

ИЗУЧЕНИЕ ВЛИЯНИЯ ЗАМАЧИВАНИЯ ВОДОЙ РАЗНОЙ ТЕМПЕРАТУРЫ И ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА НА ПРОСАДОЧНОСТЬ ЛЕССОВЫХ ГРУНТОВ

Е. И. Вяткина, Я. О. Жданова, С. В. Клименко

Алтайский государственный технический университет
им. И.И. Ползунова, г. Барнаул

В статье представлены теоретические исследования влияния замачивания водой различной температуры и химического состава на развитие просадки лессовых грунтов. Выявлено увеличение относительной просадочности ϵ_{st} и скорости развития просадки при повышении температуры воды замачивания. Выполнен анализ химического состава воды городских коммуникаций и промышленных предприятий для выбора концентрации pH растворов для экспериментального замачивания лессового просадочного грунта.

Ключевые слова: лессовые просадочные грунты, замачивание водой разной температуры и химического состава, изменение величины относительной просадочности и скорости развития просадки.

На территориях, сложенных лёссовыми просадочными грунтами, ведется интенсивное промышленное и гражданское строительство. Но именно при строительстве на лёссовых просадочных грунтах произошло большое количество аварий, как в процессе строительства, так и при эксплуатации сооружений [1].

Лёссовые просадочные грунты относятся к группе структурно-неустойчивых грунтов, они довольно широко распространены на территории России, особенно в Западной Сибири (до 20% от площади).

Поэтому лёссовые грунты заслуживают более подробного изучения для прогнозирования и предотвращения негативных процессов, происходящих при замачивании данного вида грунта водой под нагрузкой от зданий и сооружений, а также для разработки решений, которые способны устранить последствия опасного явления просадки.

В зону распространения лёссовых грунтов попадают города на юге Западной Сибири, такие как Барнаул, Новосибирск, Бийск, Омск, Кемерово и др., которые являются весьма крупными и развивающимися промышленными центрами.

Соответственно за счет расположения таких больших городов на грунтах лессового типа, поэтому задачу по изучению свойств лёссовых грунтов можно отнести к наиболее важным и актуальным проблемам.

Опыт строительства и эксплуатации зданий и сооружений на лёссовых просадочных грунтах в условиях городской застройки показал, что одной из причин

возникновения опасных просадочных деформаций является аварийное замачивание различными агрессивными по составу и температуре водами.

Такое замачивание происходит в результате утечки воды при повреждении трубопроводов инженерных коммуникаций, аварийных утечек на промышленных предприятиях, использующих большое количество воды и растворов для технологических процессов.

Это один из наихудших вариантов замачивания в зоне объекта, так как носит внезапный характер, и место самого повреждения является постоянно действующим источником замачивания.

Таким образом, актуальным становится выявление характера и времени развития просадки грунта под воздействием температурного режима и химического состава воды.

Влияние температурного фактора при замачивании лёссовых грунтов не учитывалось до некоторого времени.

Горячая вода способствует более интенсивному и быстрому снижению прочности грунта по сравнению с холодной водой. Сведения об этом приводятся рядом исследователей.

В статье Григорян А.А. [2] приведены данные, когда при строительстве завода п/о «Атоммаш» в скважину глубиной более 20 м и диаметром 1 м систематически, более года, сбрасывался горячий конденсат.

В результате это место стало центром деформаций в виде блюдцеобразного понижения с наибольшей просадкой поверхности земли 24 см за период развития активной

просадки и до 31 см в период ее стабилизации. Это была максимальная просадка по всей территории завода.

Также закономерность влияния температурного фактора на просадочность была выявлена Дзаговым А.М. [3], который приводит пример возникновения просадочных явлений при замачивании массива под административно бытовым корпусом в г. Волгодонске.

Утечки из расположенных вокруг здания водонесущих коммуникаций, а также из магистральных сетей водопровода и теплоснабжения, проложенных на расстоянии 19 и 39 м вдоль здания, способствовали неравномерному подъему уровня подземных вод (УПВ) и увеличению влажности грунтов основания.

В районе смотровой камеры теплотрассы температура поднявшегося УПВ на глубине 9 м достигала 60°C.

Автор приводит конкретные данные из исследования Годжаевой Р.И. по изучению влияния температуры воды на просадочность лёссов. Эти опыты выявили, что при давлении $P = 0,3$ МПа происходит увеличение относительной просадочности ϵ_{sl} в 1,5 раза при повышении температуры воды с 10°C до 25°C.

Компрессионные испытания водонасыщенных глинистых грунтов с повышением их температуры от 12°C до 80°C показали, что деформации доуплотнения возрастают более чем в 3,5 раза [3].

