

СИЛИКАТИЗАЦИЯ СТРУКТУРНО-НЕУСТОЙЧИВЫХ ГРУНТОВ (Часть 2)

DOI: 10.25296/1993-5056-2018-13-1-2-24-35

УДК 624.138.24: 624.138.41

**АБРАМОВА Т.Т.***Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, г. Москва, Россия, attoma@mail.ru*

Аннотация

В работе рассмотрена возможность преобразования структурно-неустойчивых антропогенных накоплений на примере грунтов культурного слоя, не изученных в технической мелиорации. Основной целью данных исследований явилось изучение силикатизации (органосиликатных аммиакпродуцирующих растворов) грунтов культурного слоя. Это семейство силикатных композиций с использованием поверхностно-активных веществ (ПАВ), являющихся представителями класса амидов (формамид, кубовый остаток формамида — КОФ и диметилформамид). Использование именно этих органических отвердителей жидкого стекла позволяет активизировать скелетную часть грунта и обеспечить более полную мобилизацию основного цементирующего вещества — силикагеля. В пределах этой проблемы был проведен анализ геохимических параметров отложений культурного слоя. Для исследований в лабораторных условиях был отобран широкий спектр грунтов из различных мест РФ и ближнего зарубежья, где предполагалось осуществление мероприятий по их преобразованию. Изученные грунты были разделены на три типа по геохимическим особенностям, которые наиболее ярко влияют на направление и интенсивность процессов взаимодействия искусственного цемента и минеральной составляющей. Было выявлено, что лучшие характеристики по прочности и водостойкости были получены для грунтов с низкой физико-химической активностью (I и II типы), которые наиболее эффективно закрепляются органосиликатными растворами. Моделирование процессов воздействия агрессивных кислотных сред (H_2SO_4 и HCl) на закрепленном тяжелом суглинке показало, что слабокислые растворы могут оказывать даже положительное воздействие, так как нейтрализуется избыток щелочности силикагеля. Опытные-производственные испытания различных модификаций органосиликатных растворов осуществлялись на объектах РФ и ближнего зарубежья. Это грунты от песчаных до суглинистых разностей с различными включениями. Их инъецирование проводилось с помощью вертикальных и горизонтальных закачек. Важным результатом работ явилось то, что слабопроницаемые толщи грунтов, пестрые по своему составу, получили равномерную пропитку и хорошие прочностные характеристики. Авторский надзор за преобразованными грунтовыми массивами показал их длительную устойчивость.

Ключевые слова:

антропогенные грунты; культурный слой; силикатизация; инъекция; прочность; водостойкость; кислотная агрессия

Ссылка для цитирования:

Абрамова, Т.Т., 2018. Силикатизация структурно-неустойчивых грунтов (Часть 2). Инженерная геология, Том XIII, № 1–2, с. 24–35. DOI: 10.25296/1993-5056-2018-13-1-2-24-35.

SILICATIZATION OF STRUCTURALLY UNSTABLE SOILS

(Part 2)

ABRAMOVA T.T.

Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia, attoma@mail.ru

Annotation

This paper studies a stabilisation of structurally unstable anthropogenic accumulations using poorly studied cultural layer soils. The main purpose of these studies was to investigate the process of silicization (organosilicate and ammonia productive solutions) of cultural layers soils. This is the type of silicate compositions with a use of surface active reagents which refer to amides (formamide and its production waste — CWF and dimethylformamide). The use of these organic curing reagents for liquid glass makes it possible to activate the skeletal part of the soil and ensure a more complete mobilization of silica gel, the main cementing component. Within the bounds of this problem the geochemical properties of the of the cultural layer deposits were analyzed. For the laboratory research, a wide range of soils was selected from various locations in the Russian Federation and the near abroad, where it was planned to implement measures for soil stabilization. The studied soils were divided into three types according to geochemical features, which have higher impact on the direction and intensity of the interaction processes between artificial cement and mineral constituents. It was identified that the best strength and water resistance characteristic have soils with low physicochemical activity (I and II types), which have the most effectively stabilized with organosilicate solutions. Modeling the reaction of aggressive acid media (H_2SO_4 and HCl) with stabilized clay loam showed that slightly acidic solutions can even have a positive effect since they neutralize excess alkalinity of silica gel. Experimental production trials of various modifications of organosilicate solutions were carried out at the sites of the Russian Federation and the near abroad. These are soils from sandy to loamy differences with different inclusions. The soil injection was performed using vertical and horizontal injections. The important result of this work is that poorly permeable soil bodies with a mixed composition have got equal infiltration and good strength characteristics. Author's supervision of the transformed soil masses showed their long-term stability.

Key words:

anthropogenic soils; injection; cultural layer; silicization; injection; strength; water resistance; acid corrosion

For citation:

Abramova, T.T., 2018. Silicization of structurally unstable soils (Part 2). *Engineering Geology*, Vol. XIII, No. 1–2, p. 24–35.
DOI: 10.25296/1993-5056-2018-13-1-2-24-35.

Специфика состава и свойств антропогенных грунтов

К структурно-неустойчивым относятся и антропогенные грунты — наиболее молодые в геологической истории Земли образования, связанные с инженерно-хозяйственной деятельностью человека. В трудах Ф.В. Котлова достаточно полно дана систематика антропогенных отложений, особенности формирования, их проявления в городах, поскольку города являются ареной активного изменения человеком природной геосреды [12]. В городах изменяются почти все компоненты природной среды, входящей в зону техногенеза. Её преобразование обусловлено природными и историческими особенностями города.

Культурный слой долго оставался вне поля внимания инженер-геологов. Их внимание культурный слой как антропогенные грунты стал привлекать только после того, как этими образованиями заинтересовались строители при использовании данных грунтов в качестве оснований городских сооружений. Е.М. Пашкин, Е.С. Дзекцер, А.А. Никифоров рассматривают культурный слой как геотехногенный массив грунтов, состав и состояние которых служат своеобразным индикатором характера хозяйственной деятельности и одним из факторов, влияющих на общее изменение инженерно-геологических и гидрогеологических условий [13]. Он же является тем элементом геологической среды, в поведении которого (и идущих здесь инженерно-геологических процессов) наиболее четко отражается происходящая сегодня эволюция инженерно-геологических условий освоенных территорий, приводящая к снижению дренирующей способности

и делающая территорию сооружения весьма чувствительной к состоянию дневной поверхности и экспансии прилегающей приповерхностной инфраструктуры.

Грунты культурного слоя, под которыми понимаются верхние слои разреза крупных населенных пунктов с многовековой историей, являются, как правило, сложными образованиями. По своему вещественному составу и свойствам они отличаются от подстилающих пород. Интенсивное накопление культурного слоя происходит при проведении земляных работ, подсыпке грунта для благоустройства города, за счет накопления мусора, связано с мощением дворов и улиц, устройством мостовых и т.п. Минерально-петрографический и гранулометрический состав основной массы накоплений чаще всего зависит от геологических условий данного района, а состав включений определяется характером хозяйственно-культурной деятельности человека (строительные остатки, керамика, обуглившиеся куски дерева, стекло, зола, сажа, кости). В составе грунтов культурного слоя преобладают суглинки, глины, супеси. Песчаные разности встречаются редко. Все грунты в той или иной степени засолены, карбонатизированы, имеют включения органических веществ, способных к разложению и определяющих временную изменчивость их физико-механических свойств.

В зависимости от времени образования культурные слои имеют плотное или рыхлое сложение и способны увеличивать прочность за счет самоуплотнения. Однако при колебаниях уровня грунтовых вод сжимаемость их может увеличиться вследствие разложения органики и суффозионных процессов.

Особенности грунтов культурного слоя (неоднородность по составу и включениям, неравномерная сжимаемость; возможность самоуплотняться под действием собственного веса, изменения гидрогеологических условий, замачивания грунтов, разложения органических включений) необходимо учитывать, основываясь на требованиях, предъявляемых к инженерно-геологическим исследованиям на площадках расположения насыпных грунтов в соответствии с СП 45.13330.2017 «СНиП 3.02.01–87 Земляные сооружения, основания и фундаменты».

