А. Г. Дорджиев,
М. М. Сангаджиев,
А. В. Арашаев

Особенности лессовых просадочных грунтов Калмыкии

Монография

Министерство науки и высшего образования РФ
Калмыцкий государственный университет им. Б.Б. Городовикова

А. Г. Дорджиев,
М. М. Сангаджиев,
А. В. Арашаев

Особенности лессовых просадочных грунтов Калмыкии

Монография

Издательский дом Scientia
Санкт-Петербург
2022

УДК 624.131.23(470.47)
ББК 38.581.253(2Рос.Кал)
Д68

Рецензенты:

Гермашева Юлия Сергеевна — доцент, кандидат технических наук, Калмыцкий государственный университет им. Б. Б. Городовикова;

Джальчинова Тамара Борисовна — доцент, кандидат технических наук, Калмыцкий государственный университет им. Б. Б. Городовикова

Дорджиев, Анатолий Григорьевич

Д68 **Особенности лессовых просадочных грунтов Калмыкии:** монография / А. Г. Дорджиев, М. М. Сангаджиев, А. В. Арашаев; Калмыцкий государственный университет им. Б. Б. Городовикова. — Санкт-Петербург: Сциентиа, 2022. — 90 с.

ISBN 978-5-6048667-7-1.

В монографии представлены особенности лессовых грунтов на территории Республики Калмыкия. Территория Калмыкии характеризуется значительным разнообразием грунтовых условий. В западной части территории республики значительное распространение имеют лессовые грунты, которые прослеживаются широкой полосой на крутом восточном склоне Ергенинской возвышенности.

Книга адресована работникам строительной промышленности и научным работникам, студентам, занимающимся вопросами строительства, архитектуры. Сведения предназначены для студентов, республиканских и местных органов управления.

УДК 624.131.23(470.47)
ББК 38.581.253(2Рос.Кал)

Печатается по решению редакционно-издательского совета ФГБОУ ВПО «Калмыцкий государственный университет»

© Дорджиев А. Г., Сангаджиев М. М.,Арашаев А. В., 2022 г.
© КалмГУ им Б. Б. Городовикова, 2022 г.
© Оформление. ООО ИД «Сциентиа», 2022 г.

ISBN 978-5-6048667-7-1

Оглавление

Введение 4

Глава 1. Краткие сведения о территории исследований и характеристика лессовых грунтов 7
1.1. Распространение и условия залегания лессовых грунтов. . . 7
1.2. Химико-минералогическии состав и структурные особенности лессовых грунтов 13

Глава 2. Строительные свойства лессовых грунтов 20
2.1. Физические характеристики Лессовых грунтов 20
2.2. Прочностные характеристики лессовых грунтов 26
2.3. Деформационные характеристикилессовых грунтов 35
2.4. Просадочные деформации лессовых грунтов 43
2.5. Деформации зданий на лессовых грунтах 61

Заключение 66
Список литературы 67
Приложения 76

Введение

Непрерывно возрастающие объемы промышленного и гражданского строительства в нашей стране приводят к необходимости его осуществления в районах со сложными инженерно-геологическими условиями на просадочных и слабых грунтах. Территория Калмыкии характеризуется значительным разнообразием грунтовых условий. Большую часть площади занимает Прикаспийская низменность с широко развитыми здесь четвертичными отложениями, представленными глинами. В западной части территории республики значительное распространение имеют лессовые грунты, которые прослеживаются широкой полосой на крутом восточном склоне Ергенинской возвышенности.

Лессовые грунты исследуемого региона в условиях природного залегания маловлажны и обладают довольно высокой несущей способностью, резко снижающейся при замачивании, что связано с их специфическими структурными особенностями. Уменьшение несущей способности грунтов оснований приводит к значительным деформациям, превышающим допустимые величины, что угрожает сохранности и эксплуатационной пригодности возведенных сооружений.

Значительный вклад в изучение просадочности лессовых грунтов внесли советские ученые Ю.М. Абелев, В.П. Ананьев, Л.Г. Бадаев, В.С. Быкова, В.Е. Воляник, М.Н. Гольдштейн, Н.Я. Денисов, А.А. Кириллов, В.И. Крутов, А.К. Ларионов, В.А. Приклонский, И.В. Попов, АЛ. Рубинштейн, Р.А. Токарь, Н.Н. Фролов и другие исследователи. Однако проблема строительства на лессовых грунтах еще требует окончательного решения. Последнее в значительной мере относится к изучению строительных свойств грунтов отдельных регионов, в частности, территории Республики Калмыкия.

В настоящее время Калмыкия развивается как крупный район на юге России с интенсивным развитием сельского хозяйства, лег-

кой и пищевой промышленности, сопровождающимся большими объемами строительства. В этой связи изучение строительных свойств грунтов способствует исследованию лессовых пород как грунтов особого литолого-петрографического и генетического типа. Залегание лессовых грунтов вблизи дневной поверхности, однородность их состава и свойств благоприятствуют использованию их как строительных материалов и как грунтов оснований для зданий и сооружений.

В республике широко развито сельскохозяйственное строительство. Для зданий III и IV класса принимаются преимущественно водозащитные и конструктивные мероприятия и никакой подготовки просадочных оснований не проводится. В этом случае нормативные давления на основания назначаются согласно СНиПа, составленной для глинистых непросадочных грунтов различного генезиса. При этом не учитывается особенность лессовых грунтов в условиях замачивания уменьшать свои прочностные характеристики. В связи с тем, что проектирование и строительство на просадочных грунтах отличается известной сложностью, особенно в грунтовых условиях II типа по просадочности, очень важно при проектировании иметь данные для прогнозирования прочностных и деформативных характеристик лессовых грунтов в зависимости от изменения их основных физических свойств (влажности и плотности).

Из рекомендуемых СНиПом инженерных мероприятий по подготовке просадочных оснований в Калмыкии использовалось лишь поверхностное трамбование.

На протяжении многих лет Ростовский Промстройниипроект по заданию Управления строительства и архитектуры Калмыкии и Калмгипрогорсельстроя проводил исследования строительных свойств грунтов города Элисты с целью выдачи рекомендаций по фундированию и подготовке просадочных оснований.

В результате были даны рекомендации по применению свайных фундаментов, нашедшие в настоящее время широкое применение

в жилищном строительстве г. Элисты и ряда районов Калмыкии. Для грунтов оснований II типа просадочности разработан метод силикатизации, используемый на ряде объектов промышленного строительства. Результаты многолетних исследований обобщены и нашли свое отражение в предлагаемой работе.

Глава 1
Краткие сведения о территории исследований и характеристика лессовых грунтов

1.1. Распространение и условия залегания лессовых грунтов

Исследуемая территория охватывает Ергенинскую возвышенность, которая представляет собой довольно крупное повышение на юго-востоке Русской равнины, ограниченную с востока Прикаспийской низменностью (вдоль Сарпинских озер), с северо-запада — депрессией Дона (несколько западнее железнодорожной линии Сальск — Волгоград), с юго-запада и юга — долиной Манычей. Ергени выделяются над окружающими их равнинами довольно резко и заметно, чем и определяется их обособленность. Они обособлены и в Теологическом отношении, отличаясь в своем строении от окружающих территорий. Наибольшие высоты (222 м) приурочены к юго-восточной части возвышенности, западнее верховьев балки Элисты.

Ергенинская возвышенность объединяет несколько геоморфологических элементов. Сюда входят собственно Ергени, Сало-Манычская гряда и равнины левобережья Дона.

Рельеф территории равнинный, с лощино-балочным расчленением. На отдельных участках коротких склонов наблюдаются овраги.

Просадочные блюдца развиты неравномерно и приурочены преимущественно к водораздельным пространствам. Местами их много, но небольших размеров, изредка до 200–300 м в диаметре.

Климатические условия Ергеней с ярко выраженными чертами континентальности. Общий облик климата Ергеней указывает на

недостаток влаги, что резко проявляется вследствие значительности испарения, которое зачастую превалирует над количеством выпадающих осадков.

Всюду ощущается недостаток поверхностных вод, высыхание рек, озер и наряду с этим понижение уровня грунтовых вод, обеднение водой колодцев и даже их высыхание в жаркое время года. Характерна значительная минерализация вод.

Среднее годовое количество осадков 240–330 мм Средняя температура: годовая +8,7°С; максимальная температура воздуха +43°С, минимальная температура воздуха –34°С. Максимальное промерзание почвы — 76 см.

В геологическом строении территории принимают участие отложения третичного и четвертичного возраста.

Отложения третичной системы имеют подчиненное распространение и представлены палеогеновыми майкопскими глинами, плиоценовыми ергенинскими песками и пестроцветными скифскими глинами. Обнажаются они почти во всех балках, расчленяющих манычский и восточный склоны Высокой степи.

Среди отложений четвертичной системы выделяются:

1. Лессовидные суглинки водоразделов,
2. Делювиальные лессовидные суглинки,
3. Отложения террас рек и балок.

Мощные отложения лессовидных суглинков развиты в гребневой зоне Сало-Манычского водораздела и гряде Ергеней. Отсюда они спускаются на северо-запад в Донские равнины и резко обрываются в сторону долины Манычей и Калмыцкой степи.

Наибольшая мощность суглинков приурочена к водоразделам, достигая 60–80 м и отмечается на востоке Ергеней в пределах Джурак-Загистинского междуречья. На главном водоразделе (верховья Джурак-Сала), в области наивысших отметок Высокой степи (222,6 м) мощность суглинков определяется в 68,5 м. Мощность делювиальных суглинков склонов водоразделов снижается и не

превышает обычно 30–40 м. В большинстве случаев суглинки подстилаются красно-бурыми скифскими глинами.

Лессовидные суглинки водоразделов бурого цвета с различными оттенками (красноватыми, коричневатыми, сероватыми). В верхней части разреза чаще отмечаются светло-бурые и желто-бурые разности, а к основанию разреза наблюдается более темная окраска суглинков.

По механическому составу лессовидные суглинки водоразделов характеризуются пестротой и изменяются по степени опесчанистости от легких до тяжелых разновидностей (чаще встречаются средние). Более опесчаненные разности отмечаются преимущественно в верхней части разреза, а более глинистые — в низах разреза.

Характерным для механического состава суглинков является значительное содержание пылеватой фракции (до 60–70 %).

Строение лессовых толщ ярусное. В водораздельные суглинках Сало-Ергенинского массива выделяется преимущественно три яруса, разделенных между собой ископаемыми почвами, которые макроскопически представлены черными, темно-коричневыми, темно-бурыми уплотненными гумусированными суглинками, местами оглеенными, иногда орехового сложения, с оглянцованными поверхностями комочков. Мощность ископаемых почв до 1,5 м, обычно составляет 0,5–1,0 м.

В генетическом отношении водораздельные лессовидные суглинки относятся к эоловым отложениям, образующимся с участием делювиальных процессов.

Делювиальные лессовидные суглинки слагают склоны долин, рек и балок и высоко поднимаются в сторону водоразделов. Переход от водораздельных к делювиальным суглинкам постепенный и незаметный. Макроскопически они представлены лессовидными суглинками желто-бурого и бурого цвета, обычно грубо сложенными, неоднородными по механическому составу, часто слоисты, с повышенной засоленностью; для них характерны

крупные поры диаметром до 2 мм, повышенное содержание гипса и наличие тонких линзовидных прослоев коричневых пылеватых глин и супесей. Указанные признаки являются специфичными в отличие от суглинков водоразделов. Это связано с условиями их образования, под которыми следует понимать процесс делювиального переотложения водораздельных суглинков. В конечном итоге накопляются те же лессовидные суглинки, что и материнские, но грубого облика. Наличие слоистости является характерной чертой делювиальных суглинков.

Следует остановиться на особенностях делювиальных отложений в зонах развития коренных пород в области крутого восточного и южного склонов плато.

Характерной чертой для них является большое участие в их составе раздробленных и переотложенных коренных пород, обломки которых в большинстве случаев находятся в суглинистой массе грубого лессовидного облика.

Скифские глины обогащают делювий черными дробинами пиролюзита, известковым песком и гравием и хорошо окатанными мелкими зернами глин размером от 0,1 до 2 мм.

Ергенинские пески обусловливают неравномерную и подчас значительную опесчанистость отложений склонов (до супесей).

Участие майкопских глин в составе делювия проявляется в наличии обломков сидерита, зерен ярозита, лимонита, пластинок и зерен глин и в общем осолонении породы.

Характер подстилающих пород играет существенную роль в формировании строительных свойств лессовых грунтов. Так, в районах развития красно-бурых плиоценовых глин грунты имеют просадочность меньшую, чем суглинки, подстилаемые песчаными грунтами. Суглинки, подстилаемые глинами, иногда даже проявляют слабое набухание при нагрузке 0,5 кг/см^2.

Отложения террас рек и балок сложены суглинистыми, песчано-глинистыми и песчанистыми отложениями, типичного

аллювиального и аллювиально-балочного облика. Делювиальный покров лессовидных суглинков на террасах отсутствует.

Грунтовые условия территории довольно разнообразны. Почти повсеместно лессовые грунты в пределах рассматриваемой территории обладают просадочными свойствами.

Здесь на водораздельных пространствах встречаются грунты II типа по просадочности, на склонах — I типа. В долинах рек лессовые грунты, отсутствуют или представлены непросадочными разновидностями.

Величина просадочности генетических типов лессовых грунтов различна. Наиболее просадочны эоловые лессы, несколько меньше делювиальные лессовые разновидности, имеющие широкое распространение на исследуемой территории.

Наибольшей просадочностью характеризуются лессовые грунты, развитые на водораздельных пространствах; к подножью склонов величина просадочности снижается. Максимальная мощность просадочных грунтов характерна для водоразделов и на исследуемой территории составляет 11–24 м; последняя отмечена на водоразделе балок Элиста и Салына в 3 км северо-западнее г. Элисты. Здесь же наблюдается и самая высокая относительная просадочность (до 10–12 %), которая сохраняется до значительных глубин по разрезу. Лессовые грунты этих районов относятся по просадочности ко II типу грунтовых условий. Последнее обстоятельство подтверждается наличием просадочных блюдец, расположенных цепочкообразно по водоразделу.

Мощность просадочных грунтов на склонах водоразделов уменьшается до 4–8 м; у подножий склонов можно встретить и непросадочные грунты (вблизи выходов более древних отложений и в местах увлажнения).

Наряду с изменением относительной просадочности по площади, отмечается также вариация ее значений по глубине. Изучение ряда разрезов просадочной толщи (ст. Орловская, с. Заветное, с. Ремонтное, г, Элиста, г. Волгодонск и др.) показало, что, в общем,

наблюдается тенденция к уменьшению величин относительной просадочности с глубиной. Особенно четко эта закономерность проявляется при вскрытии грунтовых вод и в нижней части разреза у контакта с дочетвертичными породами (г. Волгодонск, ст. Орловская). На водораздельных разрезах какой-либо определенной закономерности в изменении относительной просадочности при увеличении глубины не наблюдается (г. Элиста, с. Ремонтное, с. Заветное); в таких районах ее значение сохраняется почти по всей толще просадочных грунтов.

Грунтовые условия территории определялись как в лабораторных условиях (изучением просадочных свойств грунтов при бытовых нагрузках), так и в природной обстановке (в опытных котлованах, как рекомендует СНиП). Опытные котлованы устраивались в районах, перспективных для строительства, или малоизученных, с максимальной мощностью просадочной толщи. Просадки от собственного веса грунта проверялись на двух экспериментальных площадках: одна в 40 км на северо-запад от с. Ремонтного и вторая — в 3 км на северо-запад от г. Элисты.

Площадка в районе с. Ремонтного приурочена к склону водораздела слева от р. Джурак-Сал и сложена лессовидными суглинками мощностью 40–50 м. Пройденным шурфом глубиной 12 м вскрыты легкие, реже средние, лессовидные суглинки. До глубины 9 м влажность грунтов повышается до 13–15 %, пористость составляет 44 %. Мощность просадочной толщи шурфом глубиной 12 м не вскрыта.

Величина относительной просадочности значительна, и по всей толще варьирует в пределах 5–12 % (при $P = 3$ кг/см^2), и только с глубины 10 м снижается до 2–3 %. Начальное просадочное давление равно 0,75 кг/см^2 до глубины 9 м, а ниже — 1,85 кг/см^2.

Возможная величина просадки лессовой толщи под собственным весом по лабораторным данным составляет 20 см и более.

Опытный котлован размерами в плане 10х10 м, оборудованный глубинными реперами и поверхностными марками, замачивался в течение месяца. Глубинные реперы, установленные по дну кот-

лована на глубинах 4, 6 и 8 м соответственно показали осадки 17, 13 и 8 см; поверхностные марки, заложенные по дну котлована — 15–19 см; а на расстоянии 8 м от котлована — 4 см. Таким образом, палевые испытания подтвердили II тип грунтовых условий по просадочности, о чем свидетельствовало и наличие просадочных блюдец.

Вторая площадка расположена в 3 км на северо-запад от г. Элисты и приурочена к водораздельной части. Площадка сложена до глубины 15 м легкими суглинками с пористостью 42–46 % и степенью влажности 0,27–0,40. Величина относительной просадочности по всей просадочной толще колеблется в пределах 4–11 % (при нагрузке 3 кг/см^2). Начальное просадочное давление 0,5–0,6 кг/см^2. Мощность просадочной толщи 24 м.

