты. Классификация». М., 2011.
4. ГОСТ 24143-80 «Грунты. Методы лабораторного определения характеристик набухания и усадки», М., 1980.
5. Грунтоведение М.: МГУ, 2005. 1024 с.
6. *Дмитриев В.В., Ярг Л.А.* Методы и качество лабораторного изучения грунтов. М., КДУ, 2008. 542 с.
7. *Охотин В.В.* Грунтоведение. СПб, 2008. 231 с.
8. Руководство по лабораторным исследованиям физико-механических свойств грунтов при производстве инженерных изысканий для строительства М. 1976. 137 с.
9. Руководство по проектированию оснований зданий и сооружений. М., Стройиздат, 1977, 376 с.

TO THE QUESTION OF DETERMINING THE MATERIAL COMPOSITION (CARBONATE) AND PHYSICO-MECHANICAL PROPERTIES OF SOILS

© 2014 Drozdova S.B

«EngGeoProjekt»,
141101, Shchelkovo, Factory street, 9
drozdovas@mail.ru

The article describes the methods of determination of physical and mechanical properties, material composition - quantitative content of carbonates in clay soils: caicimitric, immersion and method of painting. Were given practical recommendations for the study and classification of carbonate-argillaceous rocks disputed item.

Key words: soil, soil properties, laboratory tests, carbonates, classification, carbonate-argillaceous rock, lime clay, clay marl, technique of tests, normative documentation.

УДК 624.131

ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ СТАДИЙНОСТИ И ВЗАИМОСВЯЗИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ, ХИМИЧЕСКИХ И ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ, ПРОИСХОДЯЩИХ В СИСТЕМАХ ХИМИЧЕСКИЕ РЕАГЕНТЫ-ДИСПЕРСНЫЕ ГРУНТЫ ПРИ ИХ УКРЕПЛЕНИИ В РЕЗУЛЬТАТЕ СИНТЕЗА НЕОРГАНИЧЕСКИХ ВЯЖУЩИХ ВЕЩЕСТВ

© 2014 г. В.М. Кнатько

Санкт-Петербургский государственный университет
Университетская наб., 7/9, Санкт-Петербург, 199034, Россия
НТЦ «Технологии XXI века»
Лермонтовский пр., 7а, лит. А, Санкт-Петербург, 190068, Россия
e-mail: marartur08@mail.ru

В зависимости от природы химических реакций и их воздействия на дисперсный грунт при его укреплении добавками химических реагентов теоретически обоснованы пять характерных стадий взаимодействия реагентов с дисперсным грунтом. В статье приводятся отличительные особенности и значимость каждой стадии в обеспечении положительного результата в рациональном использовании минерального ресурса грунта для синтеза неорганического вяжущего вещества, укрепляющего грунт при производстве конкретных материалов.

Ключевые слова: химические реагенты, химические реакции, дисперсные грунты, синтез неорганических вяжущих, минеральный ресурс гидролизуемых глинистых минералов.

Научной основой теории синтеза неорганических вяжущих веществ (ТСНВВ) в дисперсных грунтах при их укреплении специально подобранными добавками химических реагентов является минерально-генетическая концепция с реализацией трех известных классических принципов:

- принцип П.А. Ребиндера - «прочность через разрушение»;
- принцип Ле Шателье – «тормозящее противодействие сложных систем с обратной отрицательной связью А ↔ В»;
- синергетический принцип самоорганизации сложных систем, в том числе, и минеральных, находящихся в неравновесном состоянии.

Минеральные и другие образования дисперсных грунтов не остаются нейтральными или инертными к любому химическому реагенту, способному изменять хотя бы в ничтожной мере условия их стабильного существования. поэтому принципиально важным является не столько то, какой химический реагент использован для обработки дисперсного грунта, а то, какие процессы и химические реакции могут иметь место при этом, как будут вести себя различные составляющие грунта, какие изменения возникнут в системе химический реагент-дисперсный грунт. Эти соображения имеют исключительно важное значение для ТСНВВ.

Управление свойствами и укрепление дисперсных грунтов с использованием добавок химических реагентов представляет собой сложный процесс, для которого характерно частичное или полное разрушение естественных структурных связей грунта и формирование новой более прочной структуры в результате синтеза новообразований, обладающих вяжущими свойствами (реализация принципа П.А. Ребиндера).