Поэтому успешная реализация различных проектов в районах развития таких грунтов достигается применением соответствующих принципов и методов. Они основываются на учете природы, механизма структурной неустойчивости и прогноза закономерностей развития деформаций и других неблагоприятных процессов. При проектировании оснований зданий и сооружений профилактика неравномерных и чрезмерных осадков и нормальная эксплуатация достигается применением одного из следующих принципов: а) полная или частичная замена слоя грунта; б) устранение неблагоприятных свойств грунтов в пределах всей толщи; в) прорезка грунтовой толщи глубокими фундаментами, в том числе свайными, или массивами из закрепленного грунта; г) комплекс конструктивных и водозащитных мероприятий, включающий частичное устранение неблагоприятных свойств грунтов в сочетании с методами устранения возникающих кренов зданий, машин и оборудования [7].

Силикатизация антропогенных грунтов

В связи с повышенной склонностью антропогенных грунтов к структурной неустойчивости, приоритетным направлением является искусственное закрепление с использованием химических инъекционных методов, так как физико-химическое воздействие инъекционных растворов на массив грунта может коренным образом поменять направленность и интенсивность развития опасных геологических процессов и явлений.

Специфика состава, структуры и свойств таких грунтов для обеспечения высокого качества и надежности их закрепления требует привлечения инъекционных растворов, обладающих:

- высокой проникающей способностью, в том числе в грунты с коэффициентом фильтрации K_f менее 0,1 м/сут;
- стабильностью при отсутствии заметных изменений физического состояния раствора и прочности геля под влиянием разбавления, воздействия карбонатов, гипса, солей и органических веществ;
- достаточно длительным пребыванием раствора в жидкообразном состоянии в условиях агрессивной грунтовой среды, что обеспечивает полноту взаимодействия химически активных компонентов раствора и грунта;
- наличием в растворе внутреннего ресурса в виде активного реагента для полимеризации остаточной кремнекислоты [7].

В пределах этой проблемы было целесообразно сосредоточить внимание на целенаправленном анализе геохимических параметров антропогенных грунтов в целях разработки системы критериев их оценки как объектов силикатизации.

Накопленный в лаборатории «Исследование влияния геологических факторов на физико-химическое закрепление грунтов» геологического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова опыт по искусственному преобразованию структурно-неустойчивых лессовых грунтов, описанный в первой части данной работы [3], определил возможность использования органосиликатных аммиак-продуцирующих растворов для упрочнения антропогенных грунтов на примере культурного слоя. Это семейство силикатных композиций с использованием поверхностно-активных веществ (ПАВ), являющихся представителями класса амидов (формами, кубовый остаток формамида — КОФ и диметилформамид) [5, 8].

Использование этих органических отвердителей жидкого стекла позволяет активизировать скелетную часть грунта за счет увеличения индукционного периода (время гелеобразования), обеспечить более полную мобилизацию кремниевой кислоты. Особенностью таких растворов является выделение гидроокиси аммония как промежуточного продукта реакции. Аммиак вызывает активную поликонденсацию кремниевой кислоты, система приводится в неустойчивое равновесие и переходит в гелеобразное состояние. Время гелеобразования растворов (регулируется в пределах до нескольких суток) и прочность формирующихся гелей зависит от концентрации реагирующих веществ и их объемного соотношения. Кроме этого, аммиак способен дополнительно активизировать протекание физико-химических реакций в грунте.

Для исследований в лабораторных условиях были отобраны образцы (более 60 видов) грунтов культурного слоя из различных мест РФ (гг. Москва, Керчь, Севастополь) и ближнего зарубежья (гг. Киев, Рига), где предполагалось осуществление мероприятий по их преобразованию [2]. Характеристика грунтов представлена в табл. 1. По геохимическим особенностям данные грунты, как и ранее изученные структурно-неустойчивые лессовые (часть I), были подразделены на три группы [3]. Распределение грунтов культурного слоя по активности проводилось на основе комплексного анализа важных геохимических факторов (емкости поглощения в щелочной среде, содержания органических веществ, карбонатов, гипса, легкорастворимых солей, pH и минеральному составу глинистой фракции частиц), близкого к оценке, разработанной сотрудниками лаборатории геологического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова для структурно-неустойчивых лессовых грунтов [9, 10, 15].

Первая выделенная группа охватывает широкий по дисперсности спектр грунтов (классификация Н.А. Качинского [11]) от песчаных до суглинистых разностей (см. табл. 1). Поэтому и диапазон поглотительной способности, определенной по методике В.Е. Соколовича [14], составляет от 10,3 до 22,4 мг-экв/100 г грунта. Грунты этой группы сильно карбонатизированы (от 5,8 до 49,8%). Количество органических веществ не превышает 2,2%.

В минеральном составе песчаной фракции для этих грунтов определяющими явились кварц (56–90%) и карбонаты (до 70%). В значительно меньшем количестве присутствуют другие минералы. Минеральный состав дисперсной фазы этих грунтов, являющийся основополагающим при их искусственном преобразовании, представлен в основном гидрослюдой — $\geq 50\%$. Количество каолинита, смектита, хлорита и других глинистых минералов колеблется от 5 до 40%.

Таблица 1

| Характеристика исследованных антропогенных грунтов | | | | | | | | | | | | | |
|--|--|--|----------------------|-----------------------|-------------------------------|----------------------|---|----------------------|---------------|------|-----------|--|---|
| Тип грунтов* | № образцов | Название грунта по Н.А. Качинскому, место отбора | Содержание частиц, % | | | Число пластилинности | Емк. поглощ. в песочн. ср. мг-эке/100 г | Химический состав, % | | | | | Минеральный состав глинистой фракции, % |
| | | | глина | физ. глина, < 0,01 мм | глинистая фракция, < 0,001 мм | | | рН | сухой остаток | гипс | карбонаты | гумус | |
| I | 1 | Песок связный г. Москва, Зарядье | Г | 5,68 | 0,34 | 0,07 | 14,1 | 0,3 | 0,2 | 5,8 | 0,8 | 4,35 | Гидролюда — 65, Каолинит — 20, смектит — 15 |
| | | | м | 5,29 | 0,02 | | | | | | | | |
| | 2 | Супесь г. Москва, ул. Волхонка | Г | 10,7 | 7,3 | 0,05 | 10,3 | 0,9 | 1,1 | 12,5 | 0,08 | 9,1 | Иллит — 40, каолинит — 10, хлорит — 10 |
| | | | м | 7,5 | 1,4 | | | | | | | | |
| 3 | Суглинок тяжелый г. Севастополь (Херсонес) | Г | 55,3 | 23,1 | 0,12 | 22,4 | 1,4 | 1,6 | 49,8 | 2,2 | 28,2 | Гидролюда — 75, Каолинит — 15, хлорит — 5 | |
| | | м | 26,7 | 3,8 | | | | | | | | | |
| 4 | Суглинок тяжелый г. Керчь (Пангикапей) | Г | 56,0 | 22,3 | 0,14 | 22,0 | 1,1 | 0,1 | 31,0 | 1,0 | 19,6 | Гидролюда — 50, Смектит — 35, Каолинит — 10, хлорит — 5 | |
| | | м | 26,9 | 3,6 | | | | | | | | | |
| 5 | Песок связный г. Москва, Остаповский проезд, ЗЭМ | Г | 8,96 | 0,02 | 0,06 | 38,0 | 0,5 | 1,4 | 3,5 | 9,4 | 32,8 | Гидролюда — 80, Каолинит — 15, много аморфного вещества | |
| | | м | 16,0 | 0,04 | | | | | | | | | |
| 6 | Супесь г. Москва, ул. Маршала Шапошникова | Г | 14,94 | 4,81 | 0,04 | 20,4 | 2,3 | 3,7 | 0,9 | 2,2 | 4,56 | Гидролюда — 75, Смектит — 10, много аморфного вещества | |
| | | м | 13,01 | 0,03 | | | | | | | | | |
| 7 | Супесь г. Москва, Кремль, Боровицкие ворота | Г | 18,7 | 8,7 | 0,04 | 23,3 | 2,8 | 0,4 | 7,3 | 1,8 | 8,66 | Иллит — 70, хлорит — 20, аморфное вещество | |
| | | м | 7,7 | 1,2 | | | | | | | | | |
| 8 | Суглинок легкий г. Москва, Арбат | Г | 22,2 | 15,6 | 0,08 | 39,2 | 1,8 | 1,2 | 3,8 | 1,6 | 9,28 | Иллит — 57, каолинит — 20, смектит, аморфное вещество | |
| | | м | 4,9 | 1,2 | | | | | | | | | |
| 9 | Суглинок средний Ростовская область (Тананс) | Г | 33,7 | 11,0 | 0,11 | 31,0 | 3,0 | 5,0 | 6,0 | 3,7 | 8,65 | Гидролюда — 50, монтмориллонит — 30, смешаннослойные, каолинит — 10, хлорит — 5-7, аморфное вещество — 3-5 | |
| | | м | 22,2 | 4,0 | | | | | | | | | |
| 10 | Супесь, г. Москва, Остаповский проезд, ЗЭМ | Г | 11,96 | 9,43 | 0,08 | 78,0 | 1,2 | 0,3 | 1,9 | 11,7 | 16,3 | аморфное вещество, следы глинистых минер. | |
| | | м | 18,46 | 0,18 | | | | | | | | | |
| 11 | Суглинок средний, г. Москва, Красная площадь, Казанский собор | Г | 32,5 | 16,3 | 0,10 | 70,8 | 0,6 | 0 | 0,8 | 9,2 | 14,0 | аморфное вещество, следы глинистых минер. | |
| | | м | 9,6 | 1,3 | | | | | | | | | |
| 12 | Суглинок средний, Старая Рига | Г | 32,77 | 17,98 | 0,12 | 68,0 | 0,4 | 0,2 | 0,3 | 21,6 | 41,02 | аморфное вещество, следы глинистых минер. | |
| | | м | 3,99 | 0,03 | | | | | | | | | |