Опытный котлован размерами 12Х12 м с установленными на дне 10 поверхностными марками и 4 глубинными реперами замачивался в течение трех месяцев до степени влажности более 0,7. В результате замачивания осадки поверхностных марок, заложенных в центре котлованов, составили 64–70 см, у краев котлована 56–59 см, а за его пределами на расстоянии 1–5 м — 34–23 см. Осадки глубинных реперов, установленных по дну котлована на глубинах 4, 6, 8 и 10 м составили соответственно 62, 58, 45 и 33 см. Исследуемая территория изучалась также проведением ряда маршрутов, при которых были зафиксированы просадочные блюдца, свидетельствующие о II типе грунтовых условий; последний подтверждался полевым экспериментом и лабораторными исследованиями грунтов.

1.2. Химико-минералогическии состав и структурные особенности лессовых грунтов

Химический состав Результаты валовых химических анализов лессовых грунтов территории отмечают некоторое однообразие в их составе.

Основными компонентами являются SiO_2 и Al_2O_3. Содержание других химических компонентов, входящих в состав грунтов, варьирует незначительно. Отмечается небольшое увеличение SiO_2 в направлении с запада на восток (58–63 % до 62–68 %). SiO_2 и полуторные окислы являются главными составляющими компонентами минералов крупных фракций и коллоидно-дисперсной части породы.

Следует, отметить наличие гумусовых соединений в лессовых суглинках и погребенных почвенных горизонтах. Содержание гумуса в лессовых грунтах Ергеней составляет 0,18–0,28 %, в погребенных почвенных горизонтах — 0,36–1,0 %.

Повышенное содержание гумуса в ископаемых почвах снижает в ряде случаев их просадочные свойства, но сравнению с вмещающими их лессовыми суглинками.

Воднорастворимые соединения. Воднорастворимые соли присутствуют в лессовых грунтах в твердом состоянии и в небольшом количестве в поровом растворе.

По данным водных вытяжек, определенных при соотношении грунта и воды в пропорции 1:5, плотный остаток составляет от 50 до 1860 мг на 100 г сухой навески. Лессовые грунты исследуемой территории засолены главным образом за счет сульфатов, содержание которых в составе водорастворимых солей является доминирующим.

В верхнем ярусе: лессовой толщи на глубине 3–5 м установлен так называемый «сульфатный горизонт» с повышенным содержанием SO_4. В нижних ярусах содержание сульфатов уменьшается.

Наряду с сульфатным засолением грунта, отмечается его повышенная карбонатность (5–10 %, реже до 20 %), которая выявляется при обработке грунта кислотой. Во всех водных вытяжках из грунтов присутствует HCO_4. Бикарбонаты содержатся в поровых растворах, в водных пленках, окружающих дисперсные частицы, а также образуются за счет незначительного растворения карбонатов.

На инженерные свойства лессовых грунтов влияют в основном труднорастворимые соли, главным образом карбонат кальция, который образует между частицами грунта кристаллические связи, повышающие прочность породы. Вследствие малой растворимости карбонатов, образованные ими связи при воздействии воды почти не нарушаются. Дисперсные карбонаты на структуру породы не оказывают существенно цементирующего действия. Но в карбонатных горизонтах, где они представлены вторичными образованиями, их цементирующие свойства значительны. Карбонатный цемент оказывает сопротивление сжатию и при естественной влажности и в замоченном состоянии. Просадочность получается заниженной, но при длительном обжатии проб грунта в водонасыщенном состоянии карбонатный цемент постепенно разрушается и деформация грунта значительно увеличивается.

Исследования просадочности по разрезу лессовых грунтов ряда районов Нижнего Дона, Ергеней и Западного Предкавказья, выполненные на образцах в одометре по общепринятой методике, показали, что относительная просадочность верхнего горизонта лессовых толщ (до глубины 2–3 м) за счет солей несколько занижена, а иногда в 2–4 раза меньше относительной просадочности нижележащего слоя. Просадки образцов из верхнего горизонта в ряде случаев начинают проявляться и при большем давлении.

Однако при замачивании образцов, отобранных из верхнего горизонта, водным раствором соляной кислоты относительная просадочность их возрастает, иногда в несколько раз. Повышается она и при длительном замачивании обычной водой. Такое расхождение в значениях относительной просадочности связано с цементацией грунта различными солями. Этим отчасти объясняется расхождение в значениях расчетной (по лабораторным данным) и фактической (при замачивании в течение 2–3 месяцев оснований опытных фундаментов) величин просадок. Такое несоответствие (фактические просадки выше расчетных) наблюдалось нами при экспериментальных исследованиях просадочности лессовых

грунтов в природной обстановке на площадках опытных фундаментов.

На формирование свойств лессовых грунтов влияют и легкорастворимые соли. Просадочность лессовых грунтов проявляется при содержании сульфатов более 0,5 %, а хлоридов более 0,01 %.

Обменные основания. В лессовых грунтах территории сумма обменных катионов невелика и колеблется в пределах 8–12 мг-экв на 100 г сухого грунта. В обменном комплексе доминируют катионы кальция и магния, причем содержание натрия обычно является преобладающим.

При повышенном содержании обменных оснований лессовые грунты более водоустойчивы и менее просадочны, а при малой обменной способности (до 12–17 мг-экв) очень неустойчивы при замачивании и сильно просадочны.

Минералогический состав. Лессовые грунты характеризуются полиминеральностью. В их состав входят первично-кластогенные и вторичные — коллоидно-дисперсные минералы. Первые из них присутствуют в алевритной фракции лессовых грунтов, представленной частицами 0,25–0,01 мм, а коллоидно-дисперсные составляют тонкую фракцию лессов < 0,001 мм.

В составе крупных фракций легкие минералы (с удельным весом < 2,75) содержатся в количестве 98–99 %, а тяжелые (с удельным весом > 2,75) — в количестве 1–2 %.

Среди легких минералов превалирующую роль играет кварц (50–90 %) и полевые шпаты (5–20 %). Встречаются также карбонаты, представленные, главным образом, кальцитом, содержание которого различно. Редко встречается слюда и гипс (не более 5 %).

Основными составляющими тяжелой ассоциации являются непрозрачные минералы (30–45 %), амфиболы (18–26 %), эпидотцоизитовая группа (15–25 %), меньше — пироксены и другие устойчивые минералы (циркон, гранат, сфен, рутил, брукит, анатаз). Среди непрозрачных минералов основное место занимают ильменит и лейкоксен, затем магнетит.

А. К. Ларионовым и Г. И. Поповым отмечено, что эоловые и делювиальные лессовые грунты Ергеней в минералогическом отношении идентичны, так как имелся один источник выноса материала.

В составе коллоидно-дисперсной части лессовых отложений (фракции < 0,001 мм) отмечается до 14–18 минералов, но главными из них являются дисперсный кварц и кальцит, и собственно глинистые минералы — монтмориллонит, гидрослюда и каолинит. Остальные минералы присутствуют в незначительных количествах я имеют второстепенное значение.

Глинистые минералы составляют наиболее активную часть грунта и имеют высокую удельную поверхность, благодаря чему обладают способностью к адсорбции, набуханию, усадке; в значительной степени они влияют да механические свойства грунтов — сжимаемость, сопротивление сдвигу, просадочность.

Коллоидно-дисперсные минералы по своим свойствам не одинаковы. Так, монтмориллонит и в меньшей степени бейделлит обладают высокой гидрофильностью, способностью к сильному набуханию, что обусловлено его подвижным пакетным строением. В то же время структура каолинита неподвижна.

Гидрослюда занимает промежуточное положение по своим свойствам между каолинитом и монтмориллонитом. Кварц к воде совершенно инертен и устойчив в различных средах.

Отсюда следует, что количественное содержание того или иного минерала коллоидно-дисперсной части будет оказывать значительное влияние на свойства лессовых грунтов. Так, содержание того или иного количества монтмориллонита будет уменьшать просадочность, а при малых нагрузках может проявляться набухание.

Строительные свойства лессовых грунтов зависят как от их вещественного состава и состояния, так и от структурных особенностей. Одной из структурных характеристик грунтов является пористость и гранулометрический состав.

Гранулометрический состав является важным показателем, определяющим физические свойства грунта. От него зависят такие главные характеристики свойств и состояния грунта как пластичность, сопротивление сдвигу, сжимаемость, усадка, набухание, водопроницаемость и др.

По данным микроагрегатного анализа лессовые грунты региона представлены пылеватыми суглинками, содержание отдельных фракций которых составляет в среднем: песчаная 30 % (15–53 %); пылеватая 55 % (40–70 %); глинистая 15 % (7–25 %).

Пористость также является одной из важнейших характеристик лессовых грунтов. Различают два основных вида пор. Микропоры размерами от 0,002 до 0,5 мм, образующие межчастичную пористость лессовых отложений, и макропоры размером более 0,5 мм.

Межчастичная пористость возникает между частицами и агрегатами при первичных процессах накопления материала и при вторичных в результате выветривания. Межчастичные поры образуют сплошную взаимосообщающуюся систему Макропоры делятся на первичные, образовавшиеся в процессе генезиса породы, и вторичные, имеющие фитогенное происхождение. Макропоры имеют различное строение. Чаще наблюдаются макропоры круглого сечения, внутренняя полость которых покрыта карбонатными, железистыми или гумусовыми пленками, плотно сцементировавшими вокруг макропор частицы грунтового скелета; реже — макропоры вытянутой формы, стенки которых сложены рыхлыми, слабо связанными между собой зернами.

Наличие пор в грунте создает ему недоуплотненную структуру, как отмечает Н. Я. Денисов, что приводит к доуплотнению при замачивании и приложении к грунту нагрузки.

Рассматриваемая территория Ергеней характеризуется грунтами с пористостью от 36 до 50 %.

На эффект просадки оказывает наибольшее влияние межчастичная пористость. По наблюдениям Н. Я. Денисова, А. К. Ларионова и других авторов влияние макропор сравнительно невелико.

При замачивании лессовых грунтов макропоры почти не разрушаются. Наши исследования просадочных грунтов показали, что в пробах грунта после проявления просадок многие макропоры сохраняются.

При просадке лессовых пород исчезают только макропоры, сложенные рыхлыми или слабо связанными между собой зернами, а макропоры, покрытые труднорастворимыми карбонатными и железистыми пленками, существенных изменений не претерпевают. В проявлении просадок макропористость играет второстепенную роль.

По микроструктурным признакам, величине агрегативности, толщине пленок и составу микроминералов по классификации А. К. Ларионова выделены 3 типа структуры лессовых грунтов: зернистая, зернисто-агрегативная и агрегативная. Для зернистой структуры грунта показательно небольшое количество глинистых частиц и значительное содержание водорастворимых солей, цементирующих агрегаты и монозерна. Зернистая структура характерна для лессовых грунтов II типа по просадочности, имеющих распространение на водораздельных пространствах.

Лессовые просадочные грунты склонов имеют преимущественно зернисто-агрегативную структуру. Характеризуются они большим количеством до (20 %) глинистых частиц и большей водоустойчивостью.

Выводы по главе 1

В главе представлены краткие сведения по лессовым грунтам в Калмыкии. Они наиболее распространенные грунты. От их химико-минерального состава зависит методы выбора заложения оснований и фундаментов.

Глава 2
Строительные свойства лессовых грунтов

2.1. Физические характеристики Лессовых грунтов

Несущая способность грунтов (их прочность) в основаниях зданий и сооружений оценивается на основе ряда физических характеристик, определяемых опытным путем в полевых условиях, или чаще при испытаниях образцов грунта в лабораториях.

Все показатели, характеризующие инженерно-геологические свойства грунтов, разделяются по Н. Н. Маслову на два класса.

К. первому классу относятся показатели, дающие количественные характеристики того или иного свойства грунта, которые непосредственно используются при расчетах.

Показатели второго класса дают лишь общую качественную характеристику грунта по его составу и стоянию и обычно непосредственно в расчетах не используются. Они рассматриваются как косвенные показатели.

К числу показателей первого класса относятся: сопротивление грунтов сдвигу (сцепление и угол внутреннего трения), показатели сжимаемости грунтов, влажность грунта и его объемный вес.

Показатели второго класса Н. Н. Маслов разделяет на показатели, характеризующие состав и состояние породы.

Основными показателями второго класса являются:

по составу — 1) петрографический, минералогический и химический; 2) гранулометрический; 3) удельный вес; 4) показатели пластичности — пределы текучести и раскатывания, число пластичности:

по состоянию — 1) влажность; 2) показатели плотности; пористость и коэффициент пористости; 3) показатели консистенции глинистых грунтов.

Рядом авторов (Н. В. Коломенский, И. С. Комарова, И. Н. Иванова) и нами отмечена непрерывная изменяемость породы по ее составу, состоянию, а, следовательно, и по свойствам даже в пределах одного выделенного горизонта. Это находит отражение в результатах лабораторных определений показателей физико-механических свойств пород.

Разброс результатов опытов из-за неоднородности грунтов хорошо фиксируется графиками рассеяния отдельных показателей свойств.

Причинами таких разбросов являются в некоторой степени погрешности при производстве лабораторных испытаний, нарушение естественной структуры и физического состояния грунтов при их отборе, транспортировке и хранении. Наконец, причина неоднородности грунтов заключается и в том (и это главное), что осадконакопление никогда не бывает выдержанным ни во времени, пи в пространстве. Последующие процессы диагенеза и эпигенеза сопровождаются различными химическими преобразованиями, которые еще больше увеличивают первичную неоднородность грунта.

Для того чтобы избежать случайных нехарактерных определений показателей свойств грунта, используемых в дальнейшем при расчетах, лабораторные данные статистически обрабатываются, в результате чего получаются обобщенные показатели физических свойств грунтов (данные представлены в приложениях).

При обобщении и анализе показателей свойств грунты разделены по литологическим разновидностям на супеси и суглинки — легкие, средние и тяжелые. В основу такого подразделения положена классификация В. В. Охотина по числу пластичности. К легким суглинкам отнесены грунты с числом пластичности 7–10 %, к средним — 11–13 %, к тяжелым — 14–17 %.

Для каждого показателя физических свойств грунтов строились графики рассеяния и распределения случайной величины (гистограммы) и вычислялись средняя арифметическая величина показателя x среднее квадратическое отклонение a, коэффициент изменчивости (вариации) V, по которым оценивалась степень однородности грунтов.

Для исключения нехарактерных значений показателя вычислялись трехсигиовые пределы исправленные на величину трехкратной ошибки.

Удельный вес (г/см^3) лессовых грунтов Ергеней имеет диапазоны колебаний от 2,67 до 2,73; для большинства образцов средний удельный вес — 2,70. Для делювиальных лессовидных суглинков удельный вес — 2,68, для эолово-делювиальных — 2,70 т/м^3 или г/см^3.

Удельный вес зависит от веса составляющих минералов и органических примесей и может служить ориентировочным показателем минералогического состава грунтов.

Объемный вес (г/см^3) грунта Ергеней при естественной влажности колеблется от 1,48 до 2,00 г/см^3; среднее арифметическое значение 1,70–1,83 г/см^3. Объемный вес скелета составляет 1,34–1,73 г/см^3, средняя величина 1,52–1,59 г/см^3. С глубиной объемный вес, как правило, увеличивается.

Влажность (весовая) грунта W является одной из его главнейших характеристик и в значительной степени влияет на его строительные свойства — сжимаемость, просадочность, сопротивление сдвигу — и, таким образом, является важным показателем.

Влажность лессовых грунтов рассматриваемой территории изменяется в значительных пределах от 3–8 % до 21 %. Величина влажности зависит от ряда факторов, главнейшие из которых: 1) климатические особенности района; 2) рельеф местности; 3) глинистость лессовых грунтов; 4) состав минералов глинистых фракций; 5) глубина залегания грунтовых вод и т. д.

Ергени представляют собой район недостаточного увлажнения с годовым количеством осадков 240–330 мм, чем и объясняется

в среднем невысокая влажность грунтов (9–12 %). Для лессовых грунтов водоразделов и на участках глубокого залегания грунтовых вод характерны пониженные влажности (7–11 %). Несколько более высокая влажность (14–15 %) отмечается на участках с. неглубоким залеганием грунтовых вод (до 6 м) и в различных понижениях рельефа. Влажность 18–20 % характерна для грунтов зоны капиллярного водонасыщения.

Анализ изменения влажности по глубине позволяет сделать вывод о том, что последняя с глубиной увеличивается с 8–10 % до 15 %.

Изменение влажности по площади проявляется нечетко. Повышенные влажности характерны для более тяжелых разновидностей рассматриваемых суглинков (данные представлены в приложениях).

Степень влажности G лессовых грунтов Ергеней колеблется (в среднем) в пределах 0,3–0,5. Для тяжелых литологических разновидностей суглинков характерны несколько повышенные величины степени влажности (до 0,65).

Пластичность и консистенция грунтов. В зависимости от влажности грунты имеют различное физическое состояние или консистенцию — текучую, пластичную, полутвердую и твердую.

Методов определения вида консистенции глинистых грунтов с ненарушенным сложением нет. Поэтому представление о видах консистенции получают по показателям пластичности.