Таким образом, был сделан вывод, что следует учитывать влияние температуры воды в трубопроводах или иных объектах инженерного обеспечения зданий и сооружений, так как ее увеличение может привести к более интенсивному доуплотнению водонасыщенных глинистых грунтов.

На кафедре «Основания, фундаменты, инженерная геология и геодезия» Алтайского государственного технического университета им. И.И. Ползунова (АлтГТУ) проводились лабораторные исследования по замачиванию лёссового грунта холодной и горячей водой [4].

Эксперименты показали, что замачивание горячей водой в разы увеличивает скорость развития просадки и ее величину: при замачивании лёссового просадочного грунта горячей водой просадка грунта возросла на 96,2% (или в 1,96 раза) по сравнению с замачиванием холодной водой.

Чтобы разобраться в природе возникновения такой интенсивной просадки под

воздействием высокой температурой воды замачивания, прежде всего, следует обратить внимание на химико-минералогический состав лёссового грунта и его физико-механические свойства.

Лёссовый просадочный грунт имеет в своем составе глинистые минералы, такие как монтмориллонит, каолинит, нонтронит, гидрослюда, которые оказывают наибольшее влияние на просадочность [5]. Взаимодействие этих минералов с водой происходит по разному, одни из них способствуют развитию просадки, другие – наоборот препятствуют ее распространению и возникновению.

Согласно теории Абелева Ю.М. это заключается в неустойчивости макропор, построенных в виде вертикальных канальцев, вследствие потери связности и сцепления между частицами грунта при просачивании воды.

Наличие водорастворимых солей в составе лёссового грунта, которые образуют в грунте цементационные связи между частицами, а также действие осмотического давления от образования пленочной воды с разной концентрацией солей, оказывают дополнительное воздействие на процессы просадочности [5].

Студентами Национального технического университета Украины «КПИ» под руководством Зуевской Н.В. была проведена работа по установлению закономерности возникновения просадочных явлений в лёссовых грунтах под воздействием температурного режима воды в тепловых сетях и канализации при обследовании аварийных сооружений в городе Киеве [6].

Было выявлено, что интенсивность просадочных явлений при замачивании грунта водой повышенной температуры зависит от ускорения растворимости солей и цементирующих веществ в грунте, а также расширения фронта замачивания за счет увеличения коэффициента влагопроводности и проникновения воды в те слои грунта, которые не были уплотнены.

Это утверждение было подтверждено экспериментально при проведении испытаний по растворимости ангидрита водными, кислотными и солевыми растворами при разных температурах.

В результате было выявлено, что увеличение температуры воды с 20°C до 50°C приводило к ускорению растворения ангидрита в 3 раза, и сделан вывод, что при изучении замачивания лёссового массива

ИЗУЧЕНИЕ ВЛИЯНИЯ ЗАМАЧИВАНИЯ ВОДОЙ РАЗНОЙ ТЕМПЕРАТУРЫ И ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА НА ПРОСАДОЧНОСТЬ ЛЕССОВЫХ ГРУНТОВ

аварийными утечками из трубопроводов инженерных сетей следует учитывать коэффициент влагопроводности массива лёссовых грунтов и коэффициент влияния температуры воды.

В настоящее время более подробно изучен процесс замачивания грунта холодной водой с температурой 10-25°C.

Известно, что возникновение просадочного процесса в лёссовых грунтах обусловлено его макропористой структурой, следствием которой является недоуплотненность.

При замачивании грунта образуются водные плёнки, способные раздвигать грунтовые частицы и разрушать агрегаты частиц. Цементирующие эти агрегаты соли растворяются в воде, способствуя разрушению структурных связей лёссового грунта.

Характер развития просадки по времени определяется в зависимости, прежде всего, как от особенностей состава лёссовых пород, так и от особенностей повышающих их влажности до значений, превышающих начальную просадочную влажность w_{sl} , и от вида источника замачивания.

По данным исследований других учёных известно, что при непрерывном аварийном замачивании скорости просадок грунтов, в основном, сначала возрастают до максимальной величины, а затем снижаются. После прекращения замачивания скорости просадок изначально возрастают, а затем просадка со временем стабилизируется [5].

Однако не только температура воды, но и ее химический состав оказывает влияние на время и скорость развития процесса просадки [7-9].

Так Абелев Ю.М. [10] приводит данные по замачиванию лёссового грунта насыщенным раствором солей, содержащихся в грунте (водной вытяжкой), хотя и делает вывод о малом влиянии этого на наблюдаемую просадку (в пределах от 3 до 10% ее величины).

Однако автор отмечает, что если вода замачивания содержит кислоты, способные растворить соли, содержащиеся в грунте, то происходит дальнейшее медленное нарастание осадки, величина которой определяется количеством растворимых солей.

В дальнейшем влияние «рассолов грунта» на осадку, протекающую длительное время и не имеющую провального характера, выделилось в особое направление и получило название просадка второго рода.