Примечание: * тип грунтов по физико-химической активности; п.п.л. — потери при прокаливании; г — гранулометрический; м — микроагрегатный; ЗЭМ — завод экспериментальных машин «ВНИИнефтемаш»



Рис. 1. Прочность образцов антропогенных грунтов, закрепленных формамидсиликатным раствором во времени: I, II, III — типы грунтов; твердение образцов в средах: а — водной; б — воздушно-влажной; 1 — 1 сут., 2 — 1 мес., 3 — 1 год

Вторая группа также включает грунты, различающиеся по дисперсности от песчаных до суглинистых разновидностей. В составе песчаных фракций кварц является определяющим минералом. Тонкодисперсная фракция включает, кроме глинистых минералов, аморфное вещество в виде коллоидов органического происхождения. Содержание органических веществ для этих грунтов повышается до 9,4%. В связи с этим и значение емкости поглощения грунтов в щелочной среде увеличивается до 39,2 мг-экв/100 г грунта. Кроме этого, количество карбонатов уменьшается, а легкорастворимых солей возрастает.

Содержание органических веществ в виде гумуса в грунтах третьей группы достигает значений 9,2–21,6%, что наиболее ярко отражается на их поглотительной способности. Правильно определить ее по методикам В.Е. Соколовича и И.Н. Антипова-Каратаева¹ [14] было невозможно в связи с их высокой набухающей способностью. Отличительной особенностью этих грунтов является то, что при содержании частиц < 0,01 мм (11,96–32,77%) и < 0,001 мм (9,43–17,98%) в тонкодисперсных фракциях присутствуют практически только аморфные вещества органических коллоидов гумифицированного и костного состава при почти полном отсутствии (только следы) глинистых минералов. Несмотря на то, что в минеральном составе песчаной фракции частиц присутствуют: кварц до 66%, микроклин до 17%, плагиоклаз до 8% и др., такие разновидности грунтов ранее не рассматривались в качестве объектов технической мелиорации.

Из вышесказанного следует, что изученные грунты резко отличаются по своей физико-химической активности.

Закрепление грунтов в лабораторных условиях осуществлялось так же, как и для других дисперсных грунтов методом капиллярной пропитки образцов нарушенного сложения, сформированных из грунта, просеянного через сито с диаметром ячеек 1 мм [14]. Образцы выдерживались в воздушно-влажной, водной средах и через определенные сроки испытывались.

Известно, что механизм формирования искусственно-цементного раствора после пропитывания грунтов инъекционным раствором обусловлен химической природой структуро-

образующего реагента и характером химических реакций. Кроме этого, существенное влияние на эффект закрепления оказывают физико-химические процессы на границе раздела «минерал — химический реагент», так как они определяют контактную прочность цемента и зерен грунта, что в свою очередь определяет строительные свойства закрепленной породы. Поэтому надежность и эффективность органосиликатных рецептур оценивались по прочности на одноосное сжатие, водостойкости, коэффициенту размягчения закрепленных грунтов и по величине выщелачивания кремниевой кислоты.

На рис. 1 представлены средние значения по прочности и водостойкости широкого диапазона грунтов (более 30 образцов). Образцы I и II выделенных групп после взаимодействия с формамидсиликатным раствором плотностью 1,19 г/см³ обладают необходимой прочностью и устойчивостью. Наилучшие результаты получены для грунтов I группы. При длительном хранении закрепленных грунтов в воздушно-влажной среде их прочность незначительно увеличивается и закономерно понижается в водной среде к 1 году. Это обусловлено выщелачиванием части неполимеризовавшейся кремниевой кислоты.

Изучение с использованием растрового электронного микроскопа образцов двух выделенных групп, закрепленных формамидсиликатным раствором, твердеющих в воздушно-влажной среде 30 суток, показало, что частицы грунта покрыты сплошной пленкой кремнегеля. В цементирующей частице грунта геле преобладает агрегативная структура из плотнослившихся коллоидных частиц SiO₂, которые дополнительно объединены в ячейки. Такая микроструктура обеспечивает закрепленным образцам устойчивость в водной среде.

Из данных, представленных на рис. 1, видно, что образцы грунтов III выделенной группы приобретают незначительную прочность и не обладают устойчивостью в воде. Активизировать физико-химические ресурсы этих грунтов при отсутствии в их составе глинистых минералов и более полно мобилизовать кремниевую кислоту в водостойких формах с помощью аммиакпродуцирующего формамидсиликатного раствора плотностью 1,19 г/см³ не удалось. Этого не получилось и при увеличении концентрации всех активных компонентов раствора, т.е. с повышением его плотности до 1,24 г/см³. Причем увеличение плотности раствора при преобразовании грунтов I типа приводит к резкому возрастанию прочностных характеристик до 3,5 МПа.

Проведенные исследования подтвердили полученные ранее результаты [6], что увеличение содержания карбонатов в грунтах культурного слоя положительно сказывается на их искусственном преобразовании. Присутствие органических веществ в виде гумуса (до 3,7%) не оказывает сильного отрицательного действия при укреплении грунтов растворами формамидсиликатного состава. Увеличение содержания в грунтах легкорастворимых солей приводит к ухудшению прочностных характеристик закрепленных образцов.

Определение угла смачивания различных порообразующих минералов формамидом доказало, что сорбция органических молекул реагента поверхностями кварца, полевого шпата и кальцита практически одинакова.

Закрепление грунтов выбранными растворами обусловлено не только свойствами геля и взаимодействием

¹ Аринушкина, Е.В., 1970. Руководство по химическому анализу почв. Изд-во Московского университета, М.

с минеральной поверхностью грунта, но и условиями, в которых происходит твердение искусственно улучшенных грунтов. Максимальный рост прочности в воздушно-влажной среде наблюдается в основном к 7–30 суткам твердения.