На величину пластичности влияет целый ряд факторов: 1) степень дисперсности минеральных частиц; 2) форма частиц; 3) взаимоотношения между частицами глины и воды; 4) минералогический состав; 5) структура частиц; 6) наличие в системе водорастворимых солей; 7) состав и емкость обменных катионов и др.

Для грунтов восточного склона Ергеней (Калмыкия) характерны суглинки более легкого состава, по сравнению с грунтами западного склона. Для первых показатели пластичности (в сред-

нем) Wn = 8–14 %; Wт = 26–32 %; Wp = 17–18 %. Для вторых Wп = 10–15 %; Wт = 29–35 %, Wp = 10–20 %.

Показателем водоустойчивости грунтов является их размокание, которое можно рассматривать, как конечную стадию набухания, т. е. когда грунт теряет всякую прочность. При полном водонасыщении грунта структурные связи между, частицами ослабевают и, наконец, полностью исчезают и грунт распадается (размокает). Главную роль при размокании играют адсорбционные процессы, выражающиеся в гидратации частиц.

Определение размокания проводилось в кристаллизаторе с водой, с установленной в нем сеткой с отверстиями в 1 $см^2$. Испытывались образцы грунта ненарушенной структуры с природной влажностью размером 3×3×3 см.

Было испытано 85 образцов грунта г. Элисты различного возраста и генезиса. Из полученных данных следует, что эоловоделювиальные суглинки водоразделов и их склонов легкие и средние по составу обладают быстрой размокаемостью — 15–45 секунд. При погружении таких образцов в воду наблюдается очень быстрое оплывание грунта и превращение его в пыль. Было замечено, что суглинки с хорошо выраженной макропористостыо до 1–2 мм в диаметре иногда размокают не с одинаковой скоростью. Это свидетельствует о различном материале, инкрустирующим макропоры и обладающим различной водостойкостью.

Грунты исследуемой территории относятся к легко- и среднеразмокаемым. Большинство образцов размокает в течение 1–2 минут. Более глинистые образцы (тяжелые по составу) размокают медленнее, за 30–60 минут. Характер размокания их несколько отличен — сначала появляются трещины, затем образец разваливается на крупные куски, которые в дальнейшем распадаются на более мелкие части.

На скорость размокания оказывают влияние структура грунта и степень его агрегативности, чем последняя выше, тем порода более водостойкая.

Следует заметить, что для погребенных горизонтов отмечается замедленная размокаемость, обусловленная присутствием органических соединений, которые до некоторой степени задерживают процесс размокания. Природная влажность грунта влияет на процесс размокания: чем она ниже, тем размокание происходит быстрее, и наоборот. Так, делювиальные суглинки Элисты легкие и средние по составу, но с повышенной начальной влажностью, размокают медленнее (9–20 минут и даже до 1,5 часов).

Суглинки более плотного сложения также отличаются несколько замедленной размокаемостью.

Немалое влияние на процесс размокания оказывает минералогический состав грунтов. Образцы с высоким содержанием гидрофильных минералов типа монтмориллонита отличаются более медленной размокаемостью, по сравнению с грунтами гидрослюдистого и каолинитового состава.

Коэффициент фильтрации Кф является показателем водопроницаемости грунтов, т. е. показателем их способности фильтровать через себя определенное количество воды в единицу времени.

Для лессовых грунтов Ергеней значения Кф = 0,40–0,42 м/сутки.

Немаловажное значение в величине Кф играет структура лессового грунта. Как правило, грунты зернистой структуры имеют фильтрационную способность выше, чем у зернисто-агрегативной и тем более агрегативной.

Увеличение плотности грунтов уменьшает скорость фильтрации.

Наличие погребенных почвенных горизонтов и горизонтов вторичных карбонатов и гипса резко снижает величину Кф; как правило, эти горизонты являются полуводоупорами и служат одной из причин формирования верховодок.

С увеличением степени дисперсности грунтов величина Кф уменьшается. Наличие гидрофильных минералов типа монтмориллонита понижает Кф на 20–30 %. Глинистые грунты гидрослю-

дистокаолинитового состава обладают водопроницаемостью выше, чем монтмориллонитового состава.

Анализ обширного материала показателей физических свойств грунтов Ергенинской возвышенности, представлены в приложениях, позволяет сделать некоторые выводы.

При рассмотрении генетических разновидностей лессовых грунтов (эолово-делювиальных и делювиальных), не отмечается резкой разницы в их свойствах. Лессовые грунты восточного склона Ергеней, по сравнению с западным, отличаются более легким составом, несколько меньшей влажностью и большей плотностью.

Указанное обстоятельство согласуется с общими представлениями образования лессового покрова вблизи развевания исходного материала. Вполне закономерно, что на восточном склоне в процессе эоловой седиментации оседали более крупные частицы, обусловившие более легкий состав лессовых отложений в сравнении с западным склоном Ергеней,

2.2. Прочностные характеристики лессовых грунтов

В связи с выходом Строительных норм и правил (СНиП П-Б.1–62) появилась необходимость установления прочностных и деформативных характеристик грунтов для расчетов оснований по предельным состояниям. Так, при расчете по первому предельному состоянию — по несущей способности оснований сооружений, откосов, выемок и каналов и др. инженерных расчетов необходимо иметь данные о величине сопротивления сдвигу грунтов.

Механические показатели грунтов тесно связаны с химико-минералогическим составом, влажностью и их структурно-петрографическими особенностями. Это позволяет по составу и структурным особенностям, располагая данными физических характеристик, до некоторой степени прогнозировать те или иные механические свойства грунтов.

Сопротивляемость сдвигу является одной из основных характеристик прочности грунта. От сопротивления грунта сдвигу зависит его предельная несущая способность как в основании мелко заложенных фундаментов сооружений, так и свайных, а также в земляном полотне. Устойчивость грунтов в откосах выемок и насыпей также связана с прочностью на сдвиг. Давление грунта на шпунтовые и подпорные стенки также изменяется в зависимости от сопротивляемости сдвигу поддерживаемых ими масс грунта.

Вопросу изучения сопротивления сдвигу уделено большое количество исследовательских работ и ранее и в настоящее время. Зависимость показателей сопротивлений сдвигу от физического состояния грунта изложена в работах Н. Н. Маслова, Г. М. Ломизе, А. А. Ничипоровича, М. Н. Гольдштейна, Н. А. Цытовича, Е. И. Медкова, А. Л. Рубинштейна, Н. Я. Денисова и других исследователей.

Сопротивление грунтов сдвигу изучается в условиях предельного напряженного состояния, при котором по площадкам сдвига соблюдается условие, характеризуемое уравнением Кулона. Для несвязных грунтов (крупнообломочных и песчаных) сдвигающее усилие равно

$$т = Pf$$

где P — нормальное напряжение, кг/см^2;

f — коэффициент трения, равный tgφ

(углу внутреннего трения).

Для глинистых грунтов, частицы которых связаны между собой адсорбированными пленками воды, последняя в процессе сдвига играет значительную роль. На сопротивление глинистых грунтов сдвигу влияют коллоиды, цементирующие вещества и ряд других факторов, обусловливающих структурную связность грунта. В этом случае сопротивление сдвигу складывается из трения частиц грунта Pf и сил сцепления «C»

$$т = Pf + C \quad (2)$$

$$\text{или } т = Ptgφ + C \quad (2а)$$

По действующим строительным нормам и правилам (СНиП П-Б.1–62. п. 5. 10) принимается, что для нагрузки, равномерно распределенной по полосе, нормативное давление определяется по формуле:

$R_{Н}$= (Ab + Bh)y_0+ ДСн (3)

где А, В, Д — безразмерные коэффициенты, зависящие от нормативного угла внутреннего трения $ф_н$

В — меньшая сторона прямоугольной подошвы фундамента в м;

h — глубина заложения фундамента от природного уровня грунта или планировки срезкой до подошвы фундамента в м;

Сн — нормативное удельное сцепление грунта для глин или нормативный параметр линейности для песков, залегающих непосредственно под подошвой фундамента в т/м^2;

То — объемный вес грунта, залегающего выше отметки заложения фундамента, в т/м^3.

Существующие методы расчета устойчивости и прочности грунтового основания базируются на положениях теории прочности, согласно которой разрушение грунта происходит вследствие того, что развивающиеся от действия нагрузки касательные напряжения (т) превышают прочностные параметры грунта.

Предельная нагрузка на основание Rн — нормативное давление определяется также, исходя из этих положений.

Следует только заметить, что такой подход несколько упрощен, так как лессовые просадочные грунты в этом случае рассматриваются как однородные и изотропные тела, несмотря на их анизотропию свойств в различных направлениях.

Лессовые просадочные грунты, структурно-неустойчивые при замачивании в неводонасыщенном состоянии, подчиняются законам теории упругости, где соблюдается прямолинейность зависимости осадка-нагрузка.

В замоченном состоянии прочностные характеристики грунта уменьшаются.

В момент просадки величины параметров сопротивления сдвигу резко падают. М. Н. Гольдштейн и С. С. Саватеев приводят их величины в момент просадки следующие: ф = 19° и С = 0,037 кг/см^2. Затем после просадочного упрочнения в результате длительного увлажнения параметры сопротивления сдвигу стабилизируются и становятся равными ф = 27° и С = 0,12 кг/см^2.

Следует заметить, что при определении параметров сопротивления сдвигу грунтов в водонасыщенном состоянии по консолидированной схеме производства испытаний практически получаются характеристики грунта, утратившего просадочные свойства, так как условия опыта таковы, что предварительное уплотнение в водонасыщенном состоянии (согласно ГОСТ) производится под нагрузками 1, 2 и 3 кг/см^2 и грунты претерпевают просадки под действием этих давлений. Следовательно, замоченный грунт в результате просадочных деформаций доуплотняется и в нем образуются новые структурные связи. Прочностные характеристики грунтов соответствуют уже другому новому состоянию последних.

Возможно, для таких структурно-неустойчивых грунтов, как лессовые, необходима несколько другая методика определения параметров сопротивления сдвигу. Вероятно, логичней предварительное уплотнение проводить при какой-то одной нагрузке (по нашему мнению, соответствующей нагрузке от возводимого здания или сооружения Р = 2 кг/см^2), тогда состояние грунта на всем протяжении опыта будет при всех нагрузках одинаковым.

Нормативные значения угла внутреннего трения и сцепления получают из опытов на сдвиг образцов грунта природной структуры и влажности в полевых и, чаще, в лабораторных условиях.

Сопротивление сдвигу при испытании грунтов в лабораторных условиях определяется тремя основными методами: методом среза (чаще всего одноплоскостного), методом трехосного сжатия и методом одноосного сжатия.

В практике для определения сопротивления сдвигу чаще всего пользуются методом одноплоскостного среза с использованием

прибора Маслова-Лурье в модернизации Гидропроекта (прибор ГГП-30).

В зависимости от предполагаемых условий работы грунта применяется несколько схем испытаний на сдвиг методом среза. Из всего разнообразия схем сдвиговых испытаний можно выделить две основные — испытание по схемам неконсолидированного и консолидированного сдвига.

По схеме неконсолидированного сдвига опыт проводится без предварительного уплотнения образцов грунта, с сохранением его естественной влажности и плотности в процессе сдвига. В природных условиях это соответствует работе грунта под воздействием собственного веса (в карьерах, откосах насыпей, на оползневых склонах).

Консолидированный сдвиг проводится после предварительного уплотнения образцов разными нагрузками до полной стабилизации. Он осуществляется при нагрузках, равных нагрузкам уплотнения. Такая схема определения сдвига позволяет оценить поведение грунтов в основаниях сооружений при их длительной эксплуатации.

Известны также схемы испытаний промежуточные между двумя вышеприведенными.

В зависимости от скорости приложения усилия различают быстрый сдвиг (в течение 5–7 минут, не более 10), применяемый для неконсолидированной схемы испытаний, и медленный (от 30 мин. до 1 часа, реже больше) для схемы консолидированного сдвига.

Испытания в приборах трехосного сжатия (стабилометрах) ближе всего соответствуют работе грунта в естественных условиях.

В настоящее время существует несколько конструкций стабилометров — В. Г. Булычева, М. Н. Гольдштейна, Н. В. Лалетина, Е. И. Медкова и других исследователей. Несмотря на то, что в стабилометрах более близко моделируется работа грунта природной обстановки, в лабораторной практике эти приборы пока еще не

нашли должного распространения. Нет еще и единой общепринятой методики исследования и унифицированной конструкции приборов.

Метод одноосного сжатия является стандартным при определении механической прочности грунтов, характеризующийся их прочностью при раздавливании, т. е. временным сопротивлением сжатию. Этим методом можно также определять сопротивление грунта сдвигу.

Экспериментально определяют предельные значения б, а расчетом находят значение сцепления С (обычно в предположении ф = 0), равным половине или трети разрушающего напряжения б.

Метод этот применим для глинистых грунтов в твердом и тугопластичном состоянии.

Наблюдениями установлено, что один и тот же грунт имеет различное сопротивление сдвигу в зависимости от ряда факторов, важнейшими из которых являются: начальное состояние грунта (структура, плотность, влажность) и условия производства испытаний (конструкция прибора, размеры образца, скорость сдвига и т. п.). Для определения характеристик сопротивления сдвигу грунтов необходимо применять такую методику, которая обеспечивает наибольшее соответствие режима испытаний условиям, имеющим место при строительстве и эксплуатации сооружения.

Исследованиями установлено, что сопротивление сдвигу зависит от ряда показателей; основными из них являются влажность, плотность и число пластичности.

Экспериментами выявлено, что параметры сопротивления сдвигу снижаются при увеличении влажности грунта. Она является одним из важнейших и решающих факторов, влияющих на прочностные свойства лессовых грунтов. При увлажнении последних наблюдается падение их прочности, которое объясняется, главным образом, размягчением природного цемента, расклинивающим действием водных пленок и рядом других причин.

Анализ результатов лабораторных исследований показал, что влажность в различной степени влияет на составляющие сдвигающей характеристики. Так, удельное сцепление «С» с увеличением влажности резко уменьшается, в то время как угол внутреннего трения уменьшается более плавно и количественно незначительно. На рисунках 3 и 4 показано изменение удельного сцепления грунта и угла внутреннего трения от степени влажности для выделенных интервалов плотности по каждой литологической разновидности суглинков (легких средних и тяжелых).

Как видно из графиков, удельное сцепление с увеличением влажности резко изменяется в сторону занижения до 8–10 раз, причем характер уменьшения величин сцепления от степени влажности в количественном отношении у всех литологических разновидностей примерно одинаков.

Угол внутреннего трения при увеличении влажности количественно изменяется незначительно, что характеризуется пологими прямыми (рис. 4); при увлажнении до степени влажности 0,9 угол внутреннего трения уменьшается всего лишь в 1,3–1,6 раза.

Следовательно, при водонасыщении лессового грунта его прочность резко падает в основном за счет уменьшения сил сцепления.

Закономерности изменения удельного сцепления и угла внутреннего трения в зависимости от плотности в отдельных интервалах степени влажности показаны на рисунках 5 и 6.

Для грунтов маловлажных (G = 0,2–0,4) независимо от цитологической разновидности суглинков характерны высокие значения удельного сцепления; при уменьшении плотности грунта (увеличение *E*) удельное сцепление заметно уменьшается. При увеличении влажности (в интервалах степени влажности 0,6–0,9) кривые становятся более пологими. Из графиков видна общая закономерность уменьшения величины удельного сцепления с уменьшением плотности лессового грунта в среднем в 2 раза.

Большое количество (до полутора тысяч) определений сопротивления сдвигу грунтов математически обработаны по способу

наименьших квадратов. Эмпирические зависимости удельного сцепления грунтов от их влажности и плотности аппроксимированы трансцендентной функцией в общем виде

$$C = Col — (K'E + K"G) \quad (4)$$

где Со — удельное сцепление (в кг/см^2) при плотности и влажности, близкой к нулю;

Со для суглинков — легких 29–31;

средних 46,5–47,5;

тяжелых 54–56;

I — основание натурального логарифма;

К — эмпирические коэффициенты,

К" = 3,9–4,1 и К' = 2,9–3,1

Среднее квадратическое отклонение величины С составляет 0,08–0,20 кг/см^2; коэффициент вариации 22–42 %, а корреляционное отношение — 0,65–0,7.

Эмпирические зависимости угла внутреннего трения грунтов от влажности и плотности аппроксимированы уравнением прямой линии в общем виде

$$\phi = \phi_0 — AE — BG; \quad (5)$$

где ϕ_0 — угол внутреннего трения грунта (в градусах) при степени влажности и плотности, близкой к нулю;

$\phi_0 = 33°$;

А и В — параметры прямой: А = 7; В = 11.

Среднее квадратическое отклонение величин ф составляет 1,9–3,8°, коэффициент вариации 9,7–22,0 %, а коэффициент корреляции 0,7–0,8.

Анализ большого количества лабораторных определений параметров сопротивления сдвигу лессовых грунтов и их статистическая обработка позволили выявит корреляционные связи между параметрами удельного сцепления и угла внутреннего трения грунта и их основными физическими свойствами — влажностью и плотностью для различных литологических разновидностей суглинков.