Синтез вяжущих в дисперсных грунтах происходит наиболее эффективно при использовании не одного, а совокупности рационально подобранных реагентов. Взаимодействие химических реагентов с дисперсными грунтами представляет собой сложный многостадийный процесс, каждая стадия которого характеризуется определенной последовательностью чередующихся химических реакций и соответствующими им изменениями в системах реагент-грунт. Поэтому в зависимости от природы химических реакций и характера их воздействия на грунт в целом и прежде всего на его жидкую и коллоидно-дисперсную фазу, включающую различные минеральные и органические составляющие грунта, процессы взаимодействия химических реагентов с дисперсными грунтами подразделяются на пять условных стадий взаимодействия (УСВ):

I УСВ – растворение и диссоциация химических реагентов в грунтовом растворе;

II УСВ – преодоление факторов буферности

грунта в связи с необходимостью изменения реакции среды грунта pH;

III УСВ – гидролиз и инконгруэнтное разрушение глинистых минералов и формирование многокомпонентной системы взаимодействующих с реагентами окислов, образование первичных метастабильных соединений;

IV УСВ – фазовые превращения первичных соединений во вторичные и т.д.;

V УСВ – формирование (синтез) полиминеральных новообразований, обладающих вяжущими свойствами (реализация третьего синергетического принципа самоорганизации системы химический реагент-грунт).

Последовательность вышеприведенных условных стадий взаимодействия химических реагентов с дисперсными грунтами и их физико-химическая сущность справедливы для всех видов систем реагент-грунт, жидкофазные реакции которых осуществляются как в кислом, так и в щелочном интервале pH.

Разработанное учение о стадийности процессов взаимодействия химических реагентов с дисперсными грунтами является наиболее общим и достаточно достоверным отражением существа теории синтеза неорганических вяжущих веществ в дисперсных грунтах при их укреплении химическими реагентами [4, 5]. Поэтому необходимо отметить наиболее существенные особенности каждой из пяти вышеприведенных стадий УСВ.

Первая условная стадия взаимодействия (I УСВ) химических реагентов с дисперсными грунтами завершает технологические операции по измельчению грунта, внесению и равномерному перемешиванию реагентов в грунтовой смеси. При этом процессы растворения и диссоциации химических реагентов в грунтовом растворе зависят от следующих факторов:

- степени дисперсности грунта и обеспечения требуемого равномерного измельчения грунта перед внесением добавок химических реагентов;
- влажности грунтовой смеси в пределах оптимальной (Wo±2%);
- pH среды грунта (влияет на растворимость соединений);
- концентрации в грунтовом растворе легкорастворимых солей одновалентных металлов;
- величины объемной массы грунтовой смеси;
- пористости грунтовой смеси;
- исходной концентрации жидких реагентов (например, кислот – чем выше концентрация, тем больше вероятность образования препятствий диффузии реагента (1,2) в грунтовую толщу за счет ускоренного образования коллоидно-дисперсной фазы).

От грамотно выполненной I УСВ в значительной степени зависит качество полученного укрепленного грунта.

Вторая условная стадия взаимодействия (II УСВ) – преодоление факторов буферности грунта – убедительно объясняется результатами известных исследований [7], приведенными на рис. 1, которые показывают, что области устойчивого стабильного существования глинистых минералов и слюд имеют четкие диапазоны значений pH для каждого минерала.

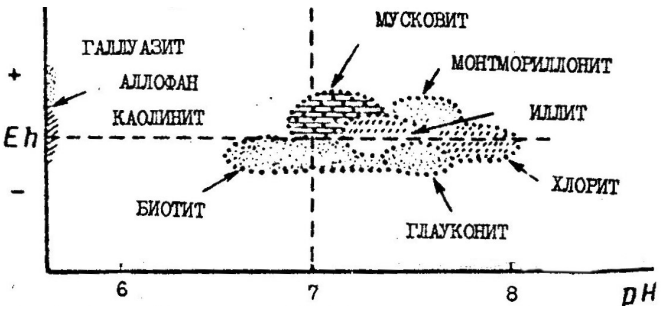


Рис. 1 Области устойчивого существования глинистых минералов и слюд

Изменение значений pH в большую или меньшую сторону от указанных на рис. 1 приводит к переходу конкретного минерала в неустойчивое состояние и к его разрушению с выходом соответствующих оксидов в грунтовый раствор. Наибольший интерес для процессов синтеза неорганических вяжущих веществ с использованием химических реагентов имеют полуторные оксиды кремнезема и глинозема, растворимость которых показана на рис. 2 как функция pH.