Определение устойчивости силикатизированных антропогенных грунтов в условиях воздействия техногенно-кислых сред

В практике строительства и эксплуатации зданий и сооружений приходится сталкиваться с воздействием на подземные конструкции агрессивных сред. По степени воздействия на строительные конструкции среды разделяются на неагрессивные, слабоагрессивные, среднеагрессивные и сильноагрессивные. Рекомендуемые нормативными документами СП 72.13330.2016 «СНиП 3.04.03–85 Защита строительных конструкций и сооружений от коррозии» методы защиты подземных конструкций от коррозии сводятся к повышению химической устойчивости применяемых материалов или их антикоррозионному покрытию. В некоторых случаях производится замена агрессивного грунта или снижение уровня подземных вод. Указанные способы требуют значительных затрат, и большая их часть неприменима в тех случаях, когда агрессивные среды сформировались в ходе эксплуатации сооружений. В связи с этим считалось целесообразным уделить внимание вопросу устойчивости закрепленных антропогенных грунтов в условиях их подтопления кислыми растворами. Необходимо отметить, что ранее многими учеными (С.С. Морозов, В.Г. Самойлов, Б.А. Ржаницын, В.Е. Соколович, Е.С. Чаликова, Е.В. Степанова, Н.А. Ларионова, Т.Т. Абрамова и др.) исследовалось воздействие техногенно-кислых растворов только на силикатизированные песчаные и лессовые грунты.

Моделирование процессов воздействия техногенно-кислых растворов в лабораторных условиях осуществлялось на тяжелом суглинке (обр. 3), входящем в I группу наиболее активных к инъекционному раствору грунтов. Емкость поглощения его в щелочной среде соответствует 22,4 мг-экв/100 г грунта. Грунт содержит 49,8% карбонатов, 1,6% гипса, 1,4% легкорастворимых солей и 2,2% гумуса. Глинистая фракция частиц представлена на 75% гидрослюдой.

В качестве агрессивных инфильтратов были выбраны растворы серной и соляной кислот с концентрациями соответственно от 0,001 н (рН = 2,7–3,0) до 1 н (рН = 0,02–0,14).

Изучение процессов воздействия этих кислот на закрепленный грунт при различных соотношениях твердой и жидкой фаз (ТЖ) проводилось в течение трех лет со сменой через определенные промежутки времени и без смены контактирующего раствора. В данной работе так же, как и в первой ее части [3], приведены результаты с соотношением ТЖ 1:10 без смены контактирующего с грунтом раствора.

Проведенные исследования показали, что грунт после закрепления формамидсиликатным раствором приобретает первоначальную прочность 0,9 МПа. Воздействие слабых растворов этих кислот с концентрациями до 0,1 н. приводит к улучшению прочностных показателей образцов до значений 1,1–1,3 МПа (рис. 2). Это обусловлено реакцией нейтрализации избытка щелочи кислотой [4]. Из данных, представленных на рис. 2, четко прослеживается закономерность, что с повышением концентрации

контактирующего с грунтом раствора и увеличением длительности воздействия агрессивно-кислой среды прочность закрепленных образцов постепенно понижается. Несмотря на это необходимо отметить высокую устойчивость преобразованного грунта в условиях кислой среды, содержащей Cl^- , в течение одного года.

Воздействие серной кислоты на закрепленный грунт резко усиливается с увеличением ее концентрации в контактирующем растворе выше 0,1 н. На поверхности образцов к 7 суткам происходит образование гипсовых корочек, создающих эффект «корсета» и предохраняющих их от разрушения. Однако значительное увеличение количества ионов SO_4^{2-} в контактирующем с грунтом растворе приводит к разрушению образцов за счет расклинивающего действия двуводного гипса.

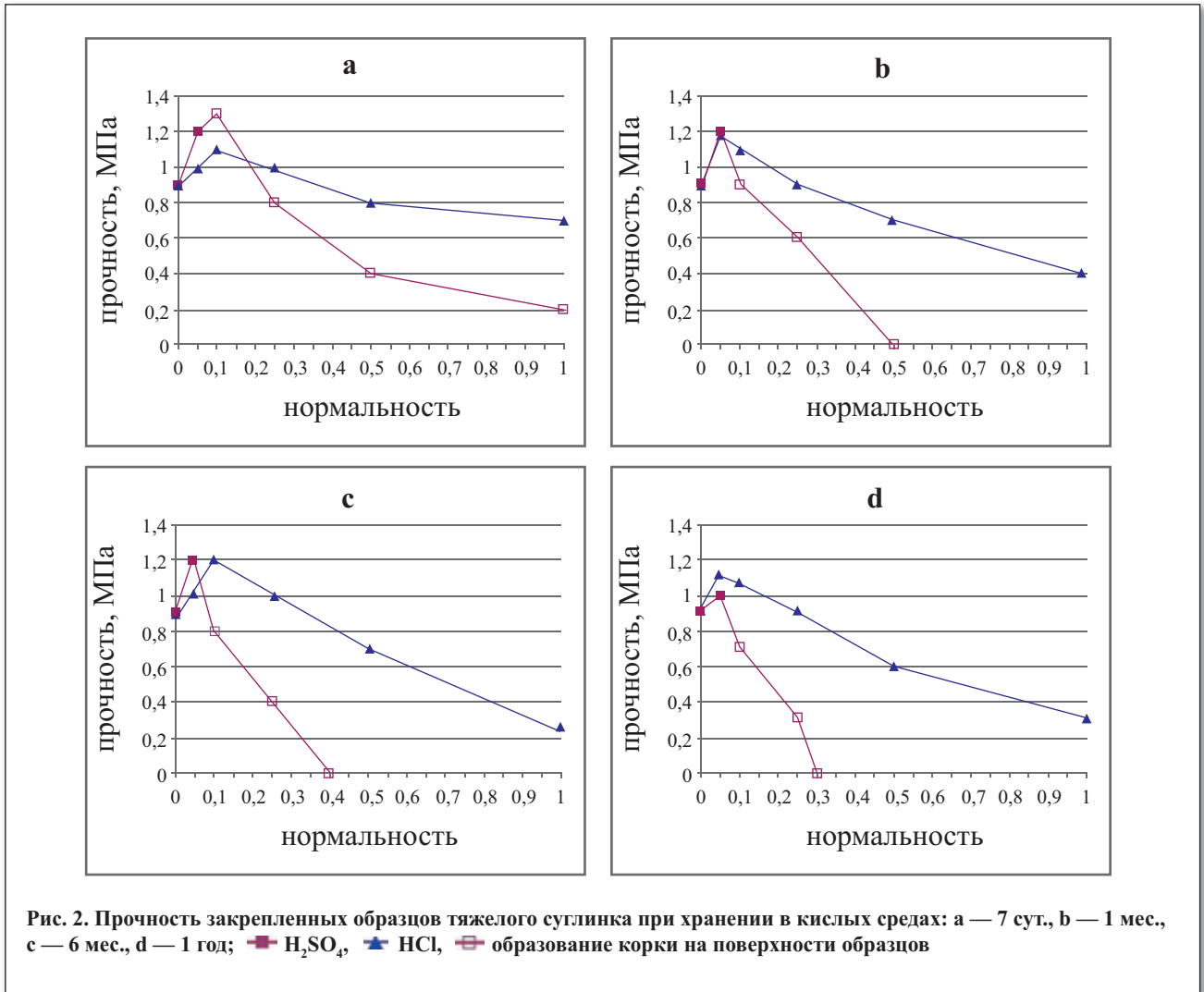
Из сказанного выше следует, что агрессивность кислых сред на силикатизированные антропогенные грунты определяется составом грунта; составом и концентрацией контактирующего с грунтом раствора; условиями и длительностью этого воздействия.

Таким образом, такие сложные грунты, какими являются структурно-неустойчивые антропогенные (кроме грунтов III типа), в результате воздействия органосиликатных растворов приобретают значительную устойчивость не только в водных, но и в агрессивно-кислых средах. Кроме этого, необходимо отметить, что лабораторные исследования велись в экстремальных для образцов условиях. Такие высокие концентрации кислот в естественной среде даже при техногенном загрязнении грунтов оснований сточными водами исключаются. Они могут возникать лишь в редких случаях (при сильных проливах, протечках и т.п.).

Опытно-производственное закрепление антропогенных грунтов

Искусственное преобразование антропогенных грунтов двух типов осуществлялось в г. Севастополь на территории Херсонесского историко-археологического заповедника.