На основании выполненных исследований составлена таблица 2 нормативных характеристик сцепления $C_н$ и угла внутреннего трения $ф_н$ лессовых грунтов региона, позволяющая при проектировании назначать нормативные давления на основания Rн (формулы 12 и 13 СНиП П-Б.1–82) с учетом изменения влажности.

Как уже отмечалось, район исследований характеризуется широко развитым сельскохозяйственным строительством. Здания III–IV классов (кошары, теплицы, зернохранилища, овощехранилища и т. п.) строятся без специальной подготовки просадочных оснований.

В этом случае нормативные давления на основания Rн назначаются согласно СНиП, составленной для глинистых непросадочных грунтов различного генезиса. При этом не учитываются специфические особенности лессовых грунтов в условиях замачивания уменьшать свои прочностные показатели.

Для лессовых грунтов региона показательна в большинстве случаев низкая природная влажность (8–12 %) и соответственно высокие параметры сопротивления сдвигу, что приводит при проектировании к использованию завышенных величин нормативных давлений на основания. Или, как рекомендует СНиП, при использовании $C_н$ и $ф_н$ в водонасыщенном состоянии ($G > 0{,}8$) получать весьма заниженные величины $R_н$.

Предлагаемые табулированные значения $C_н$ и $ф_н$ лессовых грунтов региона позволят избежать крайностей при выборе расчетных параметров грунта с малой степенью влажности и полном водонасыщении и даст возможность выбирать их наиболее оптимальные величины при соответствующих степенях влажности каждой литологической разновидности грунтов.

Это значительно сократит производство лабораторных испытаний при изысканиях на всех стадиях проектирования, что приведет к снижению стоимости строительства в целом.

Как уже отмечалось выше, на величину сопротивления сдвигу оказывают также влияние и показатели пластичности.

Четкая зависимость удельного сцепления грунта проявляется в зависимости от его литологического состава. На графике (см. приложения) показано закономерное увеличение сцепления с увеличением числа пластичности грунта.

При твердой и полутвердой консистенции суглинков:

для легких (Wn = 7–10 %) С = 0,35–0,5 кг/см^2;

для средних (Wn = 11–13 %) С = 0,4–0,6 кг/см^2;

для тяжелых (Wn = 14–18 %) С =0,7–0,8 кг/см^2.

При пластичной и текуче-пластичной консистенции показатели сцепления соответственно равны 0,08–0,12 кг/см^2, 0, 14–0,19 кг/см^2, 0,24–0,35 кг/см^2.

Эмпирические кривые аппроксимированы уравнениями прямой линии

$$У=А+ВХ \qquad (7)$$

2.3. Деформационные характеристикилессовых грунтов

При воздействии на грунты внешней нагрузки механические свойства их проявляются в сопротивлении сжатию и сдвигу. Внешняя нагрузка, приложенная кВ массиву грунта, вызывает его уплотнение, при этом происходит уменьшение пористости и увеличение объемного веса. Это свойство является особенностью грунтов как рыхлых пород (дисперсных тел), в которых твердые минеральные частицы занимают не весь объем, т. е. грунты всегда обладают большей или меньшей пористостью.

При расчете по второму предельному состоянию (по деформациям) надо знать расчетные характеристики сжимаемости грунтов, необходимые при определении ожидаемых осадок фундаментов.

Показатели сжимаемости — коэффициент уплотнения и модуль деформации — определяются на основе испытаний грунтов в полевых и лабораторных условиях. При этом устанавливается зависимость изменения пористости от давления.

Наиболее достоверными считаются зависимости, полученные на основе полевых испытаний грунтов штампами. Однако сложность, трудоемкость и длительность этих испытаний ограничивают их широкое применение в инженерно-геологических изысканиях. Поэтому наибольшее распространение получил лабораторный метод в компрессионных приборах (одометрах), в которых грунт испытывается в условиях невозможности бокового расширения, где деформация сдвига в грунте исключается, или в стабилометрах, где, кроме компрессионной зависимости, фиксируется также коэффициент бокового давления.

Известно, что условия компрессионных испытаний полностью не моделируют сжатия грунта в основании сооружений. Однако компрессионные кривые представляют весьма важные характеристики свойств грунта, позволяющие ориентироваться в величине ожидаемых осадок.

Как показали исследования, модули деформации, определенные по результатам лабораторных испытаний грунтов в компрессионных приборах, получаются ниже модулей, установленных на основе полевых испытаний штампа или по данным замеров фактических осадок фундаментов.

Сравнение значений модулей деформаций грунтов Еп, полученных при изучении их сжимаемости под опытными фундаментами, с модулями деформаций, определенными по данным лабораторных исследований, показало, что фактическая величина модулей деформации грунтов (Еп) превышает лабораторные их значения (Еп) в 1,6–3,3 раза.

На расхождение величин полевых и компрессионных модулей деформации указывали также И. А. Агишев, В. Е. Воляник, В. А. Зурнаджи, О. И. Игнатова, Н. И. Ловыгин, Н. А. Цытович, Г. И. Швецов и другие исследователи.

Для приведения в соответствие лабораторные и полевые эксперименты большинство авторов рекомендуют путем сопоставления результатов, полученных по полевым испытаниям, устанав-

ливать корректировочные коэффициенты к модулям деформации, вычисленным на основе лабораторных опытов в компрессионных приборах по формуле (8).

Так, И. А. Агишевым исследована зависимость Еп от коэффициента пористости (*Е*) глинистых грунтов пластичной консистенции и рекомендован коэффициент

m = Еп/Ел, равный 2 и более.

Н. И. Ловыгин установил для лессовидных суглинков г. Минска переходный коэффициент от полевых испытаний к лабораторным, равный 1,5 (Еп — 1,5 Ел).

В. А. Зурнаджи на основании проведенных исследований приводит график ш = *Е*), по которому можно корректировать величины Ел, полученные методом компрессионных испытаний, и приближать их к действительным значениям.

В. Е. Воляник для грунтов Северного Кавказа приводит расхождение полевых и компрессионных модулей в пределах 1,4–2,0 раза.

Н. А. Цытович, наблюдая фактические осадки фундаментов сооружений на сильно сжимаемых грунтах, показывает, что коэффициент m для таких грунтов близок к единице.

Г. И. Швецов для грунтов района Новосибирска рекомендует величину корректирующего коэффициента

Еп/Ел = 1,15 + 1,25

О. И. Игнатовой установлены величины коэффициентов перехода m для четвертичных супесей, суглинков и глин аллювиальных, делювиальных, озерных и озерноаллювиальных отложений,

имеющих консистенцию B > 0 при степени влажности G > 0,7.

В зависимости от коэффициента пористости грунтов коэффициент m для суглинков колеблется в следующих пределах: при *Е* = 0,41–0,5 m; при *Е* = 5,0; при *Е* = 0,71–0,8 m = 3.9; при *Е* = 0,91–1,0 m = 2,6.

Как видно из вышеприведенного анализа исследований ряда авторов, рекомендуемые корректировочные коэффициенты разнятся от единицы до 5.

При расчетах осадок грунтов под давлением используют модуль общей деформации Е в кг/см². Последний является коэффициентом пропорциональности между напряжениями и общими деформациями (упругими и пластическими).

В лабораторной практике обычно пользуются известной формулой

$$Eл = \frac{(P_1 - P_2)(1+\xi_0)}{\xi_1 - \xi_2}\ \beta \qquad (8)$$

где P_1 и P_2 — величины нагрузок в кг/см²;

ξ_0; ξ_1 и ξ_2 — коэффициенты пористости соответственно до опыта и при нагрузках P_1 и P_2;

β — коэффициент, зависящий от коэффициента бокового расширения (обычно принимается по таблице 3).

$$\beta = 1 - \frac{2\mu^2}{1-\mu} \qquad (9)$$

При полевых испытаниях грунтов штампами модуль деформации рассчитывается по формуле Буссинеска-Шлейхера (41)

$$\mathrm{E} = \frac{mFP\sqrt{\mathrm{B}l\left(1-\mu^2\right)}}{S} \qquad (10)$$

где mF — коэффициент формы штампа, зависящий от отношения

$$\alpha = \frac{e}{B} \qquad \text{(табл. 4)}$$

в1 = F — величина площади, на которую действует нагрузка;

в — ширина фундамента в см;

l — длина фундамента в см;

P — удельная нагрузка в кг/см^2.

Рассматривая грунт, как линейно-деформируемое тело в малом интервале давлений, можно сделать вывод, что деформации прямо пропорциональны приложенной силе. Модуль деформации нами рассматривается как отношение величины приращения давлений (P_2 — P_1) к величине изменения пористости (n_1 — n_2). Последнее (n_1 — n_2) есть приращение относительных деформаций λ_1 и λ_2, соответствующих нагрузкам P_1 и P_2.

$$\begin{aligned} \lambda_l &= n_0 - n_j \\ \lambda_1 &= n_0 - n_1 \\ \lambda_2 &= n_1 - n_2 \end{aligned} \qquad (11)$$

Т.е. $\lambda_1 - \lambda_2 = (n_0 - n_1) - (n_1 - n_2) = n_1 - n_2$.

Тогда $E'л = \dfrac{P_1 - P_2}{\lambda_1 - \lambda_2} \qquad \beta = \dfrac{P_2 - P_1}{n_1 - n_2}$ (12)

$$E'л = \frac{P_2 - P_1}{\dfrac{\xi_1}{1+\xi_1} - \dfrac{\xi_2}{1+\xi_2}}\ \beta$$

или (13)

Сравнительный анализ показал, что расхождение между величинами модулей деформации, рассчитанными по осадкам фундаментов и штампов в ряде пунктов Северного Кавказа на различных по литологическому составу грунтах (En), и значениями компрессионных модулей деформации, определенными по общепринятой формуле (8), Ел составляет 1,6–3,3 раза, а по формуле (12 и 13) Е'л — лишь 0,9–1,25 раза. Это говорит о том, что величины модуля деформации, вычисленные по формуле (12), хорошо согласуются сданными полевых испытаний, что свидетельствует об их достоверности и показывает возможность широкого применения лабораторных методов при оценке сжимаемости. Полевые испытания, более трудоемкие и длительные, необходимо проводить как контрольные.

Знание достоверной величины Е'л дает возможность полнее использовать несущую способность грунтов оснований при проектировании, а сокращение полевых экспериментов уменьшит затраты па изыскательские работы, что в общем приведет к значительному экономическому эффекту.

Сжимаемость глинистых грунтов зависит от минералогического состава частиц, слагающих грунт, степени дисперсности, состава обменных катионов, пористости, влажности, а также от состояния грунта и условий сжатия. Значительное влияние на сжимаемость оказывает скорость нарастания нагрузки и размеры ее ступеней.

Большое влияние на характер компрессионной кривой, отражающей степень сжимаемости грунтов, оказывают структурные связи между частицами. Компрессионные кривые для одного и того же грунта с ненарушенной структурой вследствие влияния структурных связей имеют более сложную форму, чем плавные кривые, характерные для образцов с нарушенной структурой.

Рассматриваемая территория сложена лессовыми грунтами, являющимися основаниями зданий и сооружений и характеризующимися малой влажностью в естественном залегании и большой деформируемостью (просадочностью) при увеличении влажности. Последнее представляет опасность для устойчивости и эксплуатационной пригодности возведенных на них сооружений.

Была исследована сжимаемость лессовых грунтов региона различного литологического состава от легких до тяжелых суглинков эолового, эолово-делювиального и делювиального генезиса.

При вычислении компрессионного модуля деформации использовался постоянный интервал давлений 1–2 кг/см^2, отвечающий средней величине предела пропорциональности зависимости S = f(P); сжимаемость в интервале давлений 0–1 кг/см^2 не учитывалась, вследствие погрешностей при компрессионных испытаниях, связанных с некоторым разуплотнением грунта при заполнении им кольца, неровностями поверхностей отобранной пробы, не-

плотным прилеганием перфорированных прокладок при загрузке кольца в прибор и пр.

Были исследованы корреляционные связи между модулем деформации грунтов и их физическими характеристиками.

В качестве зависимой переменной рассматривалась деформационная характеристика — модуль деформации, а в качестве факторов, оказывающих влияние на зависимую переменную, — физические характеристики: степень влажности, коэффициент пористости и число пластичности.

Обработка многочисленных экспериментальных данных заключалась в составлении таблиц и затем графиков зависимости модулей деформации от рассматриваемых физических характеристик для различных интервалов плотности и степени влажности, с определением среднеарифметических величин в каждом интервале того или иного показателя. Обработка экспериментальных данных проводилась по схеме, аналогичной обработке параметров сопротивления сдвигу грунтов (по способу наименьших квадратов).

Проведенные исследования подтвердили наличие корреляционных связей между модулем деформации грунтов и их физическими характеристиками.

На графиках (см. приложения) показана зависимость между модулем деформации различных литологических разновидностей суглинков и степенью их влажности. Лессовидные грунты в естественном залегании исследуемой территории преимущественно маловлажные, находятся в твердом состоянии ($B < 0$), обладают слабой деформируемостью и классифицируются как слабосжимаемые грунты. Малая деформируемость грунтов обусловлена их структурными связями. Составляющие грунт элементарные частицы и агрегаты сцементированы различными солями, придающими породе известную прочность. При малых величинах степени влажности (0,2–0,3) грунты обладают высокими модулями деформации (250–400 кг/см^2).

При увеличении влажности неводостойкие связи ослабляются и деформируемость грунтов резко увеличивается. Так, при степени влажности, равной 0,4 и 0,75 (при ξ = 0,75–0,80) модули деформации грунтов соответственно равны: легких — 200 и 60 кг/см^2; средних — 250 и 80 кг/см^2; тяжелых — 330 и 110 кг/см^2.

Как следует из проведенного сравнительного анализа, модуль деформации лессовых грунтов при их водонасыщении уменьшается в 3 и более раз.

Эмпирические зависимости аппроксимированы показательной функцией в общем виде.

$$E = E_0 e - \left(K_1 \xi + K_2 G\right)$$

где E_o — модуль общей деформации грунта (в кг/см^2), при степени влажности и плотности, близкой к нулю;

E_o для суглинков — легких 4500 + 4900;

средних 5300 + 5500;

тяжелых 7100+ 1500;

K_1 и K_2 — эмпирические коэффициенты;

K_1 = 2,4–2,6 и K_2 = 2,9–3,1

Среднее квадратическое отклонение величин при этом соответствует 45–81 кг/см^2, коэффициент вариации — 20–44 %, а корреляционное отношение — 0,6–0,7.

Корреляционная зависимость между модулем деформации различных по литологическому составу грунтов и коэффициентом пористости показана в приложениях. На графиках видно, что изменение модуля деформации, в зависимости от плотности для различных по составу суглинков от легких до тяжелых, происходит незначительно. Это обстоятельство объясняется тем, что плотность всех разновидностей суглинков практически находится в одних пределах: коэффициент пористости преимущественно колеблется в пределах 0,7–0,9. В естественном залегании эти грунты маловлажные, твердой консистенции и модуль деформации их в зависимости от плотности при степени влажности 0,2–0,4 изме-

няется резче, о чем свидетельствует более крутой наклон линий 1 и 2 (см. приложения). С увеличением степени влажности (более 0,7) плотность лессового грунта оказывает влияние в меньшей мере, линии 6 и 7 близки к горизонтальным. При степени влажности более 0,7 грунты претерпевают просадочные деформации и для суглинков всех литологических разновидностей модули деформации количественно почти не отличаются.

Показана корреляционная зависимость между модулем деформации грунтов и числом пластичности, установленная по 420 испытаниям грунтов твердой консистенции. Эмпирическая линия регрессии аппроксимирована полиномом 2-й степени.

$$E = 325 - 23{,}6W_п + 1{,}2W^2_п \qquad (16)$$

Для супесей с числом пластичности 6 % и меньше (ближе к пескам) отмечается увеличение модуля деформации. На теоретической кривой отмечается перегиб функции, характеризующий минимум модуля деформации, соответствующий легким суглинкам ($E \cong 200$ кг/см^3) после которого с увеличением числа пластичности грунтов отмечается закономерное возрастание модуля деформации у средних и тяжелых суглинков.

Следует заметить, что полученные корреляционные связи между модулем общих деформаций и их основными физическими свойствами позволяют на первых этапах исследований ориентироваться в его величинах, имея физические характеристики грунтов. Это позволяет сократить объем лабораторных испытаний грунтов при: изысканиях и приведет к сокращению затрат при проектировании.

2.4. Просадочные деформации лессовых грунтов

Лессовые грунты обладают специфическим свойством — просадочностью, — проявляющемся в доуплотнении и изменении своего объема при замачивании.

Среди лессовых разновидностей выделяют собственно лесс и лессовидные породы. Первая из этих групп представляет собой рыхлую породу светло-желтой (палевой) окраски с пористостью 40–50 %, неслоистую, макропористую, известковистую, пылеватую, склонную к образованию в откосах вертикальных отдельностей. А лессовидные породы обладают не всеми перечисленными признаками, некоторые из них полностью отсутствуют или выражены нечетко.

Свойства просадочности у различных типов лессовых грунтов выражены неодинаково: у одних они проявляются при замачивании толщи этих отложений под действием собственного веса, у других — при одновременном замачивании и передачи на толщу лессовых грунтов дополнительных давлений от возводимых зданий и сооружений.