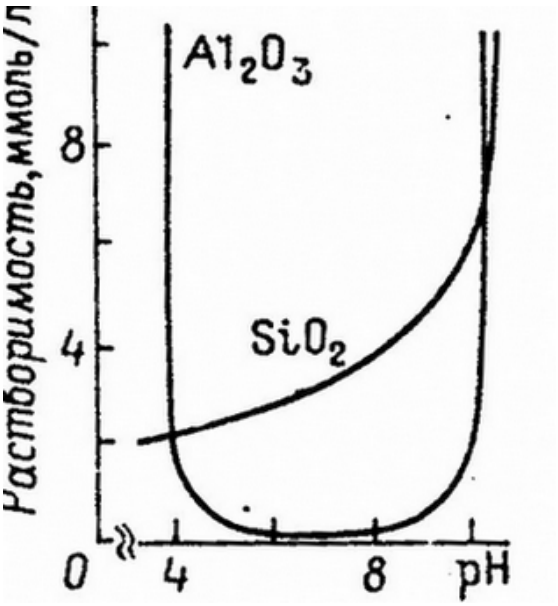


Рис. 2 Растворимость кремнезема и глинозема как функция pH

Следовательно, для процессов синтеза неорганических вяжущих доступность и использование минеральных ресурсов дисперсных грунтов зависят от возможности изменения pH грунта, что связано с преодолением факторов буферности грунта, препятствующих изменению pH грунта в кислую или щелочную сторону. Поэтому процессы II УСВ фактически можно рассматривать с позиции принципа Ле Шателье как степень возможности снизить или устранить полностью вторую обратную отрицательную связь взаимодействующей системы химический реагент-дисперсный грунт.

Третья условная стадия взаимодействия (III УСВ) химических реагентов с дисперсным грунтом включает процессы гидролиза и инконгруэнтного разрушения глинистых минералов с формированием многокомпонентной системы взаимодействующих фаз и образованием первичных метастабильных предельно гидратированных соединений в результате взаимодействия с окислами разрушаемых алюмосиликатов. В пояснение указанному следует отметить, что при преодолении факторов буферности грунта на II УСВ реакция его среды смещается в ту сторону, которая свойственна природе используемых химических реагентов, а изменение pH грунтовой среды нарушает естественно сложившиеся и необходимые условия стабильного существования глинистых минералов (рис. 1). В результате указанного в создавшейся новой химической обстановке начинает интенсивно происходить процесс гидролиза и инконгруэнтного разрушения глинистых минералов с образованием многокомпонентной системы окислов, активно взаимодействующих с химическими реагентами, внесенными в грунт: химические реагенты – Al_2O_3-Fe_2O_3-SiO_2-TiO_2-MgO-CaO-FeO-Na_2O-K_2O и т.д.

Гидролитическое разрушение минералов первоначально происходит в полиэдрах с 12, 10 и 8 вершинами, занятыми K, Na, Ca, которые связаны в структуре минералов в основном ионными и сильнополярными типами связей. после этого начинают разрушаться октаэдры с шестью вершинами, занятыми Al, Fe и Mg, а затем подвергаются гидролизу и тетраэдры, в вершинах которых находятся Al и Si. При наличии в растворе комплексообразующих веществ резко интенсифицируется выход в раствор полуторных окислов R_2O_3, а кремнезема – в 10-50 раз. Прежде всего разрушаются или подвергаются гидролизу более неустойчивые глинистые минералы, например, трехслойные алюмосиликаты группы монтмориллонита, гидрослюд и т.д. Далее наступает очередь гидролиза двухслойных алюмосиликатов типа каолинита, галлуазита и т.д.

В образовавшейся многокомпонентной системе растворенных в грунтовом растворе окислов развивается непрерывный процесс химического поглощения реагентов с образованием метастабильных предельно гидратированных первичных соединений. Этот процесс логично назвать процессом первичной нейтрализации химических реагентов в системах реагент-грунт. Важно отметить при этом особую роль в образовании указанных соединений полуторных окислов и различных форм кремнезема.