Грунты северо-восточного участка третьего квартала Херсонеса представлены тяжелыми суглинками (их состав и свойства сведены в табл. 1 (№ 3) с большим количеством включений остатков строительного камня, керамики, стекла, ракушек, костей, корней растений. Встречаются прослойки желтоватой глины. Закрепление *in situ* этих грунтов (земляного «попа» — X–XIII вв. н.э.) органосиликатным раствором осуществлялось с помощью инъекторов, длина которых составляла 85 см с внутренним диаметром 17 мм. Перфорация — по всей длине инъекционных трубок через 4,5–5 см. Скорость, с которой состав проникал в грунт, колебалась в пределах 1,2–4,5 л/мин. Нагнетание растворов в грунт проводилось через 3 инъектора, вокруг которых создавалась цементная подушка, чтобы избежать прорыва раствора на дневную поверхность (рис. 3). После закрепления массива грунта проводилось его обследование. Опытные инъекционные работы показали хорошую проницаемость раствора при коэффициенте фильтрации грунта 0,3 м/сут. Полученные данные по прочности на одноосное сжатие свидетельствовали о хорошей однородности преобразованного массива. Прочность образцов в приинъекторной зоне колебалась от 0,8 до 1,5 МПа и в краевой зоне от 0,6 до 1,3 МПа в зависимости от глубины массива (табл. 2).



Высокий коэффициент размягчения (от 0,62 до 0,80) подтверждает их хорошую водоустойчивость. Важным результатом работ явилось то, что неоднородная толща грунта получила достаточно равномерное закрепление. Это можно объяснить высокой адгезионной способностью раствора к минеральным составляющим грунта и различным включениям. Авторский надзор за искусственно преобразованным грунтовым массивом в течение трех лет показал хорошую его сохранность.

Инъектирование грунтов было также проведено в обнаженное основание апсиды малого средневекового храма в районе античного театра Херсонеса. Грунт — желтовато-коричневый суглинок с белыми глинистыми прослоями, керамическими и органическими включениями (VI в. н.э.). Мощность культурного слоя обнаженного основания храма — 0,8–1,0 м. Коэффициент фильтрации грунтов составляет 0,3 м/сут. Число пластичности грунтов — 0,12. Емкость поглощения — 19,7 мг-экв на 100 г грунта. Количество карбонатов достигает значений 56,1%, а гумуса — 3,7%. В составе глинистой фракции преобладающим минералом (65%) является гидрослюда. Редким для таких грунтов является присутствие в ней до 15% талька.

Обнаженное грунтовое основание храма было необходимо сохранить как историко-археологическую ценность (рис. 4). В связи с этим инъектирование этих грунтов осуществлялось с помощью только горизонтальных закачек формамидсиликатных растворов с особой осторож-



ностью для предотвращения разрыва грунта (рис. 4, б). Проведенные работы позволили добиться упрочнения и прекращения осыпания сильно выветрелого грунта. Отбор

Таблица 2

| Прочность образцов, отобранных из массива закрепленного грунта | | | |
|--|----------------------------|----------------|-------------------------|
| Глубина от поверхности, м | Расстояние от инъектора, м | Прочность, МПа | Коэффициент размягчения |
| 0,2 | 0,2 | 1,3 – 1,5 | 0,80 |
| 0,5 | 0,2 | 1,2 – 1,4 | 0,73 |
| 1,0 | 0,2 | 1,0 – 1,3 | 0,70 |
| 1,5 | 0,2 | 0,8 – 1,2 | 0,68 |
| 0,2 | 0,5 | 1,2 – 1,3 | 0,69 |
| 0,5 | 0,5 | 1,1 – 1,2 | 0,71 |
| 1,0 | 0,5 | 0,8 – 1,0 | 0,64 |
| 1,5 | 0,5 | 0,6 – 0,8 | 0,62 |

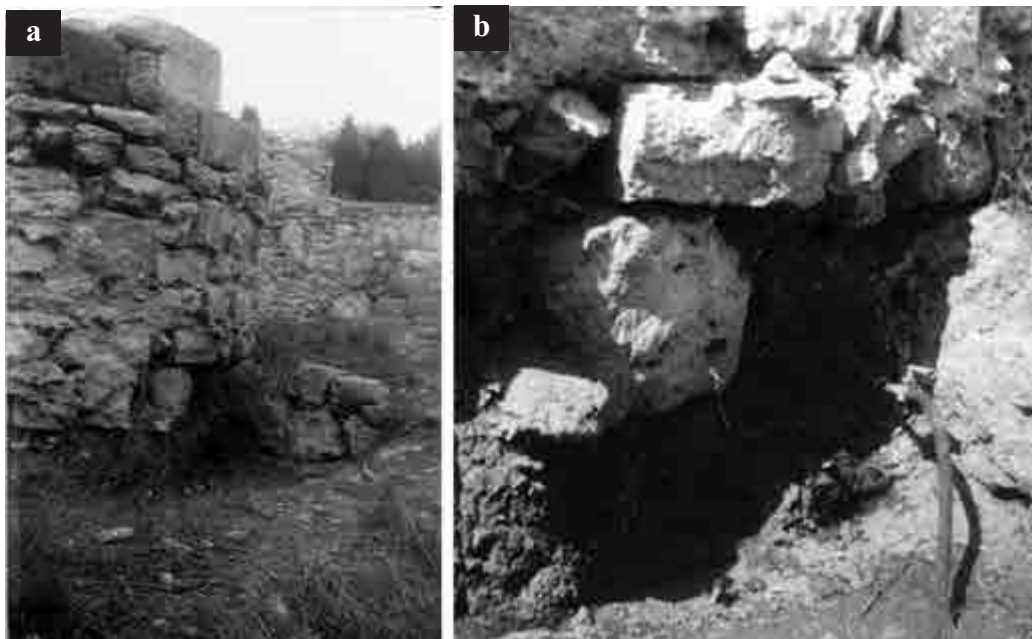


Рис. 4. Закрепление грунтов культурного слоя в районе античного театра Херсонеса: а — апсида малого храма (общий вид); б — горизонтальная инъекция обнаженного грунтового основания

проб из закрепленного основания уникального сооружения не проводился. Наблюдения на протяжении трех лет показали хорошую устойчивость сооружения без деформаций и разрушения преобразованного грунтового массива.

Мощность антропогенных грунтов (III–I вв. до н.э.) городища Танаис (Ростовская область) значительно больше и достигает 5 м. Это средние крупнопылеватые суглинки. Грунты крайне неоднородны как в вертикальном, так и в горизонтальном направлении. Слои часто выклиниваются и на небольшом расстоянии появляются вновь. Наиболее важные характеристики одного из представителей этой грунтовой толщи (обр. 9) представлены в табл. 1. Он отнесен ко второму типу по физико-химической активности. Необходимо подчеркнуть, что все изученные пробы грунтов, отобранные с борта археологического раскопа, где предполагалось проведение работ по инъектированию, имели высокую емкость поглощения в щелочной среде от 31,0 до 35 мг-экв/100 г грунта и содержание аморфного вещества в глинистой составляющей от 3–5 до 10%. Закрепление этих антропогенных грунтов, слагающих борт археологического раскопа, проводилось с помощью прибора, разработанного сотрудниками Бюро внедрения Ростовского Промстройниипроекта, который

позволяет определять все параметры инъектируемого раствора. Нагнетание двух модификаций органосиликатной рецептуры (формамида и отхода от его производства (КОФ) в качестве отвердителей силиката натрия — состав 2 и 1 соответственно) проводилось через две заходки сверху вниз (рис. 5). Максимальное заглубление инъекторов составляло 190 см. Во избежание прорыва раствора на дневную поверхность у инъектора создавалась цементная подушка. Раствор проникал в грунт при давлении 0,2–0,8 атм со скоростью 3,5 л/мин.

Вскрытие участков через один месяц обнаружило закрепленные массивы, которые имели эллипсоидную форму с радиусом закрепления, зависящим от объема инъекционного раствора. Так, при инъектировании 105 л раствора средний радиус закрепленного грунта составил 0,2–0,4 м при высоте до 0,7 м. Увеличение объема инъекционного раствора до 250 л от одной скважины при одной заходке привело к возрастанию как объема закрепленного массива, так и радиуса закрепления до 0,4–0,8 м. Благодаря высокой адгезионной способности раствора к минеральным составляющим грунта и различным включениям, крайне неоднородная слоистая толща грунта получила достаточно равномерное закрепление (табл. 3).