Главной причиной развития просадочных явлений в лессовых грунтах является их недоуплотненная структура, сформировавшаяся при наличии засушливого степного климата, которая не отвечает напряженному состоянию грунта в его естественном залегании. Грунты имеют высокую пористость; в случае замачивания происходит разрушение и перестройка структуры; пористость грунта уменьшается, приходя в соответствие с напряженным состоянием.

О характере этих процессов было высказано несколько предположений. Разрушение структуры лессовых грунтов объяснялось суффозионными явлениями, оплыванием макропор, растворением и выносом солей и др.

В настоящее время наибольшее признание получила гипотеза Н. Я. Денисова, по которой причиной разрушения структурных связей в лессовом грунте считается не растворение, а ослабление (размягчение) природного цемента, образующего эти связи. Явление это имеет физико-химическую природу и связано со способностью молекул воды адсорбироваться на поверхности минеральных частиц грунта. При явлениях адсорбции развиваются

значительные силы, вследствие чего молекулы воды, проникая в мельчайшие трещины цемента, производят расклинивающее действие, расширяя трещины и постепенно разрушая природный цемент. После разрушения цемента пленка связной воды играет роль смазки, облегчая смещение частиц, в результате чего происходит более плотная упаковка частиц под воздействием давления.

После разрушения структурных связей Н. Я. Денисов допускает явление химического растворения цемента при длительном воздействии воды. Исследования А. Л. Рубинштейна показали, что после быстро протекающей деформации, носящей провальный характер, сразу в результате замачивания, при длительной фильтрации наблюдается процесс дальнейшего медленного уплотнения грунта, при котором происходит вынос солей. Этот процесс может наблюдаться при инфильтрации воды из водохранилищ и каналов. Процесс этот А. Л. Рубинштейн называет послепросадочной деформацией.

Изучая механизм просадочных явлений, А. К. Ларионов пришел к выводу, что разрушение цементационных связей в лессовых грунтах происходит постепенно. На первом этапе при увеличении влажности разрушаются наименее водостойкие связи. Массовое разрушение связей наступает при появлении в порах свободной воды. Полное разрушение неводостойких агрегатов завершается в течение от 0,5 до 6–12 часов после достижения водонасыщения грунта. На этом этапе происходит просадка провального типа. Во втором этапе происходит разрушение водостойких агрегатов. Деформации в этом случае протекают медленно и могут продолжаться в течение месяцев и даже нескольких лет.

Сопоставление методов оценки просадочности грунтов. Своеобразие свойств лессовых грунтов заставляет очень тщательно подходить к оценке их просадочности, ошибки, в определении которой могут повлечь за собой не только значительные деформации, но и полное разрушение сооружений.

В настоящее время существует два метода оценки просадочности — косвенные и прямые. Первые из них основаны на комплексном учете физико-географических (мезо- и микроформы рельефа), геолого-литологических (генезис, строение, состав лессовых пород) и инженерно-геологических (пористость, влажность) признаков. Они дают лишь качественную оценку просадочности. Так, чем выше пористость лессовых грунтов, тем больше возможностей образования просадок. При пористости менее 38 % грунты обычно не реагируют на замачивание.

Чем больше мощность толщи при высоком значении пористости (более 40 %), тем больше величина просадки. При этом большую роль играет влажность грунтов. Последняя в свою очередь связана с климатическими факторами, условиями рельефа и глубиной залегания грунтовых вод. Известно, что ниже уровня подпочвенных вод лессовые грунты теряют свои просадочные свойства.

С увеличением глубины влажность грунтов растет, если они подстилаются водоупором. В этом случае просадочные свойства с глубиной уменьшаются. Если же в основании толщи лессовых грунтов залегают водопроницаемые породы, то влажность с глубиной не изменяется и тогда просадочные свойства незакономерно колеблются, хотя общая тенденция к уменьшению сохраняется под влиянием уплотнения от веса вышележащих грунтов.

Для качественной оценки просадочности рядом исследователей предложены эмпирические коэффициенты, основанные на использовании в различных комбинациях количественных показателей основных физических свойств лессовых грунтов.

Все эти показатели косвенных методов могут использоваться только для приближенных оценок просадочности толщ лессовых грунтов.

При количественной оценке просадочности пользуются прямыми методами, к которым относятся: замачивание лессовой толщи на опытных участках; опыты со статической нагрузкой штам-

пов и последующим замачиванием; лабораторные испытания грунтов в одометрах.

Выбор указанных методов при исследовании лессовых грунтов зависит от особенностей проектируемых сооружений и от стадии проектирования.

Известно, что полевые испытания по определению просадочности дают более достоверные результаты, но такие опыты трудоемки и длительны, что затрудняет их массовое применение. Поэтому наиболее широкое распространение получили лабораторные испытания в компрессионных приборах.

Правильно выбранная методика определения относительной просадочности грунтов Sпр играет существенную роль, так как расчет ожидаемых просадок грунтов основания зданий и сооружений при проектировании производится по величинам относительной просадочности.

В настоящее время существует два метода лабораторного определения Sпр. Это так называемые методы «одной кривой» и «двух кривых». И в первом и во втором случаях определение 8пр осуществляется в компрессионных приборах.

Метод одной кривой заключается в испытании образцов грунта, отобранных из одного монолита, в одометре под заданными нагрузками (1, 2 и 3 кг/см^2), с последующим замачиванием испытуемых образцов.

По результатам опытов рассчитывается относительная просадочность при заданной нагрузке по формуле СНиПа.

Метод двух кривых заключается в параллельном компрессионном испытании двух образцов, отобранных из одного монолита. Один из образцов испытывают в состоянии природной влажности, а другой — в водонасыщенном состоянии. Затем строится график зависимости Sпр = f(P), по которому рассчитываются значения относительной просадочности грунта при любой нагрузке в интервалах от 0 до 3 кг/см^2. Относительную просадочность рассчитыва-

ют как разность между относительным сжатием образцов грунта в водонасыщенном состоянии и при естественной влажности.

Сравнительные исследования просадочности грунтов, определенные по методу одной и двух кривых позволяют сделать вывод о том, что значения Sпр, полученные по двум методам, не совпадают. Причем, величины относительной просадочности, определенные по методу двух кривых в большинстве случаев оказались завышенными (в 1,2–1,7 раза) (15, 45), на что также указывали М. Н. Гольдштейн, Н. Я. Денисов, А. К. Ларионов, Э. В. Запорожчемко, В. И. Зысман, Л. Ш. Каганович, А. Л. Рубинштейн, Н. Н. Фролов и др.

Н. Н. Фролов при сравнении результатов определения относительной просадочности по двум методам отмечает расхождение полученных величин в 1,8–2,3 раза.

Известно, что лабораторные методы определения просадочности грунта полностью не моделируют процесса, происходящего в природных условиях. Исследования В. Ф. Разоренова, А. Балли и других авторов отметили погрешности при определении Sпр, возникающие в одометрах, связанные с трением грунта о внутреннюю поверхность кольца и собственными деформациями прибора. Грунт, заключенный в жесткое кольцо одометра, не испытывает также бокового расширения, в то время как в натурных условиях наблюдаются боковые смещения, которые отмечали М. Н. Гольдштейн, В. Н. Голубков, Н. В. Воляник, И. В. Финаев, И. Е. Раевский. Вследствие этого относительная просадочность, полученная в лабораторных условиях, несколько занижена.

Предварительное замачивание грунта ослабляет структурные связи и подвергнутый нагрузке образец деформируется сильнее, чем в природных условиях, и общая деформация грунта, таким образом, завышается. Кроме того, предварительное замачивание не моделирует реальных условий строительства сооружений, осуществляемого па грунтах естественной влажности. При замачивании грунтов в них возникает набухание, которое обычно не

учитывается, а оно оказывает влияние на дальнейшее уплотнение грунта. Это обстоятельство особенно проявляется при исследовании грунтов с повышенным содержанием глинистых частиц. В результате анализа большого количества экспериментальных данных различных по литологическому составу лессовых грунтов выявлено, что с увеличением содержания глинистых частиц, и, следовательно, с увеличением числа пластичности, расхождение в результатах относительной просадочности по двум методам увеличивается. При малых нагрузках (от 0,5 до 1,5 кг/см^2) эти расхождения значительно больше, а при увеличении нагрузок до 2–3 кг/см^2 расхождения уменьшаются, смотри приложения..

Некоторые авторы предлагают водонасыщение образца грунта (во избежание набухания) проводить под давлением 0,5–1,0 кг/см^2 или под бытовой нагрузкой, что не всегда логично, т. к. у легких разновидностей грунтов просадки по методу одной кривой начинают проявляться при нагрузке 0,5 кг/см^2 (г. Элиста), а иногда и меньше.

При расчете просадок от собственного веса грунта для установления типа грунтовых условий выявляется, что на основании величин относительной просадочности, определенных по методу одной кривой, грунтовые условия относятся к 1 типу, а по методу двух кривых ко II типу. Последнее обстоятельство осложнило бы подготовку основания, удлинило сроки строительства и привело бы к общему удорожанию строительного объекта.

Такая картина получилась при оценке грунтовых условий площадок строительства экспериментальных фундаментов в ряде пунктов (Элиста, Сальск, Ростов-на-Дону, Азов).

Бесспорным доказательством является тот факт, что выбор метода проведения компрессионных испытаний будет основываться на близком сходстве прогнозов просадок с натурными наблюдениями. Для оценки грунтовых условий площадок строительства устраиваются котлованы с глубинными и поверхностными реперами, по величинам, осадок которых судят о грунтовых условиях.

Следует заметить, что при определении типа грунтовых условий величины 5пр, определенные по методу одной кривой, близки к натурным просадкам, вследствие моделирования условий работы лессовой толщи, при наличии бокового пригруза, препятствующего горизонтальным перемещениям грунта; последний имеет место, в верхней части толщи под подошвой фундаментов зданий.

Известно, что просадки от собственного веса грунта проявляются с 4–5 м, а на этих глубинах горизонтальные смещения грунта уже не отмечаются. Так, в пройденном в 2–3 км к северо-западу от г. Элисты котловане просадки от собственного веса составили 70 см, а по лабораторным определениям Sпр по методу одной кривой — 68 см.

Для определения относительной просадочности лессовых грунтов региона рекомендуется метод одной кривой, как более отвечающий работе оснований и сооружений.

Зависимость величины просадочности грунтов от давления. При рассмотрении влияния удельного давления на величину относительной просадочности грунтов можно видеть, что при увеличении нагрузки на грунт относительная просадочность возрастает. Причем, максимальное значение отмечается при нагрузках около 4 и 5 кг/см^2. При нагрузках более 5 кг/см^2 величина относительной просадочности снижается. По данным отдельных авторов максимальное ее значение наблюдается при давлении 2 и 3 кг/см^2 (В. П. Ананьев, И. В. Финаев, А. Кедзи). Наши данные согласуются с результатами А. М. Дранникова, В. И. Голубкова, Ю. Ф. Тугаенко, А. А. Мустафаева, А. К. Ларионова, Н. Я. Денисова и др., отмечающие наибольшее значение относительной просадочности при 5 кг/см^2.

Исследованиями, проведенными в г. Элисте, установлено, что грунты маловлажные (8–9 %) в природном залегании обладают просадочными свойствами и при больших давлениях (>5 кг/см^2); относительная просадочность достигает иногда значительной величины при нагрузке 6–8 кг/см^2. Грунты же с несколько повы-

шенной природной влажностью (16–17 %) при больших нагрузках просадочными свойствами уже не обладают. Уменьшение величины просадочности при больших нагрузках происходит резко. В интервале давлений более 7 кг/см^2 грунты настолько уплотняются, что практически утрачивают свои просадочные свойства.

Установленные для ряда районов закономерности в изменении относительной просадочности от давления позволили использовать и результаты исследований просадочности, выполненные в соответствии с НиТУ-137–56.

В последнее время для определения относительной просадочности на стадии проектных заданий А. А. Григорян и Б. Г. Кулаченок рекомендуют использовать осредненную кривую зависимости просадочности лессовых грунтов от давления, построенную ими на основании статистической обработки данных просадочности, полученных различными методами, без учета природных особенностей грунтов. Рекомендуемые значения коэффициента «К» — 0.25; 0,45; 0,8 соответственно при нагрузках 0,5; 1,0; 2,0 кг/см^2 в формуле bпр i = Kbпр$_3$.

Выполненные нами исследования по уточнению коэффициента «К» с учетом литологического состава грунтов рассматриваемой территории, полученных методов «одной кривой» с учетом их состава и состояния, показал следующее.

Зависимость просадочности от давления у легких лессовидных грунтов (легкие суглинки и супеси) с невысокой степенью влажности носят иной характер, чем у более тяжелых грунтов с повышенной степенью влажности.

Для вычисления коэффициента «К» составлялись графики зависимости величин относительной просадочности при нагрузках 0,5; 1,0; 1,5 и 2,0 кг/см^2, приведенных к Sпр, определенной при давлении 3 кг/см^2, отдельно по каждой литологической разновидности грунтов.

В интервале рассматриваемой нагрузки по способу произведений вычислялись среднеарифметические величины относитель-

ной просадочности и их среднеквадратические отклонения, ошибки среднеарифметического и среднеквадратического отклонения.

В результате проведенных исследований были вычислены коэффициенты «К» для отдельных интервалов нагрузок применительно к выделенным литологическим типам грунтов исследуемого региона, смотри приложения.

Полученные значения коэффициента «К» рекомендуются к использованию в исследуемом регионе.

Зависимость между просадочностью грунтов и их физическими характеристиками. Просадочные свойства лессовых грунтов зависят от ряда их физических характеристик: природной влажности, плотности, содержания глинистых частиц, а также минералогического состава, структурных особенностей, состава цементирующих солей и др. Влияние указанных факторов на просадочность грунтов различно. Наибольшее значение из них имеют природная влажность, пористость и содержание глинистых частиц.

Отчетливая зависимость отмечается между просадочностью и влажностью. Известно, что величина природной влажности имеет существенное значение при определении степени просадочности грунтов. Одни и те же грунты при различной влажности характеризуются различными значениями относительной просадочности.

Рядом исследователей отмечено, что устойчивость лессовых отложений меняется с изменением их природной (естественной) влажности. В свою очередь естественная влажность грунтов, особенно в верхнем горизонте (в зоне аэрации), не остается постоянной. Наблюдения ряда авторов указывают на большие изменения влажности в зоне аэрации, особенно во время освоения строительных площадок и в дальнейшем при эксплуатации зданий и сооружений. Кроме этого, влажность грунтов изменяется и по площади, в зависимости от рельефа, фациальной изменчивости пород, глубины залегания грунтовых вод и др.

В подавляющем большинстве случаев после застройки территорий влажность грунтов повышается. В этих условиях почти полностью исключается возможность проявления просадочности грунта. Но наряду с этим возможны случаи и уменьшения влажности грунта после возведения сооружений, как, например, под дымовыми трубами, трассами теплоцентрали или другими сооружениями с тепловыми технологическими процессами, под которыми происходит значительное подсушивание грунта. Поэтому в подобных случаях возможно завышение просадки вследствие снижения влажности (подсушивания) грунта и последующего затем его замачивания.

С течением времени в результате изменения природной влажности грунта в зоне аэрации и уровня грунтовых вод, особенно на участках дренажа или обводнения, устойчивость и просадочность грунтов будет меняться, что следует учитывать при проектировании строительных объектов.

С целью выявления количественных изменений просадки, в зависимости от влажности, нами проведена серия лабораторных исследований с подсушиванием образцов грунта.

Полученные данные свидетельствуют об увеличении относительной просадочности грунта в два-три раза при понижении влажности.

Результаты наших определений согласуются с данными Л. Г. Бадаева (4), Г. А. Липсона (5), Б. И. Циунчика.

Анализ наблюдений зависимости величины относительной просадочности грунтов от влажности позволяет сделать вывод о том, что в грунтовых условиях I типа просадочности (т. е. при отсутствии просадок под действием собственного веса) в случае замачивания грунтов до степени водонасыщения 0,80, когда грунт утрачивает свои просадочные свойства, последующее уменьшение влажности в результате подсушивания приводит к тому, что в грунте восстанавливаются просадочные свойства. Последнее наглядно можно проследить на примера опытов с грунтами

Волгодонска, когда замоченные (W = 19,3 и 23,4 %) непросадочные суглинки после подсушивания до влажности 16,6 % обладали просадочностью 3–4 % и затем при дальнейшем подсушивании до влажности 6,4 и 8,8 % Sпр составила 7,0 и 7,2 %.

Как следует из вышеописанного, в случае подъема уровня грунтовых вод ликвидируются просадочные свойства грунта вследствие его водонасыщения. В результате замачивания структурные связи грунта несколько ослабляются, но коренной перестройки структуры, т. е. до-уплотнения не наступает. Поэтому при уменьшении влажности грунта его просадочные свойства восстанавливаются.

Совершенно иная картина наблюдается в грунтах типа просадочности. Результаты лабораторных исследований грунтов из опытного котлована после проявления в нем в результате длительного замачивания просадок от собственного веса показали, что после просадки объемный вес скелета увеличивается до 1,64–1,69 т/м^3, пористость уменьшается до 38–39 % и грунт теряет свои просадочные свойства, которые после подсушивания не восстанавливаются.