Фазы превращения первичных соединений в системе реагент-грунт (IV УСВ)

Наряду с процессами первичной нейтрализации химических реагентов взаимодействующая система продолжает пополняться новыми порциями еще не прореагировавших с химическими реагентами окислов, переходящих в раствор в результате непрекращающегося (в условиях резко измененной реакции среды грунта) процесса гидролиза глинистых минералов. Это интенсифицирует процесс первичной нейтрализации еще непрореагировавшей (или поступающей в раствор) части реагентов и тем самым ведет к снижению их концентрации во взаимодействующей системе. Уменьшение же концентрации химических реагентов, в свою очередь, отрицательно влияет на фазовое состояние продуктов химических реакций III УСВ, так как продолжительность и само существование метастабильных кислых или малоосновных соединений обусловлено наличием определенной концентрации химических реагентов и установившегося значения pH при их образовании. Поэтому при изменении уровня pH за счет уменьшения концентрации химических реагентов в растворе сами метастабильные первичные соединения превращаются в мощный стабильный фактор буферности, препятствующий снижению концентрации химических реагентов в растворе. Во исполнение и в результате этого первичные соединения претерпевают фазовые переходы или превращения в более устойчивые соединения и высвобождают при этом некоторые порции свободного реагента как бы для поддержания или сохранения его первоначальной концентрации.

Фазовые переходы первичных соединений в более устойчивые вторичные также носят инконгруэнтный характер, так как в общей массе первичных метастабильных соединений имеются менее и более устойчивые формы.

В модельной системе H_3PO_4-грунт однозамещенный кальциевый фосфат переходит в двух- и трехзамещенный фосфат по уравнениям:

$Ca(H_2PO_4)_2 \rightarrow CaHPO_4 + H_3PO_4$; $3CaHPO_4 \rightarrow Ca_3PO_4 + H_3PO_4$, образовавшийся β-трикальцийфосфат последовательно переходит в гидроксилапатит согласно реакции:

$5Ca_3(PO_4)_2 + 3H_2O \rightarrow 3Ca_5(PO_4)_3 OH + H_3PO_4$.

Из приведенных схем реакций IV УСВ в модельной системе H_3PO_4-грунт следует, что фазовые превращения кислых фосфатов представляют собой более глубокое развитие процессов нейтрализации H_3PO_4, чем на III УСВ, а именно по второму и третьему водороду кислоты, незамещенным до этого катионами металлов.

В таких системах, как цемент-грунт или известь-грунт образовавшиеся на III УСВ малоосновные силикаты кальция под усиливающимся влиянием новых порций непрореагировавших окислов, поступающих в раствор в результате гидролитического разрушения минералов, превращаются в среднеосновные и высокоосновные. В связи с этим химические реакции IV УСВ можно назвать процессами вторичной или более глубокой нейтрализации химических реагентов в системах реагент-грунт.

Фазовые превращения первичных соединений развиваются в сторону предельно большего связывания химическими реагентами непрерывно поступающих в раствор взаимодействующей системы окислов типа R_2O_3, CaO, MgO и др. Следовательно, химические реакции IV УСВ характеризуют степень эффективности разработанной технологии и используемых добавок химических реагентов для рационального использования минерального ресурса глинистого грунта для последующего на V УСВ процесса синтеза неорганических вяжущих веществ, укрепляющих грунт, и производства на его основе строительного материала.

Физико-химические процессы V УСВ – синтез новообразований, обладающих вяжущими свойствами, процессы твердения и цементации.

Химические реакции V УСВ отличаются тем, что на этой завершающей стадии происходит интенсивный процесс формирования новой минеральной ассоциации, обладающей в начальной стадии минералообразования явно выраженной вяжущей способностью. Накопление во взаимодействующей системе реагент-грунт продуктов реакций II, III, IV УСВ обеспечивает необходимые условия осуществления химических и физико-химических процессов синтеза вяжущего вещества. Это состояние может осуществиться только в том случае, когда во взаимодействующей системе реагент-грунт самопроизвольно достигается оптимизация соотношения и состава продуктов химических реакций II, III и IV УСВ. Химические реакции V УСВ и физико-химические превращения их продуктов представляют собой процесс качественного перехода коллоидно-дисперсной жидкой фазы в агрегатно-монолитное состояние, характеризующееся оптимальным соотношением различных структурных составляющих (коагуляционной КоIи, кристаллизационной и конденсационной).