Рис. 5. Инъектирование грунтов культурного слоя, слагающих борт археологического раскопа городища Танаис

Таблица 3

| Прочность образцов, отобранных из закрепленного массива грунта | | | | | | | | | |
|--|----------------------------|----------------|--------|--------|---------------------------|----------------------------|----------------|-------|--------|
| Глубина от поверхности, м | Расстояние от инъектора, м | Прочность, МПа | | | Глубина от поверхности, м | Расстояние от инъектора, м | Прочность, МПа | | |
| | | скв.1 | скв.2 | | | | скв.1 | скв.2 | |
| | | | 1 мес. | 1 мес. | | | | 1 год | 1 мес. |
| 0,2–0,3 | 0,1–0,3 | 0,3 | 0,7 | 0,6 | 0,6–1,0 | 0,2–0,4 | 0,3 | 1,0 | 0,7 |
| | 0,3–0,4 | 0,25 | - | 0,45 | | 0,4–0,5 | 0,2 | 0,7 | 0,6 |
| | 0,4–0,7 | - | 0,7 | - | | 0,6–0,7 | - | 0,5 | 0,5 |
| | 0,7–0,8 | - | - | 0,3 | | | | | |
| 0,3–0,6 | 0,1–0,2 | 0,4 | - | - | 1,0–1,5 | 0,1–0,3 | 0,2 | 0,5 | - |
| | 0,3–0,4 | 0,2 | - | 0,5 | | 0,4–0,5 | - | - | 0,3 |
| | 0,6–0,7 | - | - | 0,3 | | 0,7–0,8 | - | 0,3 | - |
| | | | | | | | | | |

Примечание: скв. 1 — состав 1; скв. 2 — состав 2 (см. текст); прочность образцов — это среднее значение из 3–5 определений

Сравнивая прочностные характеристики грунтов Танаиса, искусственно преобразованных с помощью двух модификаций органосиликатной рецептуры, можно отметить, что лучшие результаты получены при использовании формамида в качестве отвердителя жидкого стекла (см. табл. 3). Это вызвано большей мобилизацией кремниевой кислоты и газообразного аммиака, который способен интенсифицировать силикатизацию суглинков с протеканием дополнительных физико-химических реакций в коллоидной составляющей грунта.

При изучении полученных результатов выявлено, что прочность антропогенных грунтов культурного слоя у исследованных объектов закономерно уменьшается от инъектора к краевой зоне. При этом даже на периферии объекта значения прочности при одноосном сжатии достаточно высоки (см. табл. 3, скв. 2).

Изучение микростроения закрепленных образцов показало, что в образце, отобранном из приинъекторной зоны, гель почти сплошь покрывает частицы грунта. Встречается сочетание двух типов цементирующего вещества в закрепленном грунте: глобулярно-агрегативного строения и пленочного вида. Грунт из периферийной зоны больше напоминает естественный, с отдельными «нашлепками» цементирующего вещества. За счет дополнительной активизации грунтов аммиаком происходит увеличение их агрегированности.

В закрепленном массиве грунта определено незначительное содержание водорастворимой кремниевой кислоты. Ее количество возрастает в среднем от 0,025 до 0,065 г/100 г грунта по мере удаления от инъектора и с повышением pH среды до 10,6. В свою очередь низкое содержание водорастворимой кремниевой кислоты опреде-

ляет высокую степень ее полимеризации (до 97%), а также хорошую водоустойчивость закрепленного грунта.

Таким образом, проведенные работы также показали хорошую проницаемость раствора в грунты с коэффициентом фильтрации 0,3 м/сут (радиус закрепления в отдельных местах превысил 0,8 м), достаточно высокую прочность и стабильность закрепления, а также доступность способа, благодаря возможности использования отходов химического производства и несложных технологических приемов.

Накопленный опыт по закреплению грунтов на перечисленных объектах позволил рекомендовать дирекции Государственного исторического музея в г. Москве для упрочнения грунтовой толщи XVI–XVII вв. на территории двора музея «Палаты бояр Романовых» две модификации органосиликатных растворов. В одном растворе в качестве отвердителя жидкого стекла используется формамид низкой концентрации, во втором — отход от его производства — кубовый остаток формамида (КОФ). Мощность этих грунтов составляет 3–5 м. Разрез культурного слоя представлен песками (обр. 1, см. табл. 1) и супесями палевого и палево-серого цвета с прослоями золы, включениями керамики, строительного камня, костей, корней растений и др. Несмотря на то, что в изученных грунтах содержание глинистых частиц ($< 0,001$ мм) невелико (не превышает 0,34%), грунты являются набухающими с емкостью поглощения в щелочной среде до 14,1 мг-экв/100 г грунта. Данные грунты характеризуются высоким содержанием гидроокислов железа, находящихся в тонкодисперсном состоянии.

Химическое закрепление грунтов в раскопе осуществлялось в 1988 г. при температуре воздуха минус 6°C совместно с сотрудниками специальной реставрационной мастерской и треста горнопроходческих работ № 3 (г. Москва) [1]. На рис. 6 показано нагнетание инъекционного раствора в грунт. Оно осуществлялось тремя заходками сверху вниз с использованием инъекторов переменного сечения.

Инъекционный раствор готовился следующим образом: в предварительно нагретый (до 40°C) раствор силиката натрия вводился разбавленный раствор формамида или КОФ при непрерывном перемешивании. Чистое время закачки во все скважины составило 2 часа 35 минут. За это время было заинжецировано 890 л раствора. Максимальное заглубление инъекторов составило 2,5–3,0 м. Раствор проникал в среднем при давлении до 1 атм со скоростью 5,5–6,0 л/мин (max — 8,0 л/мин).

В связи с исторической ценностью и уникальностью данного объекта был разрешен отбор образцов только с торцов западной стены раскопа. Их прочность колебалась от 0,5 до 0,8 МПа в зависимости от глубины разреза. Искусственно преобразованный разрез грунтов культурного слоя с 1990 г. демонстрируется в подземном археологическом музее «Палаты бояр Романовых» (ул. Варварка, д. 10). Более подробно это отражено в работе [1].

Заключение

Проведенные исследования широкого спектра антропогенных грунтов на примере культурного слоя позволили разделить их на три типа по физико-химической активности.

Выявлено, что наиболее существенные изменения физико-механических свойств грунтов культурного слоя



Рис. 6. Инъектирование грунтов культурного слоя на территории музея «Палаты бояр Романовых» (ул. Варварка, д. 10)

после их искусственного преобразования аммиакпродуцирующими растворами наблюдаются для разностей, обладающих более низкой физико-химической активностью.

Использование органосиликатных растворов, содержащих в своем составе поверхностно-активные вещества: формамид, кубовый остаток и диметилформамид не позволяют полностью активизировать грунты, выделенные в третий тип, так как в их коллоидной составляющей почти не содержатся глинистые минералы (следы). В глинистой фракции этих грунтов присутствуют только аморфные вещества органических коллоидов гумифицированного и костного состава.

Создание нового массива грунта с улучшенными свойствами определяется составом, свойствами грунта и инъекционных растворов; расстоянием от инъектора и глубиной закрепляемой зоны.

Слабопроницаемые неоднородные слоистые толщи грунтов, пестрые по своему составу, получили достаточно равномерную пропитку и закрепление благодаря более полной мобилизации кремниевой кислоты основного цементирующего вещества и хорошей адгезионной способности раствора к минеральным составляющим грунта и различным включениям.