Для выбора концентрации кислотно-щелочных растворов с целью проведения исследований по замачиванию просадочного

грунта необходимо проанализировать химический состав вод различного производственного и хозяйственного назначения.

Современные промышленные предприятия используют большое количество воды и растворов для технологических процессов.

В составе инженерных коммуникаций каждого промышленного предприятия имеется комплекс водоотводящих сетей и сооружений, с помощью которых осуществляется отведение с территории предприятия отработавших вод, а также сооружений по очистке сточных вод и извлечению из них ценных веществ и примесей.

Производственные сточные воды, отводимые с территорий промышленных предприятий, по своему составу могут быть разделены на три вида:

1) производственные – использованные в технологическом процессе или получающиеся при добыче полезных ископаемых (угля, нефти, руд и т. п.);

2) бытовые – от санитарных узлов производственных и непромышленных корпусов и зданий, а также от душевых установок, имеющихся на территории промышленных предприятий;

3) атмосферные – дождевые и от таяния снега.

Производственные сточные воды делятся на две основные категории:

- загрязненные;

- и незагрязненные (условно чистые).

Загрязненные производственные сточные воды содержат различные примеси и подразделяются на три группы:

1) загрязненные преимущественно минеральными примесями (предприятия металлургической, машиностроительной, рудо- и угледобывающей промышленности; заводы по производству минеральных удобрений, кислот, строительных изделий и материалов и др.);

2) загрязненные преимущественно органическими примесями (предприятия пищевой, целлюлозно-бумажной, химической, микробиологической промышленности; заводы по производству пластмасс, каучука и др.);

3) загрязненные минеральными и органическими примесями (предприятия нефтедобывающей, нефтеперерабатывающей, нефтехимической, текстильной, легкой, фармацевтической промышленности; заводы по производству консервов, сахара, продуктов органического синтеза, бумаги, витаминов и др.).

По степени агрессивности сточные воды производственных предприятий разделяют на:

- слабоагрессивные (слабокислые с $pH = 6-6,5$ и слабощелочные с $pH = 8-9$),
- сильноагрессивные (сильнокислые с $pH < 6$ и сильнощелочные с $pH > 9$),
- неагрессивные (с $pH = 6,5-8$).

На территории Алтайского края существуют предприятия химической и нефтехимической промышленности, такие как ОАО «Алтайкокс», ОАО «Кучуксульфат», ОАО «Барнаульский завод АТИ», ОАО ПО «Алтайский шинный комбинат», ПК «Сибэнергомаш», которые в своем производстве используют воду с $pH < 6$.

Для обеспечения технологического процесса на ТЭЦ используют воду с концентрацией $pH > 8$.

Все вышесказанное свидетельствует об актуальности исследования влияния замачивания лессового грунта водой различной температуры и химического состава на развитие процесса просадки.

В настоящее время в научной лаборатории кафедры «Основания, фундаменты, инженерная геология и геодезия» Алтайского государственного технического университета им. И.И. Ползунова магистрантами Ждановой Я.О. и Клименко С.В. под руководством доцента кафедры Вяткиной Е.И. проводятся лабораторные исследования по замачиванию лессовой просадочной супеси водой разной температуры и с различным содержанием pH .

Образцы просадочного грунта отобраны из котлована на строительной площадке на пересечении улиц Шумкова и Власихинская в городе Барнауле.

Компрессионные испытания грунта с замачиванием (по методу «одной кривой») проводятся на компрессионных приборах системы «Гидропроект» в соответствии с ГОСТ 23161-2012 [11] и ГОСТ 12248-2010 [12].

После достижения давления на образец грунта $P = 0,3$ МПа, что соответствует давлению под подошвой фундамента, грунт замачивается.

Одна серия образцов грунта замачивается водой различной температуры.

Температура воды замачивания выбрана на основе анализа данных о температуре воды возможных техногенных источников замачивания (утечки из систем холодного и горячего водоснабжения, теплоснабжения, канализации и т. д.) – холодной водой при температуре $15^{\circ}C$ и горячей водой температурой $50, 70$ и $90^{\circ}C$.

Вторая серия образцов грунта замачивается водой с $pH = 4,5; 8,0$ и $9,5$.

Концентрация растворов выбрана по результатам теоретического анализа pH состава промышленных вод, приведенного выше.

Для каждой выбранной температуры и концентрации pH выполняется замачивание трех образцов грунта, т.е. в каждой серии опытов испытывается по 9 образцов.

Нагрузку штампа на образец грунта с природной влажностью производят ступенями по $0,05$ МПа.

Каждую ступень давления выдерживают до условной стабилизации осадки и просадки – приращение деформации образца, не превышающее $0,01$ мм за 3 часа.