Скачкообразный характер качественного перехода систем реагент-грунт от IV к V УСВ экспериментально подтверждается исследованием процессов схватывания и твердения, например, грунтофосфатных и других смесей через несколько часов (или даже несколько десятков минут) после их затворения, а также исследованиями процесса возрастания прочности образцов из обработанного химическими реагентами грунта в течение 2-3 суток после их изготовления.

Изучение процессов V УСВ можно выполнять теми же методами, которые приняты для

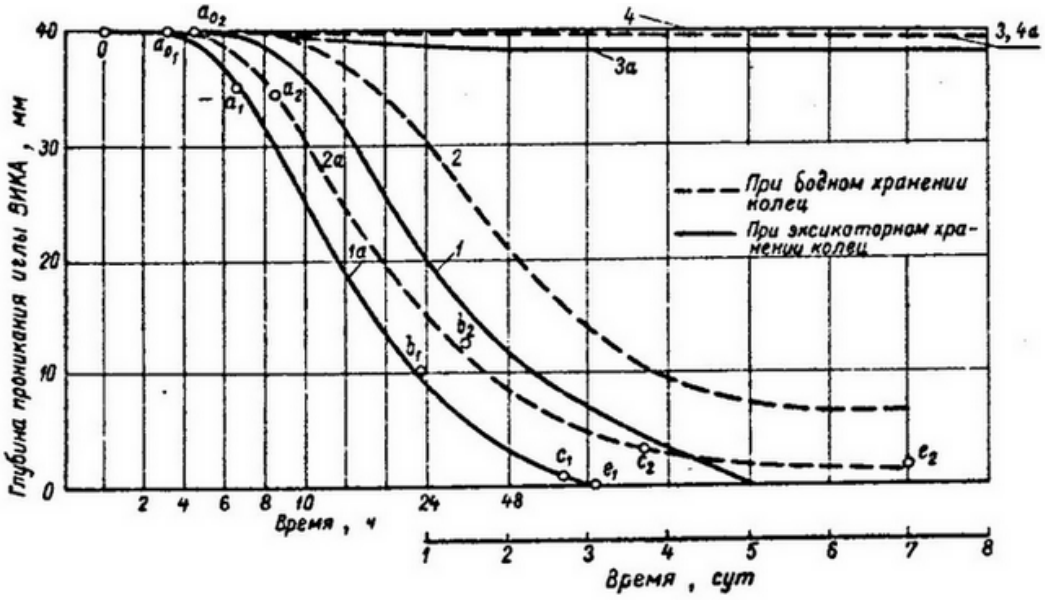


Рис. 3 Исследование процесса твердения (V УСВ) пластичной грунтофосфатной смеси (тяжелый суглинок + 5%-ная H_3PO_4 при исходной влажности грунта 18%) на приборе Вика

испытания неорганических вяжущих веществ. Например, удобен метод пенетрации исходно пластичной грунтовой смеси, включающей химические реагенты, на приборе Вика или с помощью конуса Вейлера-Ребиндера. Консистенция смесей реагент-грунт начинает изменяться не сразу после их приготовления, а лишь спустя определенное время, что позволяет установить начало схватывания грунтовой смеси и начало ее твердения (рис. 3).

Твердение пластичных смесей реагент-грунт зависит от ряда факторов, в числе которых необходимо указать: исходную влажность смеси (W); расход химических реагентов (Ср); условную концентрацию реагентов (D); температуру (t,oC), при которой происходит взаимодействие реагентов с грунтом; степень дисперсности грунта; продолжительность времени взаимодействия (Т); расход и вид добавок, способствующих ускорению (dуск) или замедлению (dзам) процесса твердения синтезировавшегося вяжущего вещества в грунтовой смеси; вид преобладающих глинистых минералов, содержащихся в грунтовой смеси; соотношение положительных и отрицательных факторов буферности грунта; исходный уровень pH грунта и т.д.