Таким образом, в случае замачивания просадочной толщи грунта независимо от причин замачивания (поднятие уровня грунтовых вод или локальное замачивание при авариях водоводов, канализации и т. д.) под действием собственного веса грунта происходит его просадка, т. е. доуплотнение и уменьшение объема с нарушением первоначальной структуры. Это явление используется в одном из методов подготовки просадочных оснований в грунтовых условиях II типа, которое заключается в предварительном замачивании грунтов оснований перед строительством.

Следует отметить, что знание величины относительной просадочности лессовидных суглинков в зависимости от степени их увлажнения имеет практическое значение. Зная будущие условия эксплуатации сооружений, его технологические режимы, можно прогнозировать величины деформаций грунтов оснований, что

позволит более обоснованно предусматривать конкретные строительные мероприятия.

На графиках (см. приложения) показана зависимость относительной просадочности от степени влажности различных литологических разновидностей грунтов в интервалах коэффициентов пористости, откуда видно, что с увеличением степени влажности величина Sпр уменьшается. Особенно резко уменьшается относительная просадочность легких и средних суглинков при нагрузке 3 кг/см^2, характеризуемая большим наклоном аппроксимирующих линий.

Не менее четкая зависимость проявляется между величинами относительной просадочности и показателем плотности грунта — коэффициентом пористости. Из графиков (см. приложения) видно, что с увеличением коэффициента пористости, т. е. с уменьшением плотности грунта, относительная просадочность увеличивается.

Как следует из выявленных закономерностей, с увеличением плотности и природной влажности грунтов просадочность их уменьшается. При рассмотрении зависимостей Sпр = f(ξ) и Sпр = f(G) при различных интервалах степени влажности, плотности и нагрузок видно, что наибольшие величины Sпр соответствуют легким суглинкам при наибольшей нагрузке 3 кг/см^2 и наименьшим влажностям (G = 0,2–0,4) и плотностям (ξ = 0,9–1,0).

Увеличение степени влажности, плотности и глинистости грунтов (тяжелые разновидности) приводят к резкому уменьшению величины относительной просадочности.

Большое количество экспериментальных данных обобщено и статистически обработано.

Эмпирические зависимости $b_{пр}$ = f(G) и bпр = f(ξ). аппроксимированы уравнением прямой линии в общем виде

$$bпр = P(A\xi — BG), \qquad (17)$$

где P — нагрузка в кг/см^2;

A и B — параметры прямой:

A = 4,5–5,5 (для легких);

А = 3,5–4,5 (для средних);

А=3–4 (для тяжелых);

В = 3,5–4,5 (для легких);

В = 3–4 (для средних);

В = 3–3,5 (для тяжелых).

Коэффициент вариации значений bпр составляет 20–40 %.

Выявленные закономерности изменения величины bпр при различных интервалах степени влажности, коэффициента пористости и нагрузок позволили составить таблицу величин относительной просадочности лессовых грунтов исследуемого региона (см. приложения).

Интересная зависимость отмечается между относительной просадочностью и числом пластичности, характеризующим содержание глинистых частиц менее 0,005 мм, которые в основном и обусловливают механические свойства грунтов.

График зависимости $b_{пр} = f(Wп)$ свидетельствует о наличии корреляционной связи между этими показателями.

Пески не пластичны (Wп = 0) и, как правило, не просадочны. Пылеватые пески и супеси с числом пластичности 4 уже обладают просадочными свойствами ($b_{пр}$ = 3,5 %). При увеличении содержания пылеватых и глинистых частиц (Wп = 7) относительная просадочность уже составляет 5,4 %. Эмпирическая кривая имеет максимум, соответствующий легким суглинкам при средней максимальной величине bпр = 6,5–7 % (Wп = 8–9). При дальнейшем увеличении глинистости грунтов отмечается закономерное уменьшение величины относительной просадочности, средняя минимальная величина bпр = 0,9 % соответствует тяжелым суглинкам с числом пластичности 18–19 %.

Эмпирическая линия, аппроксимированная уравнением полинома второй степени, имеет вид

$$bпр = 1,2Wп — 0,063Wп^2 \qquad (18)$$

Анализ зависимости bпр = f(Wп) показывает, что осреднение величин относительной просадочности при выборе расчетных

значений следует проводить не для всей просадочной толщи лессовых грунтов в целом, а отдельно по каждой литологической разновидности.

Оценка величины относительной просадочности может быть дана только с учетом литологии, степени влажности грунтов и прилагаемой нагрузки. Особенно это важно при выборе расчетных значений относительной просадочности.

Начальное просадочное давление грунтов. При исследовании просадочности лессовых грунтов было выявлено, что дополнительные осадки их при замачивании происходят только под определенной нагрузкой, превышающей некоторую величину, названную начальным просадочным давлением ($P_{о}$пр). При замачивании под нагрузкой меньше этой величины просадочные свойства грунтов не проявляются. В этом случае строительство может осуществляться как на непросадочных грунтах. Величина начального просадочного давления, наряду с факторами, влияющими на величину относительной просадочности, обусловливается в большей степени структурными особенностями грунтов и составом их структурных связей. При малых нагрузках структурная прочность грунтов довольно высокая и деформации не возникают; на структурную прочность оказывает большое влияние химико-минералогический состав. Неводостойкие связи, создаваемые гипсом, галоидами, углекислой известью и другими солями, ослабляются при замачивании, и грунт теряет несущую способность. Водостойкие связи препятствуют возникновению просадок, т. е. структурных деформаций лессовых грунтов.

Стандартной методики лабораторного определения начального просадочного давления в настоящее время не имеется и последняя устанавливается различными авторами по-разному.

Методика определения начального просадочного давления в лабораторных условиях нами основывалась на изучении результатов компрессионных испытаний грунтов. Относительная просадочность определялась при дифференцированных нагрузках

с интервалами 0.25–0,50 кг/см^2 по методу, одной кривой. Затем строился график зависимости bпр = f(P), где на оси ординат отсекается величина bпр, равная 1 %, а на оси абсцисс соответствующее ей начальное просадочное давление (см. приложения).

Результаты лабораторного определения начального просадочного давления были проверены в природных условиях. Как видно из таблиц, величины начального просадочного давления грунтов в различных пунктах исследуемого региона, установленные лабораторным путем и определенные непосредственными замерами дополнительных осадок опытных фундаментов в условиях замачивания, достаточно близки.

Исследование начального просадочного давления по разрезу лессовой толщи показало, что наряду с вышеотмеченной вариантностью его величин по площади, наблюдается также вариация значений в зависимости от глубины. Установлено, что величина начального просадочного давления на разных глубинах просадочной толщи различна и обусловлена она наличием в разрезе горизонтов ископаемых почв или прослоев, сложенных более опесчаненными или глинистыми грунтами. В основном же начальное просадочное давление по глубине толщи возрастает.

Начальное просадочное давление различных по составу грунтов изменяется по глубине неодинаково. У тяжелых и средних суглинков в интервале 2–5 м P_oпр составляет 1,25–1,50 кг/см^2 и только на глубине более 6 м увеличивается до 1,75–2,30 кг/см^2. У легких суглинков до 10 м P_oпр выдерживается в пределах 0,60–0,8 кг/см^2 и только на большей глубине возрастает до 1,85 кг/см^2.

Величина начального просадочного давления зависит от влажности и плотности грунта в его природном залегании.

Анализ зависимости начального просадочного давления от плотности (коэффициента пористости) свидетельствует о характере изменения P_oпр при различных интервалах степени влажности. Следует отметить, что более заметно проявляется зависимость от плотности у легких и средних суглинков при малых

величинах степени влажности (G = 0,2–0,4). Аппроксимирующая линия имеет наибольший угол наклона к оси абсцисс; с ростом степени влажности теоретическая линия проходит более полого. Еще более полого прослеживается линия регрессии у тяжелых суглинков, причем, практически почти не изменяясь для всех интервалов влажности.

Следовательно, начальное просадочное давление, в зависимости от плотности, при рассмотрении того или иного литологического типа количественно изменяется плавно; лучше эта зависимость проявляется в сравнении литологических разновидностей суглинков.

Более четкая количественная зависимость проявляется у начального просадочного давления и степени влажности грунтов. Эмпирические кривые, аппроксимированные уравнением прямой линии, имеют большой угол наклона к оси абсцисс. Графики зависимостей свидетельствуют об увеличении P_oпр с ростом степени влажности грунтов. Так, у легких суглинков оно увеличивается с 0,7 кг/см^2 при G = 0,2 до 1,5 кг/см2, при G = 0,65, у тяжелых — с 1,5 кг/см^2, при G = 0,25 до 2,5 кг/см^2 (G = 0,75).

Эмпирические зависимости P_oпр = f(ξ) и P_oпр = f(G) аппроксимированы уравнением прямой вида

P_oпр = Po' + AG — Bξ,

где P'o = 1,55 кг/см^2 (для легких суглинков),

P'o = 1,95 кг/см^2 (для средних —»—),

P'o = 2,45 кг/см^2 (для тяжелых —»—),

A и B — параметры прямой: A = 1; B = 1.

Тогда уравнение принимает вид:

P_oпр = P'o + G — ξ.

Установленные закономерности изменения P_oпр, в зависимости от плотности и степени влажности при различных интервалах последних, позволили составить таблицу величин начального просадочного давления для лессовых просадочных грунтов раз-

личных литологических типов исследуемого региона (см. приложения, таблица 9).

На основании выполненного большого объема исследований по определению начального просадочного давления для сокращения лабораторных работ можно рекомендовать величины $P_{о}$пр различных литологических типов грунтов по региону следующие: для суглинков:

легких 0,5–1,0 кг/см^2;
средних 1,25–1,75 кг/см^2;
тяжелых 2,0–2,5 кг/см^2.

Результаты определения начального давления представлены на графике bпр = f(P), на котором по оси ординат отсекается величина относительной просадочности, равная 1 %, а на оси абсцисс соответствующее ей начальное просадочное давление,

В настоящее время при проектировании и строительстве зданий и сооружений все шире используется начальное просадочное давление.

Следует заметить, что экспериментальные исследования и практика строительства показывают, что при суммарном давлении в грунте, создаваемом внешней нагрузкой (Pz) и собственным весом грунта (Рб), меньшем величины начального просадочного давления ($P_{о}$пр), просадки не наблюдаются и, наоборот, при большем суммарном давлении — при замачивании получаются значительные просадки грунта. Это положение имеет важное значение для практики проектирования и строительства на грунтах I типа просадочности. Так, уменьшение расчетных нагрузок под фундаментами до величины меньше начального давления может быть использовано как одно из мероприятий предупреждения просадок. В этом случае рекомендуется применение уширенных фундаментов, грунтовых подушек, подушек из силикатированного грунта и др. Необходимо, чтобы проектирование осуществлялось с учетом начального просадочного давления грунтов при обязательном соблюдении условия — Pz + Рб — $P_{о}$пр по подошве подушек.

Как следует из вышеизложенного, использование начального просадочного давления при разработке различных мероприятий по подготовке просадочных оснований I типа в пределах активной зоны позволяет уменьшить ее размеры по сравнению с рекомендуемыми в пособии СНиПа; последнее дает возможность применения более эффективных и экономичных вариантов при проектировании.

2.5. Деформации зданий на лессовых грунтах

При изучении причин деформаций зданий на лессовых просадочных грунтах выявлено, что ими являются: низкий уровень инженерно-геологических изысканий, некачественное проведение работ нулевого цикла (длительное стояние открытых котлованов с замачиванием, промораживание основания, неправильная засыпка и Уплотнение пазух фундаментов) и ряд других нарушений, связанных с отступлением от норм производства работ на просадочных грунтах; кроме того, неправильная эксплуатация зданий, особенно подземных трубопроводов, аварии которых нередко приводят к недопустимому увлажнению грунтов оснований.

При анализе деформированных зданий устанавливался характер деформаций, изучались инженерно-геологические заключения, определялись размеры фундаментов и нагрузки на них, а также несущая способность оснований. Выявлено, что деформировались здания, выстроенные на грунтах как I, так и II типа по просадочности при небольшой просадочной толще (не более 5 м) и малых нагрузках. Деформации зданий возникали в ходе строительства — при замачивании котлованов атмосферными водами, в процессе эксплуатации как сразу после строительства, так и через несколько лет, при утечке воды из инженерных коммуникаций. Некоторые здания получили деформации спустя десятки лет после сдачи в эксплуатацию из-за того, что от поднятых дорог и тротуаров не был дан сток атмосферным водам. Примером мо-

гут служить восьмиквартирные жилые дома по ул. Клыкова, здания школы и дорожного управления по ул. Губаревича в г. Элисте и другие.

Выявлены деформации, которые здания получили при сильном локальном кратковременном увлажнении, они носят замедленный характер. Иногда по окончанию замачивания, через некоторое время деформации оснований и зданий прекращаются; нередко они происходят и от источников, расположенных на значительном расстоянии от зданий.

Чаще деформации выражаются в виде трещин по наружным и внутренним стенам, причем раскрытие их у карнизов больше, чем в цокольной части, размеры колеблются от нескольких долей миллиметра до 20 см. Как правило, трещины идут по наиболее ослабленным участкам зданий (подоконной части, простенкам), начинаются от подошвы фундаментов и наибольшей величины достигают у карнизов. Трещины наблюдаются в примыканиях поперечных стен к продольным, между железобетонными плитами перекрытий, под опорами перемычек и прогонов, в отдельных случаях отмечается перекос оконных и дверных проемов, опускание полов, перегородок. Деформации зафиксированы в зданиях промышленного и гражданского назначения, имеющих различные конструктивные схемы, этажность. В большинстве случаев деформации зданий не представляют опасности, но есть факты и аварийного состояния.

В результате анализа установлено, что нормативные давления по формулам (12) и (13) СНиПа с учетом инженерно-геологических данных, заглубления и ширины фундаментов деформированных зданий, не соответствуют средним давлениям на подошву фундамента, определенным по нормативным нагрузкам и его размерам: нормативные сопротивления намного выше средних давлений.

При анализе несущей способности оснований деформированных зданий были получены также значения начального просадочного давления применительно к основаниям деформированных

зданий, (см. приложения). Сопоставление величин P_oпр со средними давлениями по подошве фундаментов свидетельствует о том, что значения последних несколько ниже, сравнение же этих величин и размеров деформаций зданий показывает, что несущая способность оснований довольно низка.

Как видно из приложений, деформации получали здания, выстроенные на легких и средних суглинках. На тяжелых лессовых суглинках, очевидно, деформаций зданий не произошло вследствие низкого среднего давления по подошве фундаментов.

Причиной деформаций явилось и то, что в пределах одного здания величины средних давлений под фундаментами стен неодинаковы, вследствие чего нарушается принцип работы «основание — здание». Величины осадки и просадки под фундаментами в пределах одного здания различны. Этим объясняется, что, как правило, трещины имеются в пересечениях продольных и поперечных стен.

При анализе собранных материалов отмечается, что большое значение имеет заглубление фундаментов. Так, при прочих равных условиях чаще деформируются здания, имеющие небольшое заглубление, ибо замачивание верхних слоев грунта атмосферными водами происходит обязательно. Деформации зданий зависят от несущей способности оснований, которая связана с изменением природной влажности грунтов, влажность же грунтов не остается в период эксплуатации постоянной.

Нами исследовалось изменение влажности под деформированными зданиями (см. приложения) через несколько лет после строительства. Резкое повышение влажности наблюдается в верхней зоне, на глубине 5–6 м она сравнивается с первоначальной. Максимальное увеличение влажности наблюдается в наиболее напряженной зоне под подошвой фундаментов.

Большое влияние оказывают и сезонные температурные колебания. В жаркое летнее время при относительной влажности воздуха 30 % происходит интенсивное испарение влаги из грунтов,

которые растрескиваются до глубины 2–3 м, отмечается усадка. При увлажнении же резко уменьшается несущая способность основания и здание деформируется.

Деформации оснований носят провальный характер или замедленный, протекающий в течение нескольких лет. Так, при аварийном локальном замачивании грунтов II типа просадочности, служивших основанием здания клуба в поселке Ики-Бурул, произошел интенсивный разрыв стен здания, причем в уровне карниза раскрытие трещин достигло 8 см; на столько же угловая часть здания вышла из плоскости стены. После ликвидации замачивания деформации быстро прекратились. На грунтах II типа просадочности в п. Бага-Бурул при систематическом замачивании атмосферными и фекальными водами здание интерната на 80 мест постепенно деформировалось. В течение двух лет торцовая стена отклонялась от первоначального положения, после чего ее крен в уровне карниза составил 16,5 см, и произошла просадка грунтов на 16 см.

Монолитный железобетонный на прочной полутораметровой подготовке напорный резервуар в г. Элисте, построенный на грунтах II типа просадочности, получил многочисленные трещины аварийного характера. Утечка годы происходила через дренажные колодца в течение нескольких лет, столько же продолжались деформации. В настоящее время резервуар не эксплуатируется, а для восстановления его требуются значительные затраты средств. Как уже отмечалось, в грунтовых условиях II типа даже при всех выполненных водозащитных и конструктивных мероприятиях здания все-таки при интенсивном замачивании деформируются.