После приложения каждой ступени давления или после замачивания образца грунта снимаются отсчеты по индикаторам, регистрирующим деформации образца: через 5, 10 и 30 минут от начала испытаний, затем через каждый час до конца рабочего дня, а в последующие дни через каждые 3 часа до условной стабилизации деформаций.

После окончания испытаний каждого образца определяется плотности скелета грунта и влажность.

За эталонные приняты три образца грунта, замоченные водой при температуре $15^{\circ}C$.

После проведения лабораторных испытаний, на основе статистической обработки полученных результатов, планируется установить зависимость развития просадки от температуры и химического состава воды замачивания, выраженную в виде коэффициента увеличения просадки $K_{ув.пр}$.

Полученный коэффициент может быть использован для уточнения величины относительной просадочности грунта при расчете просадки S'_{sl} в зависимости от температуры и pH воды при замачивании лессового просадочного грунта

$$S'_{sl} = K_{ув.пр} \cdot \varepsilon_{sl},$$

где $K_{ув.пр}$ – коэффициент увеличения просадки, ε_{sl} – относительная просадочность грунта, определяемая в компрессионном приборе.

Вывод:

Таким образом, изучив зависимость величины просадки и скорости ее развития от температурного фактора и химического состава воды, можно будет прогнозировать

негативные процессы просадочности лёссового грунта при замачивании его вследствие аварийных утечек, при повреждении трубопроводов подземных инженерных коммуникаций и других техногенных источников.

Это позволит повысить точность расчета возможной просадки грунта и эксплуатационную надежность зданий и сооружений, расположенных на лёссовых просадочных грунтах.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Особенности взаимодействия оснований и фундаментов на лёссовых просадочных грунтах, в условиях насыщения технологическими и бытовыми сточными водами : отчет о НИР / Инновационный НТЦ «Инженер»; А. П. Левченко. – 555 с. – Режим доступа: <http://www.ingener.ru/projects/science/levchenko/Binder1.pdf>.

2. Григорян, А. А. О просадочности и просадках глинистых грунтов / А. А. Григорян // ОФимГ. – 2010. – № 3. – С. 26-29.

3. Дзагов, А. М. К определению характеристик просадочности лёссовых грунтов / А. М. Дзагов // ОФимГ. – 2009. – № 6. – С.32-38.

4. Быкова, Е. В. Деформации лёссовых просадочных грунтов при замачивании холодной и горячей водой / Е. В. Быкова, А. А. Соболев, Г. И. Швецов // Научное творчество студентов и сотрудников: 61-я науч.-техн. конференция студентов, аспирантов и профессорско-преподавательского состава. – Барнаул, 2003. – Ч. 13: Строительно-технологический факультет. – С. 126.

5. Трофимов, В.Т. Генезис просадочности лёссовых пород [Электронный ресурс] / В. Т. Трофимов – Электрон. текстовые данные. – М. : Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, 1999. – 272 с.

6. Лозовой, С. А. Влияние температурного фактора в просадочных грунтах на возникновение аварийных явлений / С. А. Лозовой, В. В. Вапничная, Н. В. Зуевская // Научный вестник Московского государственного горного университета. – 2013. – № 8. – С.40-45.

7. Мосьяков Е. Ф. Структура лёссовых грунтов и их просадочные свойства в различных химических средах / Е. Ф. Мосьяков // Труды межвузовской конференции по строительству на лёссовых грунтах: тезисы докладов, сентябрь 1973, г. Ростов-на-Дону, РИСИ. – М. : Изд-во МГУ, 1973. – С. 42-47.

8. Левченко А. П. Влияние состава сточных вод на деформации лёссовых просадочных грунтов в основании сооружений / А. П. Левченко. – М.: ГАСИС, 2001. – 117 с.

9. Левченко А. П. Лабораторные исследования лёссовых грунтов, насыщенных химическими растворами: сб. трудов. / А. П. Левченко. – М. : ГАСИС, 2002. – С. 58-64.

10. Абелев, Ю. М. Основы проектирования и строительства на макропористых грунтах / Ю. М. Абелев. – М. : Стройвоенмориздат, 1948. – 203 с.

11. ГОСТ 23161-2012. Грунты. Метод лабораторного определения характеристик просадочности. М. : Стандартиформ, 2013.

12. ГОСТ 12248-2010. Грунты. Методы лабораторного определения характеристик прочности и деформируемости. М. : Стандартиформ, 2011.

Вяткина Е.И. – к.г.-м.н., доцент кафедры «Основания, фундаменты, инженерная геология и геодезия» ФГБОУ ВО АлтГТУ им. И.И. Ползунова, E-mail: el240943@mail.ru.

Жданова Я.О. – магистрант ФГБОУ ВО АлтГТУ им. И.И. Ползунова.

Клименко С.В. – магистрант ФГБОУ ВО АлтГТУ им. И.И. Ползунова.