В общем виде интенсивность (I) развития процессов синтеза и твердения вяжущих веществ в зависимости от перечисленных факторов в системах реагент-грунт можно представить функцией общего вида:

I = f(Ср; W; ρо; t; dуск; dзам; Кгр), где

Ср – условная концентрация химического реагента в системе реагент-грунт, равная D/W;

ρо – объемная масса грунтовой смеси;

Кгр – коэффициент, характеризующий степень дисперсности грунта и его химико-минералогические особенности.

Изменяя любой из указанных факторов, можно управлять завершающей стадией синтеза вяжущего вещества в дисперсном грунте. При этом возможно управление и ходом реакций I, II, III и IV УСВ, что, в конечном итоге, может благоприятствовать осуществлению завершающей V стадии.

Следует отметить, что изменение во времени структурно-механических констант и характеристик (E1; E2; E; Рк; η; λ; θ) в начальный период твердения систем: H3PO4-грунт, H2SiF6-грунт, цемент-грунт, известь-грунт отличается явным подобием, соответствующие зависимости имеют сигмоидальную форму, аналогичную кривым пенетрации, полученным для пластичных смесей модельной системы H3PO4-грунт. Это подтверждает тождественность физико-химических процессов структурообразования и цементации, происходящих в указанных системах. Процессы твердения различных видов неорганических вяжущих веществ, синтезируемых на основе силикатов и алюмосиликатов дисперсных грунтов, характеризуются по существу одними и теми же закономерностями, сформулированными в основных положениях теории синтеза неорганических вяжущих веществ в дисперсных грунтах.

Для углубленного изучения основ ТСНВВ большое значение имеет обобщенное графическое отражение характера взаимосвязи и последовательности химических процессов I-V УСВ с использованием гипотетических зависимостей, обозначающих в общем виде интенсивность развития химических реакций каждой условной стадии взаимодействия химических реагентов с грунтом (I). При обработке, например, малокарбонатного (содержание карбонатов 0,5%) дисперсного грунта добавками H3PO4 интенсивность развития химических процессов I-V УСВ можно представить, как показано на рис. 4, а.

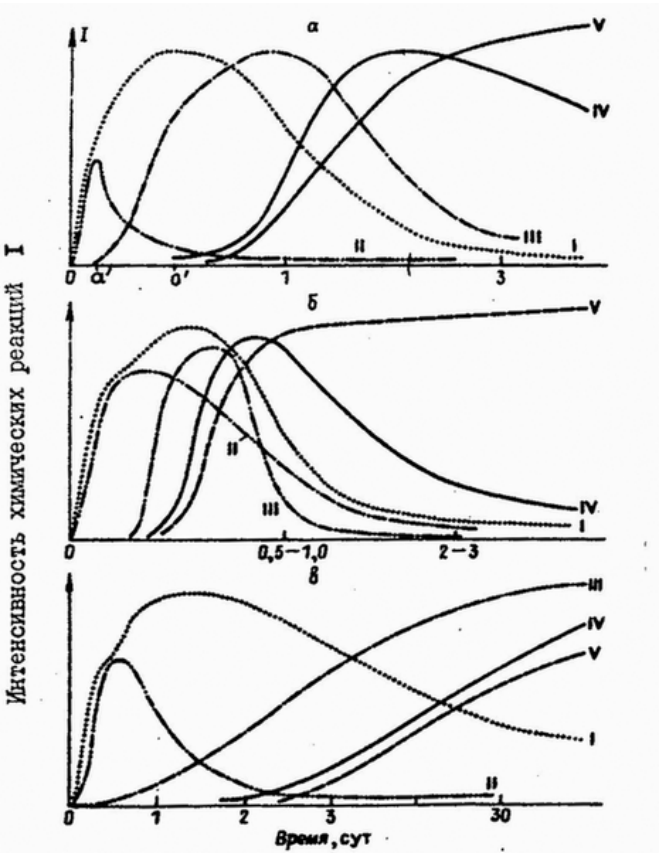


Рис. 4 Принципиальные схемы последовательности и взаимосвязи процессов взаимодействия и интенсивности присущих им химических реакций в системах реагент-грунт

Зависимость I соответствует I УСВ, II – II УСВ, III – III УСВ и т.д. Отметим особенности их