Различный характер проявления деформаций наблюдается в постройках различных конструктивных схем. У зданий с неполым каркасом, и крупнопанельных деформации протекают значительно быстрее, чем у зданий с продольными несущими стенами, т. е. зданий гибких конструктивных схем. Установлено, что в случае просадки под действием собственного веса грунта, деформа-

ции любых конструкций, расположенных в зоне просадки, опасны для их статической устойчивости. Поэтому проектирование должно осуществляться с учетом конкретных условий эксплуатации намеченного к строительству здания и вероятности замачивания грунта в его основании. При этом нужно устанавливать мощность просадочной толщи, степень просадочности по глубине, учитывать опыт строительства в данном районе и ряд других данных, необходимых для проектирования на просадочных грунтах.

Выводы по главе 2

Результаты лабораторного определения начального просадочного давления были проверены в природных условиях. Как видно величины начального просадочного давления грунтов в различных пунктах исследуемого региона, установленные лабораторным путем и определенные непосредственными замерами дополнительных осадок опытных фундаментов в условиях замачивания, достаточно близки.

Заключение

Особенности лессовых грунтов на территории Республики Калмыкии характеризуется значительным разнообразием грунтовых условий. В западной части территории республики значительное распространение имеют лессовые грунты, которые прослеживаются широкой полосой на крутом восточном склоне Ергенинской возвышенности.

Список литературы

1. Абелев Ю. М., Абелев М. Ю. Основы проектирования и строительства на просадочных макропористых грунтах. М., Стройиздат, 1968.

2. Абелев Ю. М., Круглов И. Н. Способ механического уплотнения маловлажных, насыпных и других рыхлых грунтов с помощью станков ударно-канатного бурения. Материалы совещания по закреплению и уплотнению грунтов. Тбилиси, 1964.

3. Ананьев В. П. Водорастворимые минералы (соли) в лессовых породах. — В кн.: Воп. исслед. Лессовых грунтов/В. П. Ананьев. — Ростов-на-Дону: РГУ, 1973. — С. 35–40.

4. Аскалонов В. В. Силикатизация лессовых грунтов. М., Госстройиздат, 1969.

5. Бадаев Л. Г., Царев П. В. Лессовые породы Центрального и Восточного Предкавказья. М., «Наука», 1964.

6. Бартоломей А. А. Исследование несущей способности боковой поверхности свай и сопротивление острия при их работе в составе свайного фундамента. Техн. информ, Главзападуралстроя, № 43, 1966.

7. Бекетов А. К., Фомичева Р. Ф. Корреляционная зависимость между модулем деформации и их физическими свойствами. В сб. «Основания и фундаменты. Строительство на просадочных грунтах». Ростов-на-Дону, (Ростовский Промстройниипроект). 1970.

8. Бекетов А. К., Голованов А. М., Зеленский В. Ю., Поляков В. Л. Совершенствование технологии силикатизации лессовых грунтов. «Основания, фундаменты и механика грунтов», Ростиздат, 1967, № 6.

9. Бекетов А. К., Голованов А. М., Зеленский В. Ю., Поляков В. Л. Экспериментальное строительство жилого крупнопанельного дома на фундаменте из закрепленного грунта. В сб. «Строительство на просадочных грунтах». Ростов-на-Дону, 1967.

10. Бекетов А. К., Голованов А. М., Илишкина В. М., Фомичева Р. Ф. Силикатизация лессовых грунтов И типа просадочности. В сб. «Проблемы капитального строительства в Калмыкии». Элиста, 1972.

11. Бекетов А. К., Голованов А. М., Фомичева Р. Ф., Илишкина В. М. Применение однорастворного способа силикатизации в лессовых грунтах II типа просадочности. В сб. «Конструкции промышленных зданий», Ростов. на-Дону (Ростовский Промстройниипроект), 1971.

12. Бекетов А. К., Кузин Б. Н., Селезнев А. Ф. Прогноз осадок лессовых грунтов, закрепленных силикатизацией с учетом ползучести. В сб. «Конструкции промышленных зданий». Ростов-на-Дону, (Ростовский Промстройниипроект), 1971.

13. Бекетов А. К., Фомичева Р. Ф. Влияние физических характеристик грунтов на параметры сопротивления сдвигу. В сб. «Основания и фундаменты. Строительство на просадочных грунтах». Ростов-на-Дону (Ростовский Промстройниипроект). 1970.

14. Белов А. А., Маскайкин В. Н. Инженерная подготовка заболоченных и заторфованных территорий (на примере Республики Мордовия) [Электронный ресурс]/А. А. Белов, В. Н. Маскайкин // Современные проблемы территориального развития: электорн. Журн. — 2018. — № 1. — С. 1–8.

15. Болдырев Г. Г. Механика грунтов. Основания и фундаменты (в вопросах и ответах) [Текст]: учеб. пособие/Г. Г. Болдырев, М. В. Малышев. 4-е изд., перераб. и доп. — Пенза: ПТУ АС, 2009. — 412 с.

16. Воляник В. Е., Коптелова С. Н. Строительные свойства лессовых грунтов Северного Кавказа. Ростиздат, (Ростовский Промстройниипроект), 1965.

17. Воляник В. Е., Улиткин Г. К. Изучение работы свай в лессовых грунтах. В сб. № 8 «Основания и фундаменты». Ростов-на-Дону, (НИИ по строительству), 1964.

18. Воляник В. Е., Фомичева Р. Ф. Изменение начального просадочного давления по разрезу лессовой толщи. В сб. «Строительство на просадочных грунтах. Основания и фундаменты». Ростов-на-Дону, (Ростовский Промстройниипроект), 1967.

19. Воляник Н. В. Определение глубины зоны просадочной деформации и величины просадки в основаниях фундаментов. В сб. «Основания и фундаменты. Строительство на просадочных грунтах». Ростов-на-Дону, (Ростовский Промстройниипроект), 1970.

20. Галицкий В. Г., Круглов И. А., Эйдук Р. П. Глубинное уплотнение просадочных грунтов станками ударно-канатного бурения. «Основания, фундаменты, механика грунтов», 1966, № 4.

21. Гидрогеологические и инженерно-геологические условия территории городов. Методы изучения и прогноза изменений./ответ. ред. А. А. Коноплянцев, Г. Л. Кофф. Москва «Наука», 1989. — 120 с.

22. Гильман Я. Д., Косаренко Г. И. Применение буронабивных свай для зданий, строящихся в сложных гидрогеологических условиях В сб. «Межотраслевые вопросы строительства», вып. 6, М. (ЦИНИС). 1970.

23. Голованов А. М., Фомичева Р. Ф. Исследование строительных свойств силикатированных лессовых грунтов. В сб. «Основания и фундаменты. Строительство на просадочных грунтах». Ростов-на-Дону, (Ростовский Промстройниипроект). 1970.

24. Голованов А. М., Гороховская И. Н. Экспериментально е определение величины сцепления по боковой поверхности фундаментов из закрепленного грунта с незакрепленным. В сб. «Совершенствование пром. зданий и их конструкций на химических предприятиях», Ростов-на-Дону, 1972.

25. Гольдштейн М. Н. Расчеты осадок и прочности оснований зданий и сооружений [Текст]/М. Н. Гольдштейн, С. Г. Кушнер, М. И. Шевчен-ко. — Киев: Изд-во «Будивельник», 1977. — 208 с.

26. Дежин Ю. В. Свайные фундаменты КПД в условиях просадочных грунтов Ростовской области. Ростов-на-Дону, (РИСИ). 1964.

27. Дорджиев А. А., Дорджиев А. Г., Сангаджиев М. М., Арашаев А. В., Эрдниев О. В., Киселева А. М. Ионно — солевой комплекс глинистых грунтов и его изменение при выщелачивании солей. // Журнал: «Инновации и инвестиции» № 3, 2018 г. — С. 208–213.

28. Зурнаджи В. А, и др. Основания и фундаменты на лессовых просадочных грунтах Ростов-на-Дону, изд-во РГУ, 1968. (РИОИ).

29. Илишкина В. М. К вопросу проектирования на лессовых просадочных грунтах. В сб. «Проблемы капитального строительства в Калмыкии». Элиста, Калмгосуниверситет, 1972.

30. Илишкина В. М. О деформациях зданий в г. Элисте. В сб. «Основания и фундаменты» Ростов-на-Дону, (Ростовский Промстройниипроект). 1970.

31. Кириллов А. А., Фролов Н. Н. Гидротехнические сооружения на оросительных системах в лессовых просадочных грунтах. М., Сельхозгиз, 1963.

32. Климатическая база данных, http://ru.climate-data.org /region/686 (дата посещения — 25.07.2022).

33. Козленко В. А. Возведение фундаментов на сваях с уширенной пятой. В сб. «Новые виды свайных фундаментов». Киев, «Будивельник», 1956.

34. Коломенский Н. В. Инженерная геология. Часть I и II. Госгеолтехиздат. М., 1956.

35. Коптелова С. Н., Фомичева Р. Ф. Осредненные кривые зависимости просадочностя лессовых грунтов от давления. В сб. «Строительство на просадочных грунтах. Основания и фундаменты». Ростов-на-Дону, (Ростовский Промстройниипроект). 1967.

36. Криулин К. Н. Дренажные системы в ландшафтном и коттеджном строительстве. СПб., 2013. — 120 с.

37. Крутов В.И. О несущей способности уплотненных лессовых грунтов. «Промышленное строительство», 1967, № 9.

38. Крутов В.И. Предложения по определению величины начального давления просадочных грунтов. «Строительство и архитектура Узбекистана», 1960, № 6.

39. Крутов В.И., Власов Ю.В. Возведение столбчатых фундаментов в котлованах, вытрамбованных в просадочных грунтах, М., Стройиздат, 1969.

40. Кузин Б.Н., Голованов А.М., Илишкина В.М., Поляков В.Л. Проектирование искусственных оснований и фундаментов из закрепленного силикатизацией лессового суглинка II типа просадочности. В сб. «Основания и фундаменты». Ростиздат. 1973.

41. Кулеев М.Т. Опыт закрепления лессовых грунтов водными растворами карбамидной смолы. В сб. № 50 «Закрепление грунтов», М., Госстройиздат (НИИОСЛ). 1962.

42. Кумеев С.С., Дорджиев А.Г., Сангаджиев М.М., Дорджиев А.А. Характеристика фильтрации жидкости в слабопроницаемых грунтах на примере г. Элиста. // Геология, география и глобальная энергия. Научно- технический журнал. 2012. № 4 (47). Астраханский государственный университет, издательский дом «Астраханский университет» 2012. — С. 223–230.

43. Литвинов И.М. Изменение свойств просадочных грунтов по глубине после их уплотнения способом предварительного замачивания с энергией взрывов. Материалы к VI Всесоюзному совещанию по закреплению и уплотнению грунтов. М., Изд-во МГУ, 1968.

44. Пособие по проектированию оснований и фундаментов зданий и сооружений на просадочных грунтах. М., Стройиздат,,1964.

45. Рак С.М. Исследование работы свай. М., Машстройвздат, 19501.

46. Ржаницын Б. Н. Закрепление грунтов в условиях естественного залегания. «Основания, фундаменты и механика грунтов», 1962), № 4.

47. Рубинштейн А. Я., Канаев Ф. С. Инженерно-геологические изыскания для строительства на слабых грунтах. — М.: Стройиздат, 1984. — 108 с., ил.

48. Руководство по проектированию свайных фундаментов зданий и сооружений, возводимых на просадочных грунтах. 1969. (НИИОСП).

49. Сангаджиев М. М. Особенности недропользования на территории Республики Калмыкия [текст]/М. М. Сангаджиев. — Элиста. Изд-во Калм. ун-та, 2015. — 144 с.: ил.

50. Сангаджиев М. М. Пески, суховеи, их влияние на экологическую ситуацию регионов Прикаспия и Северного Кавказа. // Материалы Всероссийского форума с международным участием. «Экологоэкономический потенциал экосистем Северо-Кавказского Федерального округа, причины современного состояния и вероятные пути устойчивого развития социоприродного комплекса», посвященного 75-летию со дня рождения Первого Президента Республики Дагестан Муху Гимбатовича Алиева. 24–27 сентября 2015 г. — Махачкала: Типография ИПЭ РД «Экопресс» 2015. — С. 175–179.

51. Сангаджиев М. М. Песок Калмыкии. // Антропогенная трансформация геопространства: история и современность [текст] материалы Всероссийской научно-практической конференции г. Волгоград, 28–29 апреля 2014 года/редкол.: С. Н. Конищев (отв. ред.) [и др.]; Федер. гос. авт. образоват. учреждение высш. проф. образования «Волгоград. Гос. Ун-т». — Волгоград: Изд-во ВолГУ, 2014. — С. 142–146.

52. Сангаджиев М. М., Эрдниева Г. Е., Эрдниев О. В., Лиджиева Н. С., Манджиева А. И. Анализ климатических особенностей в Республике Калмыкия, Россия. // Open science 2.0:

collection of scientific articles. Vol. 3. Raleigh, North Carolina, USA: Open Science Publishing, 2017. — pp. P. 98–106.

53. Сангаджиев, М. М. Пустыни Калмыкии:/монография; Калмыцкий государственный университет им. Б. Б. Городовикова. СПб: Сциентиа, 2022–108 с. ISBN 978–5–6045762–7–4

54. Соколова Л. Ф., Ненаркова К. Н., Галковская О. В. Подтопление как одна из инженерно-геологических проблем развития г. Москвы. // Гидрогеологические и инженерно-геологические условия территории городов. Методы изучения и прогноза измерений. Издво «Наука», Москва 1989. — С. 80–84.

55. Соколович В. Е. Роль гипса в процессе закрепления лессовых грунтов силикатизацией. Материалы совещания по закреплению и уплотнению грунтов. Тбилиси, 1964,

56. Соколович В. Е., Чаликова Е. С., Вебер И. Б. Повышение эффективности силикатизации лессовых грунтов. Материалы к V совещанию по закреплению и уплотнению грунтов. Новосибирск, 1966.

57. Справочник по инженерной геологии. М., «Недра», 1968.

58. Тимошенко С. П. Теория упругости. М., ОНТИ,

59. Трофименко Ю. Г., Ободовский А. А. Свайные фундаменты для жилых и промышленных зданий. М., Стройиздат, 1970.

60. Финаев И. В., Канаков Г. В. Экспериментальные исследования несущей способности одиночных свай в лессовых грунтах. Ж. «Основания, фундаменты и механика грунтов», М., 1966, № 3.

61. Фомичева Р. Ф. Зависимость величины относительной просадочности грунтов от влажности. В сб. «Основания и фундаменты. Строительство на просадочных грунтах». Ростов-на-Дону, (Ростовский Промстройниипроект). 1970.

62. Фомичева Р. Ф. Изучение, просадочности лессовых грунтов по методу одной и двух кривых Сб. № 8 «Основания и фундаменты». Ростов-на-Дону, (НИИ по строительству). 1963.

63. Фомичева Р. Ф. Инженерно-геологическая характеристика территории г. Элисты. В сб. «Вопросы исследования лессо-

вых грунтов оснований и фундаментов», вып. 2. Ростов-на-Дону, (РИСИ). 1969.

64. Фомичева Р. Ф. К методике определения начального просадочного давления грунтов в лабораторных условиях. «Проектирование фундаментов промышленного строительства», Обзорн. вып. Главпромстройпроекта Госстроя СССР. М., 1066.»

65. Фомичева Р. Ф. К методике оценки просадочности лессовых пород. «Строительство и архитектура Узбекистана», 1967, № 10.

66. Фомичева Р. Ф. О применении показателей сопротивления сдвигу грунтов при расчете их несущей способности. «Строительство и архитектура Узбекистана», 1968, № 10.

67. Фомичева Р. Ф. Расчет модуля деформации грунтов по лабораторным данным. Доклады (тезисы) XXVIII научно-технической конференции НИМИ. Новочеркасск, 1967.

68. Фролов Н. Н. К вопросу определения просадочности лессовых грунтов. В сб. «Вопросы строительства на лессовых грунтах». Матер. Всесоюзной научной межвуз. конференции. Воронеж, 1968.

69. Фролов Н. Н. Проектирование оснований и фундаментов гидромелиоративных сооружений, М., «Колос», 11967.

70. Харченко В. М., Дорджиев А. Г., Сангаджиев М. М., Дорджиев А. А. Инженерно-геологическое районирование территории Калмыкии [текст]/В. М. Харченко, А. Г. Дорджиев, М. М. Сангаджиев, А. А. Дорджиев. — Элиста: Изд-во Калм. ун-та, 2012. — 212 с.

71. Циунчик Б. И. Влияние влажности на компрессию и просадочность макропористых лессовидных грунтов. «Известия вузов. Строительство и архитектура». 1961, № 2.

72. Цытович Н. А. Основания и фундаменты. М., Госстройиздат. 1959.

73. Чахвадзе Г. З. Сравнение различных методов оценки просадочных свойств лессовых грунтов. В сб. «Вопросы строительства на лессовых грунтах». Материалы Всесоюзной научной межвузовской конференции. Воронеж, 1963.

74. Шаевич Я. Е, Определение «начального давления» для просадочных грунтов Новосибирска. Ж. «Основания, фундаменты и механика грунтов», М., 1965, № 4.