Анализ процессов взаимодействия органосиликатных растворов с такими специфическими грунтами, какими являются культурные слои, позволит в дальнейшем более полно систематизировать их в инженерно-геологических целях. ☺

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Абрамова, Т.Т., 2012. Искусственное преобразование грунтов культурного слоя г. Москвы. Инженерная геология, № 4, с. 68–72.
2. Абрамова, Т.Т., 2016. Грунты культурного слоя археологических памятников как объекты технической мелиорации. Перспективы развития инженерных изысканий в строительстве в Российской Федерации, Материалы Двенадцатой Общероссийской конференции изыскательских организаций, Москва, 2016, с. 520–523.
3. Абрамова, Т.Т., 2017. Силикатизация структурно-неустойчивых грунтов (Часть I). Инженерная геология, № 6, с. 34–45. DOI:10.25296/1993-5056-2017-6-34-45.
4. Абрамова, Т.Т., Валиева, К.Э., 2006. Определение устойчивости силикатизированных грунтов в условиях их подтопления техногенно-кислыми водами. Проблемы механики грунтов и фундаментостроения в сложных грунтовых условиях, Труды Международной научно-технической конференции, т. 2, Уфа, 2006, с. 50–55.
5. Абрамова, Т.Т., Воронкевич, С.Д., 1979. А.с. 700583, СССР, МПК E01D 3/14, Состав для закрепления грунта. — Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, № 2617439/29-33, заявл. 18.05.78, опубл. 30.11.79. Бюл. № 44.
6. Абрамова, Т.Т., Воронкевич, С.Д., 1988. Силикатизация грунтов культурного слоя архитектурно-археологических памятников Северного Причерноморья. Инженерная геология, № 2, с. 44–57.
7. Абрамова, Т.Т., Воронкевич, С.Д., Валиева, К.Э., Шувалова, Л.П., Зеленский, В.Ю., 1990. Метод повышения эффективности силикатизации структурно-неустойчивых грунтов. Инженерная геология, № 5, с. 26–34.
8. Абрамова, Т.Т., Воронкевич, С.Д., Постникова, О.Н., 1987. А.с. 1333682, СССР, МПК E01D 3/14, Состав для закрепления грунта. — Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, № 3864596/29-33, заявл. 06.03.85, опубл. 30.08.87. Бюл. № 32.
9. Воронкевич, С.Д., Абрамова, Т.Т., Еремина, О.Н., Ларионова Н.А., Самарин, Е.Н., 1993. Химическое закрепление лессовых грунтов-оснований: новые подходы и методы решения. Инженерная геология: теория, практика, проблемы. Под ред. В.Т. Трофимова. Изд-во Московского университета. М., с. 52–71.
10. Воронкевич, С.Д., Абрамова, Т.Т., Ларионова, Н.А., 1992. Повышение надежности инъекционного химического закрепления лессовых грунтов. Инженерная геология, № 6, с. 25–33.
11. Качинский, Н.А., 1958. Механический и микроагрегатный состав почвы, методы его изучения. Изд. АН СССР, М.
12. Котлов, Ф.В., 1978. Изменение геологической среды под влиянием деятельности человека. Недра, М.
13. Пашкин, Е.М., Дзекцер, Е.С., Никифоров, А.А., 1987. Техногенез и эволюция инженерно-геологических и гидрогеологических условий исторических территорий. Труды Международной научной конференции. МГУ, Москва, с. 137–138.
14. Соколов, В.Е., 1980. Химическое закрепление грунтов. Стройиздат, М.
15. Abramova, T.T., Larionova, N.A., 2014. Methods to increase effectiveness of injective chemical stabilisation of loess soils. Engineering Geology for Society and Territory, Proceedings of XII IAEG Congress, Springer International Publishing AG, Torino. vol. 5, pp. 1289–1292.

REFERENCES

1. Abramova, T.T., 2012. Artificial improvement of soils of the cultural layer of the city of Moscow. Engineering geology, no. 4, pp. 68–72. (In Russ.).
2. Abramova, T.T., 2016. Soils of cultural layer of archaeological monuments as objects of technical soil stabilization. Prospects for development of engineering surveys in the Russian Federation, Materials of the 12th All-Russian Conference of prospecting organizations, Moscow, 2016, pp. 520–523. (In Russ.).
3. Abramova, T.T., 2017. Silicization of structurally unstable soils (Part 1). Engineering geology, no. 6, pp. 34–45. DOI:10.25296/1993-5056-2017-6-34-45. (In Russ.).
4. Abramova, T.T., Valieva, K.E., 2006. Determination of the stability of silicified soils under conditions of their flooding with technogenic acid waters. Problems of soil mechanics and foundation engineering in hard soil conditions, Proceedings of the International Scientific and Technical Conference, vol. 2, Ufa, 2006, pp. 50–55. (In Russ.).
5. Abramova, T.T., Voronkevich, S.D., 1979. A.s. 700583, SSSR, MПК E01D 3/14, Composition for soil stabilization, the applicant — Lomonosov Moscow State University, no. 2617439/29-33, declared 18.05.78, published 30.11.79. Bulletin no. 44. (In Russ.).
6. Abramova, T.T., Voronkevich, S.D., 1988. Silicification of soil in the cultural layer of architectural and archaeological monuments of the Northern Black Sea Region. Engineering geology, no. 2, pp. 44–57. (In Russ.).
7. Abramova, T.T., Voronkevich, S.D., Valieva, K.E., Shuvalova, L.P., Zelenskiy, Yu.V., 1990. Method for increasing the efficiency of silicization of structurally unstable soils. Engineering geology, no. 5, pp. 26–34. (In Russ.).
8. Abramova, T.T., Voronkevich, S.D., Postnikova, O.N., 1987. A.s. 1333682, SSSR, MПК E01D 3/14, Composition for soil stabilization the applicant — Lomonosov Moscow State University, no. 3864596/29-33, declared 06.03.85, published 30.08.87. Bulletin no. 32. (In Russ.).
9. Voronkevich, S.D., Abramova, T.T., Eremina, O.N., Larionova, N.A., Samarin, E.N., 1993. Chemical stabilization of loess soil grounds: new approaches and methods of solution. In the collection of papers V.T. Trofimov (ed.), Engineering Geology: Theory, Practice, Problems. Publishing house of Moscow State University, M., pp. 52–71. (In Russ.).

10. Voronkevich, S.D., Abramova, T.T., Larionova, N.A., 1992. Improving the reliability of chemical injection of loess soils. Engineering geology, no. 6, pp. 25–33. (In Russ.).
11. Kachinskiy, N.A., 1958. Mechanical and micro-aggregate composition of soil and methods of its study. Publishing house of USSR Academy of Science, Moscow. (In Russ.).
12. Kotlov, F.V., 1978. Change in the geological environment under the influence of human activity, Moscow. (In Russ.).
13. Pashkin, E.M., Dzekcer, E.S., Nikiforov, A.A., 1987. Technogenesis and evolution of engineering-geological and hydro-geological conditions of historical territories. Proceedings of the International Scientific Conference, MSU, Moscow, pp. 137–138. (In Russ.).
14. Sokolovich, V.E., 1989. Chemical stabilization of soils. Stroizdat, Moscow. (In Russ.).
15. Abramova, T.T., Larionova, N.A., 2014. Methods to increase effectiveness of injective chemical stabilisation of loess soils. Engineering Geology for Society and Territory, Proceedings of XII IAEG Congress, Springer International Publishing AG, Torino, vol. 5, pp. 1289–1292.

CAPTIONS TO FIGURES

- Fig. 1. Strength of anthropogenic soils samples which were stabilized in time using formamide-silicate solution: I, II, III — soil types; solidification of samples in different mediums: A — water, B — aero-aquatic; 1 — 1 day, 2 — 1 month, 3 — 1 year
- Fig. 2. Heavy clay loam sample strength in acid media: a — 7 days, b — 1 month, d — 1 year; \blacksquare H_2SO_4 , \blacktriangle HCl, \blacksquare formation of a rind on sample surface
- Fig. 3. Injection of anthropogenic soils of the cultural layer (zemlyanoy «pop»). Northeast part of third Chersonesos quarter
- Fig. 4. Stabilization of soil cultural layer in antique Chersonesos theater area: a — apsis of small temple (general view); b — horizontal injection of exposed foundation soil
- Fig. 5. Injection of soil cultural layer, composing archeological excavation edge of ancient town Tanais
- Fig. 6. Injection of soil cultural layer on the museum's territory «Chambers of Romanov boyars» (Varvarka str. Building 10)

CAPTIONS TO TABLES

- Table 1. Investigated anthropogenic soils characteristics
- Table 2. Strength of samples extracted from the mass of stabilized soil
- Table 3. Strength of samples extracted from the mass of stabilized soil

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

АБРАМОВА Т.Т.