построения. Кривая интенсивности процессов растворения и диссоциации химического реагента (H3PO4), с учетом изложенного, вначале имеет крутой подъем, затем он замедляется в силу особенностей диффузии реагента в дисперсный грунт и далее постепенно его интенсивность убывает по мере завершения процесса диффузии реагента во всем объеме обработанного грунта (зависимость I). Одновременно с растворением и диссоциацией реагента происходят обменные реакции, обусловленные действием факторов буферности грунта (зависимость II). Но поскольку главный фактор буферности для H3PO4 – карбонаты – содержатся в малом количестве в указанном грунте, то развитие этих реакций будет характеризоваться вначале небольшой возрастающей левой ветвью кривой II, параллельной кривой I, а затем правая ветвь этой зависимости должна резко падать в связи с убывающим действием главного и других факторов буферности грунта (зависимость II, рис. 4, а).

По преодолении растворяющимся реагентом вначале возрастающего действия фактора буферности грунта и последующим интенсивным его ослаблением (точка а/), что сопровождается резким изменением pH среды грунта, начинают развиваться процессы III УСВ, которые достигают своего максимума ко времени завершения первичной нейтрализации H3PO4 (по первому водороду кислоты) в результате образования метастабильных соединений (точка о/, рис. 4, а). Далее в связи с уменьшением концентрации свободного реагента и началом изменения pH среды в сторону исходного своего значения первичные соединения начинают проявлять свойства буфера и переходить в более устойчивые вторичные и т.д. соединения. Эти процессы характеризуются зависимостью IV, соответствующей IV УСВ (фазовые переходы). С началом развития процессов IV УСВ начинает осуществляться количественная оптимизация продуктов химических реакций II, III, IY УСВ, благодаря чему возникают условия для синтеза вяжущего вещества в системе реагент-грунт путем образования новой минеральной ассоциации, что отражает зависимость V.

Если дисперсный грунт, обработанный добавками H3PO4, содержит повышенное количество карбонатов (более 5%), то ход процессов I-IV УСВ может быть представлен, как показано на рис. 4, б. При этом отмечается чрезмерная интенсивность кривой II УСВ и быстротечность реакций III и IV УСВ, что исключает нормальные условия для синтеза вяжущего вещества (зависимость V указана пунктиром, так как в этом случае не достигается водоустойчивость образцов).

В случае неблагоприятного химико-минералогического состава грунта (например, для H3PO4 таким является дисперсный грунт, в составе глинистой фракции которого преобладает монтмориллонит) ход процессов I-V УСВ может быть представлен, как показано на рис. 4, в. При этом оптимальные условия для цементации не обеспечиваются из-за отсутствия возможности количественной оптимизации продуктов реакций II, III и IV УСВ (в системе преобладает кремнезем, глинозема недостаточно). Аналогично тому, как показан на рис. 4 вероятный ход процессов I-V УСВ для модельной системы H3PO4-грунт, можно представить процессы взаимодействия и для других систем реагент-грунт. При этом зависимости, отражающие ход процессов V УСВ, устанавливаются экспериментально (с использованием метода пенетрации пластичных смесей или путем испытания образцов твердопластичных смесей).

Взаимосвязь и последовательность процессов взаимодействия химических реагентов с дисперсными грунтами с позиции полимерных представлений образования силикатов в грунтах можно выразить следующей схемой [9]:

Приведенная схема, хотя и носит наиболее общий характер, однако она вполне согласуется с рассмотренным многостадийным процессом взаимодействия химических реагентов с дисперсными грунтами, положенным в основу теории синтеза вяжущих веществ.

Разработанное учение о стадийности и взаимосвязи технологических, химических и физико-химических процессов в системах химические реагенты-дисперсные грунты обоснованно раскрывает необходимые направления исследований по разработке способов рационального использования минерального ресурса глинистого грунта для производства различных материалов (укрепленных грунтов, гидроизоляционных материалов, алюмосиликатных сорбентов и т.д.).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Будников П.П.* Химия и технология окисных и силикатных материалов. Киев: Наукова думка, 1970. 304 с.

2. *Гедройц К.К.* Учение о поглотительной способности почв. Т. 1. М., 1955. 560 с.

3. *Кнатько В.М.* Управление свойствами горных пород в инженерной геологии. Учебное пособие. Л.: изд-во ЛГУ, 1987. 97 с.