Старший научный сотрудник лаборатории исследования влияния геологических факторов на физико-химическое закрепление грунтов геологического факультета Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова, к.г.-м.н., г. Москва, Россия

INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

ABRAMOVA T.T.

Senior researcher of the Research Laboratory of Geological Factors Influence on Physicochemical Soil Consolidation, Faculty of Geology, Lomonosov Moscow State University, PhD (Candidate of Science in Geology and Mineralogy), Moscow, Russia

ЭЛЕКТРОННАЯ ПОДПИСКА НА ЖУРНАЛЫ



www.geomark.ru

ПОЗДРАВЛЯЕМ ПРОФЕССОРА ИГОРЯ ВЛАДИСЛАВОВИЧА ДУДЛЕРА С ЮБИЛЕЕМ!

(к 85-летию со дня рождения)



30 января 2018 года известный ученый и специалист в области инженерной геологии кандидат технических наук, профессор, член-корреспондент Международной академии наук Евразии (МАНЕ), член Научного Совета РАН по проблемам геоэкологии, инженерной геологии и гидрогеологии, Российского общества по механике грунтов, геотехнике и фундаментостроению Игорь Владиславович Дудлер отметил 85-летний юбилей.

За научные достижения в области инженерной геологии в 2017 году И.В. Дудлер был награжден медалью Е.М. Сергеева, за выдающиеся заслуги в области механики грунтов, геотехники и фундаментостроения в 2016 году медалью Н.М. Герсеванова в дополнение к многочисленным государственным и ведомственным наградам.

Трудовая деятельность юбиляра началась в 1956 году после окончания гидротехнического факультета МИСИ в научно-исследовательском секторе (НИС) Гидропроекта им. С.Я. Жука. В течение нескольких лет он активно принимал участие в натурных и крупномасштабных модельных исследованиях на гидротехнических объектах.

В 1960 году Игорь Владиславович вернулся в МИСИ им. В.В. Куйбышева на кафедру инженерной геологии, сначала в качестве аспиранта, потом преподавателя — доцента и профессора. В 1964 году под руководством

профессора Н.Я. Денисова он защитил кандидатскую диссертацию по теме «Исследование упрочнения намытых песков во времени методом ударного зондирования».

Непосредственное участие в проектировании и строительстве крупнейших гидроэлектростанций (ГЭС), государственных районных электрических станций (ГРЭС) в различных районах страны, выполнении исследований для обоснования строительства плотин за рубежом, участие в экспертных работах энергокомплексов и гидроузлов в течение многих десятилетий позволили ему накопить огромный профессиональный и жизненный опыт.

По работе И.В. Дудлера в инженерной геологии как гидротехника, проработавшего много лет на крупнейших гидроэлектростанциях страны в разгар самого интенсивного их строительства, следует отметить идею об использовании обратной информационной связи при оценке структуры формирующегося взаимодействия между сооружениями гидроузла и геологической средой. Он один из первых отметил, что механические свойства грунтов оснований плотин, прежде всего, зависят от структуры и текстуры, отражающих и обуславливающих различную реакцию грунтов на внешние нагрузки, и с этих позиций рекомендовал исследовать вопрос о природе их свойств в рамках структурно-механических моделей.

Наибольшую известность в инженерно-изыскательской среде получила опубликованная в 1979 г. монография И.В. Дудлера «Комплексные исследования грунтов полевыми методами», содержащая фактически первое обоснование общей классификации полевых методов инженерно-геологического изучения грунтов.

Широкую известность среди научного сообщества и специалистов получила работа, изданная в 1984 году — «Рекомендации по комплексному изучению и оценке строительных свойств песчаных грунтов». По своей сути она является монографической, написана И.В. Дудлером в соавторстве с известными отечественными учеными и специалистами профессором МГУ им. М.В. Ломоносова Р.С. Зиангировым, Э.Р. Черняком, А.П. Афониним, А.В. Васильевым (ПНИИИС Госстроя СССР), А.Д. Потоповым, А.Н. Юлиным (МИСИ) и Б.Л. Горловским (Киев-ТЭП). Его существенный вклад в эту совместную работу состоял в формулировке современных представлений о строительных свойствах песков и генетическом подходе к их изучению, а также рассмотрению основных категорий строительных свойств песков. Пески с начала 1960-х годов стали основным объектом научных исследований И.В. Дудлера.

Значительной работой, по достоинству оцененной всем изыскательским сообществом, явилась монография 1987 г. «Инженерно-геологический контроль при возведении и эксплуатации намывных сооружений». Для проведения контроля им был создан легкий забивной зонд (ЛЗЗ) в разных модификациях. Его зонд ЛЗЗ-3 и сей-

час используется при проведении изыскательской практики в НИУ МГСУ.

Многолетняя успешная педагогическая деятельность Игоря Владиславовича на кафедре инженерной геологии МИСИ-МГСУ была направлена на передачу этого богатейшего опыта молодежи и подготовку научных кадров высшей квалификации.

В это время И.В. Дудлером совместно с коллегами на кафедре написаны различные учебные пособия, методические указания, разработаны несколько типовых программ учебных дисциплин для студентов строительных специальностей.

Тысячи инженеров-строителей с благодарностью и большой признательностью вспоминают лекции И.В. Дудлера, семинарские занятия и проведенные им геологические маршруты в ходе студенческих практик, а бывшие аспиранты, ныне кандидаты наук — заботливое и требовательное отношение к защищаемым материалам, идеи по нестандартному решению сложных задач от научного руководителя.

Игорь Владиславович проявлял инициативу по созданию в МИСИ-МГСУ кафедры Инженерных изысканий, заглядывая на десятилетия вперед. Такая кафедра создана в университете в 2017 году, что профессионально ориентированно отражает структуру строительной отрасли, является признанием самостоятельной роли изыскателей наряду с проектировщиками, производителями строительных материалов и собственно строителями.

Даже тем, кому не довелось учиться у И.В. Дудлера, но многократно доводилось «сталкиваться» с Игорем Владиславовичем в качестве официального оппонента диссертаций и автора отзывов на авторефераты кандидатских и докторских диссертаций отмечают его ценные замечания и вдумчивый подход к анализируемому материалу. Работы, по которым он высказывал свое высокопрофессиональное мнение, были очень разными по направлениям, будь то мониторинг московских оползней, сохранение исторических архитектурных памятников, изучение архео-

логических памятников или другие направления исследований, поражали эрудированность, неординарность и глубина суждений И.В. Дудлера, точность выражения мыслей, тонкость понимания идей автора и бережность обращения с ними. Он умеет так написать отзыв о чужой работе, что ее автор начинает понимать гораздо глубже смысл и цель своей работы. Но, кроме официального отзыва, Игорь Владиславович чрезвычайно тонко и душевно рассказывает автору о его недоработках в форме очень доброжелательных пожеланий на дальнейшую работу.

Начиная с его первой статьи, опубликованной в далеком 1957 г. в журнале «Гидротехническое строительство», Игорь Владиславович активно сотрудничает с профессиональными периодическими изданиями, являясь автором, внимательным рецензентом статей или членом научно-редакционных коллегий и советов журналов.

Удивительная пронизательность, глубокое внимание к переживаниям близких ему людей, постигаемые умом и сердцем, тревожность за детей и внуков и незамедлительное проявление заботы о близких — одна из главных составляющих характера Игоря Владиславовича. В равной степени это относится к окружающим его людям, будь это коллеги по работе или просто знакомые. В общении с юбиляром все время ощущаешь теплоту его души, внимание и заботливость — редкое проявление в наши дни подобных человеческих качеств.

От всей души поздравляем Игоря Владиславовича со славной юбилейной датой и желаем крепкого здоровья, бодрости, активности и благополучия его семье!

*Коллектив кафедры инженерных изысканий
и геоэкологии НИУ МГСУ*

*Коллектив кафедры инженерной геологии
МГРИ-РГГРУ им. С. Орджоникидзе
ООО «ИГИИС»*

Журнал «Инженерная геология»

СРО «АИИС»

НП «Союз изыскателей»