4. *Кнатько В.М.* Укрепление дисперсных грунтов путем синтеза неорганических вяжущих веществ. Л.: изд-во ЛГУ, 1989. 272 с.

5. *Кнатько В.М.* Теория синтеза неорганических вяжущих веществ в дисперсных грунтах. Л.: изд-во ЛГУ, 1989. 91 с.

6. *Рояк С.М., Рояк Г.С.* Специальные цементы. М.: Стройиздат, 1983. 279 с.

7. Техническая мелиорация пород/Под ред. Воронкевича С.Д. Учебное пособие. М.: изд-во МГУ, 1981. 341 с.

8. Химия цементов/Под ред. Тейлора Х.Ф.У., перевод с английского. М.: Стройиздат, 1969. 501

9. *Черкинский Ю.С.* Химия полимерных неорганических вяжущих веществ. Л.: Химия, 1967. 224 с.

10. *Щербакова Е.В., Кнатько В.М., Щербаков К.В.* Минерально-матричная нанотехнология очистки загрязненных вод с использованием глинистых сорбентов. Монография. СПб: изд-во Политехнического ун-та, 2012. 155 с.

THEORETICAL JUSTIFICATION OF THE STAGING AND THE INTERPREDENCE OF TECHNOLOGICAL, CHEMICAL AND PHISICOCHEMICAL PROCESSES OCCURRING WITHIN THE «CHEMICAL REAGENTS – FINE-GRAINED SOILS» SYSTEM DURING THE PROCESS OF THE REINFORCEMENT OF THE SOILS AS A RESULT OF THE SYNTHESIS OF INORGANIC BINDERS

© 2014 Knatko V. M.

St. Petersburg State University, Universitetskaya emb., 7/9, St. Petersburg, 199034, Russia
Scientific and technological center «Technology of the XXI century»
Lermontovsky av., 7a, St. Petersburg, 190068, Russia
marartur08@mail.ru

Summary. Five typical stages of the interaction between the reagents and the soil material have been theoretically substantiated depending on the nature of chemical reactions and their impact on the fine-grained soil during its chemical reinforcement. The paper presents the distinguishing characteristics and the importance of each stage for the securing of the rational utilization of the mineral resource of the soil for the purpose of synthesis of the inorganic binder, that provides the strengthening the soil in the process of the production of the specific materials.

Key words. Chemicals, chemical reagents, chemical reactions, dispersed soil, fine-grained soil, the synthesis of inorganic binders, mineral resource of the hydrolyzable clay minerals.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Дашко Регина Эдуардовна – доктор геолого-минералогических наук, профессор кафедры гидрогеологии и инженерной геологии Национального минерально-сырьевого университета «Горный», Санкт-Петербург.

Дроздова Светлана Борисовна – кандидат геолого-минералогических наук, начальник грунтовой испытательной лаборатории ООО «ИнжГеоПроект», г. Щелково.

Каздым Алексей Аркадьевич – кандидат геолого-минералогических наук, старший преподаватель кафедры архитектуры и градостроительства Российского Университета дружбы народов, Москва.

Кнатько Василий Михайлович – доктор технических наук, профессор кафедры грунтоведения и инженерной геологии геологического факультета Санкт-Петербургского государственного университета, Санкт-Петербург.

Королёв Владимир Александрович – Заслуженный работник высшей школы РФ, доктор геолого-минералогических наук, профессор кафедры инженерной и экологической геологии геологического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова, Москва.

Ларионова Нина Александровна – кандидат геолого-минералогических наук, старший научный сотрудник кафедры инженерной и экологической геологии геологического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова, Москва.

Сергеев Валерий Иванович – доктор геолого-минералогических наук, профессор, заведующий лабораторией охраны геологической среды и взаимосвязи поверхностных и подземных вод геологического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова, Москва.

Сдано в набор: 11.03.2014 Подписано в печать: 13.03.2014. Формат бумаги: 60x88 1/8 Цифровая печать.
Тираж 100 экз.

Учредитель: Охотинское общество грунтоведов

Издатель: «Центр генетического грунтоведения»
190068, Санкт-Петербург, Лермонтовский пр., 7, лит. А

Отпечатано в типографии «СВЕН»