75. Шехтер Е. Ю. Методы исследования механических свойств грунтов морского дна. М., Недра, 1983, 192 с.

76. Dordzhiev A. A., Dordzhiev A. G., Sangadzhiev M. M., Rubeko L. M., Onkaev V. A. Salt Composition of Clay Soils and Its Variation with Long-term Water Filtration. // Journal of Environmental Management and Tourism // Quarterly Volume IX Issue 1 (25) Spring 2018 ISSN 2068–7729 Journal DOI http://dx.doi.org/10.14505/jemt PP. 130–135.

77. Sangadjiev M. M., Onkaev V. A. Repubblica di Kalmykia Acque Sotterranee e Le Sue Caratteristiche Ambientali Geologiche. Italian Science Review. 2013; 9. — PP. 5–11. Available at URL: http://www.ias-journal.org/archive/2013/december/Onkaev. pdf

Таблица 1

2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Тихорецк	17–20	16–19	0,81	200×200	0,9	0,2	697	384	677	1,8	1,03
	17–20	16–19	0,81	200×200	0,9	0,2	697	212	575	3,3	1,2
Ростов н/Дону Пос. Чкалова	16–19	11–13	0,80	110×110	2,5	2,0	106	65	126	1,63	0,85
	16–19	11–13	0,80	100×500	1,0	0,4	106	63	124	1,69	0,86
	16–19	11–13	0,80	110×110	1,5	0,5	255	123	204	2,07	1,2
Ростов н/Дону (Западный) IV микрорайон	13–14	9–12	0,80	200×200	2,5	3,6	108	54	114	2,0	0,95
	13–14	9–12	0,80	200×200	2,5	3,7	105	55	109	1,92	0,96
	13–14	9–12	0,80	200×200	1,25	1,4	138	68	135	2,0	1,02
Штамп											
(Западный) V микрорайон	14–15	12	0,80	F=2500 см²	2,0	0,56	140	65	150	2,2	0,93
Ростов на/Дону Северный микрорайон	20	20	0,65	100×100	2,5	0,7	252	104	227	2,4	1,1

Примечание: Во всех пунктах испытаний грунтов основания суглинки просадочные, в Тихорецке и Северном микрорайоне г. Ростова-на-Дону — слабопросадочные.

Таблица 2

Физические свойства лессовых грунтов Ергенинской возвышенности

Литологические разновидности	Влаж-ность w,%	Объёмный вес грунта, г/см³		Удельный вес, γγ, г/ см³	Порис-тость	Коэфф-т пористости ξ	Степень влажности G	Влажн. на пред. текуч. wm,%	Влажн. на пред. раскат. wp,%	Число пластичности, Wn
		естественной влажности γw	сухого γск							
Западный склон (Ростовская область)										
Легкие пылеватые суглинки и супеси	13(18) / 2 – 13	1,56 – 1,95 / 1,72(78)	1,38 – 1,73 / 1,52(78)	2,67 – 2,72 / 2,70 (54)	36 – 49 / 44(81)	0,54 – 0,94 / 0,76(81)	0,24 – 0,60 / 0,43 (65)	25 – 33 / 29(84)	15 – 20 / 19(84)	8 – 10 / 10(84)
Средние пылеватые суглинки	8 – 19 / 13(98)	1,54 – 1,95 / 1,72(100)	1,39 – 1,66 / 1,52(100)	2,68 – 2,72 / 2,70(60)	36 – 50 / 44(109)	0,58 – 0,97 / 0,77(109)	0,20 – 0,60 / 0,47(97)	30 – 35 / 32(110)	16 – 23 / 19(110)	11 – 14 / 12(110)
Тяжелые пылеватые суглинки	10 – 19 / 14(38)	1,63 – 1,98 / 1,75(40)	1,39 – 1,75 / 1,54(40)	2,69 – 2,73 / 2,70(16)	36 – 49 / 43(41)	0,55 – 0,95 / 0,73(41)	0,36 – 0,66 / 0,49(34)	31 – 39 / 35 (35)	18 – 25 / 20 (35)	14 – 19 / 15 (35)
Восточный склон (Республика Калмыкия)										
Легкие пылеватые суглинки	3 – 19 / 10(188)	1,45 – 1,90 / 1,70(188)	1,37 – 1,76 / 1,55(193)	2–70	42	0,49 – 1,0 / 0,72(194)	0,1 – 0,58 / 0,32(188)	16 – 33 / 26(148)	12 – 22 / 18(174)	3 – 10 / 8 (150)
Средние пылеватые суглинки	5 – 19 / 11(117)	1,48 – 2,00 / 1,71(100)	1,34 – 1,79 / 1,5(110)	2–70	42	0,52 – 1,0 / 0,73(109)	0,19 – 64 / 0,39(109)	25 – 35 / 29(104)	14 – 23 / 17(112)	11 – 13 / 12(103)
Тяжелые пылеватые суглинки	9 – 22 / 14 (35)	1,63 – 2,10 / 1,83(34)	1,42 – 1,83 / 1,59(36)	2–70	41	0,51 – 0,90 / 0,69(36)	0,34 – 0,75 / 0,50 (35)	30 – 37 / 32(33)	14 – 22 / 18(34)	14 – 17 / 14(36)

Примечание: В числителе отмечены пределы колебаний показателей; в знаменателе — среднее арифметическое значение; в скобках — количество определений.

Таблица 3

Грунты	Пески	Супеси	Суглинки	Глины
Коэффициенты				
B	0,29	0,31	0,35	0,42
B	0,76	0,72	0,62	0,43

Таблица 4

Круг	Квадрат	Прямоугольник при разных значениях отношения α = 1: в					
		1,5	2	3	5	10	100
0,96	0,95	0.94	0,92	0,88	0,82	0,71	0,37

Таблица 5

Величины модулей деформации грунтов, определенные в полезных и лабораторных условиях

№№ п/п	Местоположение опытных фундаментов	Характеристика грунтов оснований			Размеры опытных фундаментов, см²	Нагрузка на грунт по подошве фунд, кг/см	Осадка, см	Модуль деформации грунтов, рассчит, по			$\frac{E_п}{E_л}$	
		Влажность в%	Число пластичности в%	Коэффициент пористости				Замер, по осадкам фунд	По общепринятой формуле (8)	По формуле автора (13)		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1	Сальск	16	15	0,88	150×150	3,0	1,4	249	102	214	2,3	1,16
		16	15	0,88	150×150	1,5	1,2	145	66	135	2,2	1,07
2	Элиста	8–10	9	0,78	200×200	2,5	2,1	184	105	200	1,75	0,92
3	Георгиевск	10–14	15	0,90	80×800	2,0	2,0	149	72	125	2,1	1,2
		10–14	15	0,90	150×150	2,0	2,0	116	70	123	1,66	0,95
4	Новочеркасск	16–18	14–17	0,80	150×150	2,5	1,7	170	107	218	1,6	0,86
		16–18	14–17	0,80	150×150	1,5	1,4	124	78	148	1,6	0,86
		16–18	14–17	0,80	250×250	1,5	1,2	250	117	237	2,1	1,04

Таблица 6

Значение коэффициента «К» в зависимости от давления на грунт

Литологические типы грунтов	Коэффициент «К» при нагрузках в кг/см²				
	0,5	1,0	1,5	2,0	3,0
Суглинки легкие	$\frac{0,08}{0,03-0,14}$	$\frac{0,25}{0,14-0,32}$	$\frac{0,45}{0,24-0,60}$	$\frac{0,66}{0,48-0,76}$	1,0
Суглинки средние	$\frac{0,06}{0,04-0,08}$	$\frac{0,13}{0,05-0,24}$	$\frac{0,37}{0,19-0,50}$	$\frac{0,58}{0,44-0,75}$	1,0
Суглинки тяжелые	-	$\frac{0,10}{0,07-0,20}$	$\frac{0,25}{0,08-0,40}$	$\frac{0,45}{0,3-0,7}$	1,0

Примечание: В знаменателе показаны принятые в расчет интервалы колебаний коэффициента «К» (верхний и нижний квартили).

Таблица 7

Величины относительной просадочности лесовых грунтов Республики Калмыкии и Ростовской области

Интервалы степени влажности	Относительная просадочность в%											
	Коэффициенты пористости											
	0,65	0,71	0,81	0,91	0,65	0,71	0,81	0,91	0,65	0,71	0,81	0,91
	0,70	0,80	0,90	1,0	0,70	0,80	0,90	1,0	0,70	0,80	0,90	1,0
	Нагрузка в кг/см²											
Легкие												
0,20–0,30	1,8	2,3	2,8	3,3	3,4	5,0	7,0	9,0	4,5	6,1	8,5	7,0
0,31–0,40	1,6	1,8	2,2	2,7	2,8	4,2	6,3	8,2	4,0	5,3	7,0	6,8
0,41–0,50	1,2	1,5	1,8	2,1	2,6	3,5	4,7	5,5	3,4	4,5	5,6	6,5
0,51–0,60	0,8	1,0	1,3	1,7	1,8	2,5	3,8	4,5	2,5	3,3	4,4	5,5
Средние												
0,20–0,30	1,2	1,5	2,0	2,5	3,3	4,0	4,8	5,5	5,2	6,0	7,0	-
0,31-,40	1,0	1,3	1,5	2,0	2,8	3,5	4,0	4,8	4,8	5,3	6,2	-
0,41–0,50	0,7	1,0	1,1	1,4	2,1	2,8	3,5	4,0	3,8	4,3	5,0	-
0,51-,60	0,5	0,7	0,9	1,1	1,4	2,0	2,7	3,5	3,0	3,5	4,0	-
0,61–0,70	0,4	0,5	0,6	0,7	1,1	1,5	2,0	2,4	2,5	2,7	3,0	-

Тяжелые												
0,30–0,40	-	1,0	1,3	1,5	-	2,2	2,8	3,0	2,8	3,2	3,7	4,5
0,41–0,50	-	0,6	1,0	1,2	-	1,8	2,3	2,7	2,6	3,0	3,5	4,2
0,51–0,60	-	0,4	0,6	0,7	-	1,4	1,8	2,0	2,0	2,5	3,2	4,0
0,61–0,70	-	0,3	0,5	0,6	-	1,0	1,2	1,3	1,7	2,1	2,6	3,2

Таблица 8

Начальное просадочное давление лесовых грунтов

Пункты исследований	Ро пр кг/см²	
	По лабораторным данным	По замерам опытных фундаментов
1. Элиста	0,6–0,8	0,6
2. Сальск	1,3–1,5	1,5
3. Ростов-на-Дону	1,2–1,5	1,5
4. Новочеркасск	1,2–1,5	1,5
5. Азов	1,6	1,6

Таблица 9

Величины начального просадочного давления лесовых грунов Республики Калмыкии и Ростовской области

Интервалы степени влажности	Начальное просадочное давление в кг/см² при коэффициентах пористости грунта					
	0,65–0,70	0,70–0,75	0,75–0,80	0,80–0,85	0,85–0,90	0,90–1,0
	Легкие					
0,2–0,3	1,10	1,05	1,00	0,95	0,90	0,85
0,3–0,4	1,20	1,15	1,10	1,05	1,00	0,95
0,4–0,5	1,30	1,25	1,20	1,15	1,10	1,05
0,5–0,6	1,40	1,35	1,30	1,25	1,20	1,15
	Средние					
0,2–0,3	1,50	1,45	1,40	1,35	1,30	1,25
0,3–0,4	1,60	1,55	1,50	1,45	1,40	1,30
0,4–0,5	1,70	1,65	1,60	1,55	1,50	1,45
0,5–0,6	1,80	1,75	1,70	1,65	1,60	1,55

0,6–0,7	1,90	1,85	1,80	1,75	1,70	1,65
	Тяжелые					
0,3–0,4	2,00	1,95	1,90	1,85	1,80	1,75
0,4–0,5	2,10	2,0	2,00	1,95	1,90	1,85
0,5–0,6	2,20	2,15	2,10	2,05	2,00	1,95
0,6–0,7	2,30	2,25	2,20	2,15	2,10	2,05
0,7–0,75	2,40	2,35	2,30	2,25	2,20	2,15

Таблица 10

Несущая способность оснований деформированных зданий

Наименование показателя	Суглинки	
	легкие	средние
Давление в кг/см²: нормативное, рассчитанное по СНиПу ПБ.I-62 табл. (12) и (13)	$\frac{3{,}2-1{,}0\mathbf{3}}{2{,}9\mathbf{6}}$	$\frac{4{,}8-1{,}2\mathbf{3}}{3{,}\mathbf{6}}$
Среднее, рассчитанное по формулам [54] $\varphi=\frac{N}{F}$; $\frac{N}{F}$; $\varphi=\frac{N}{F}+\frac{M}{W}\frac{N}{F}+\frac{M}{W}$	$\frac{1{,}80-0{,}7\mathbf{5}}{1{,}1\mathbf{5}}$	$\frac{2{,}6-1{,}\mathbf{0}}{1{,}4\mathbf{8}}$
Начальное просадочное (по табл. 9)	$\frac{1{,}85-0{,}\mathbf{8}}{1{,}2\mathbf{6}}$	$\frac{2{,}15-1{,}2\mathbf{5}}{1{,}6\mathbf{2}}$

Примечание: В числителе приведены пределы значений, в знаменателе их среднеарифметические величины.

Таблица 11

Изменение влажности грунтов в процессе эксплуатации зданий

Глубина отпора грунтов в м.	Политехникум на 600 учащихся в г. Элисте		Проектный институт на 400 м в г. Элисте		Клуб на 300 мест в пос. Ики-Бурул		Интернат на 80 мест в пос. Бага-Бурул	
	1965 г. август	1970 г. июнь	1966 г. март	1970 г. ноябрь	1966 г. март	1970 г. апрель	1968 г. март	1972 г. июнь
1	11,4	16,2	9,5	18,4	8,7	17,5	9,4	16,7
2	12,1	16	11,0	16,8	9,2	17,8	10,2	16,5
3	13,2	16	12,2	18,4	9,8	15,8	11,6	14,3
4	14,2	16,2	14,7	18,4	10,2	14,8	13,9	14,2

Глубина отпора грунтов в м.	Политехникум на 600 учащихся в г. Элисте		Проектный институт на 400 м в г. Элисте		Клуб на 300 мест в пос. Ики-Бурул		Интернат на 80 мест в пос. Бага-Бурул	
	1965 г. август	1970 г. июнь	1966 г. март	1970 г. ноябрь	1966 г. март	1970 г. апрель	1968 г. март	1972 г. июнь
5	15,7	17,2	15,6	16,4	12,1	13,2	12,4	13,1
6	17,4	17,4	13,8	13,4	12,5	13,0	11,4	12,0
7	15,6	15,8	11,4	11,2	12,6	12,6	11,6	11,8
8	13,5	13,8	11,2	-	11,0	11,7	11,9	12,1

Таблица 12

Физико-механические свойства грунтов опытных площадок

Наименование показателя	Глубина в м.				
	2	4	6	8	10
Естественная влажность в%	9,2	11	14	14,5	15,5
Консистенция	-0,58	-0,46	-0,14	-0,14	-0,10
Объемный вес в г/см^3; При естественной влажности скелета	1,71 1,56	1,73 1,57	1,82 1,65	1,88 1,63	1,88 1,63
Пористость в%	42,3	42	41,7	42,5	41,5
Коэффициент пористости	0,73	0,73	0,72	0,71	0,71
Степень влажности	0,36	0,37	0,40	0,59	0,59
Пластичность в%: на границе текучести на границе раскатывания	28 15	29 16	31 17	31 17	31 17
Число пластичности	12	12	14	14	14
Относительная просадочность в% при давлении в кг/см^2; 1 2 3	 0,5 1,0 3,0	 0,35 1,1 2,0	 0,30 0,9 1,5	 0,15 0,7 1,3	 0,15 0,6 0,8
Сопротивление сдвигу: сцепление в кг/см^2: при естественной влажности в замоченном состоянии	 1,0 0,30	 0,77 0,24	 1,0 -	 0,87 0,23	 0,81 0,21
Угол внутреннего трения в град: при естественной влажности в замоченном состоянии	 20 19	 20 16	 22 18	 22 18	 22 18

Таблица 13

Изменение величины относительной просадочности в зависимости от удельного расхода силиката натрия

Нагрузка в кг/см^2	Относительная просадочность грунта в%			
	до закрепления	после закрепления раствором при удельном расходе силиката натрия в кг/м^3		
		15–25	26–35	36–45
1,0	2,5	0,5	0,4	0,1
2,0	4,5	0,9	0,8	0,7
3,0	5,8	1,2	0,8	0,6
5,0	7,5	1,3	0,9	0,5

Таблица 14

Параметры сопротивления сдвигу и модуль общих деформаций грунта, закрепленного при малом удельном расходе силиката натрия

Наименование показателей	Удельный расход силиката натрия в кг/м^3		
	15–25	26–35	36–45
Удельное сцепление в кг/см^2	0,25	0,45	0,52
Угол внутреннего трения в град.	23	23	23
Модуль деформации в кг/см^2	150	200	250

Примечание. Величины удельного сцепления, угла внутреннего трения, модуль деформации приведены для грунтов при степени влажности более 0,7 и в интервале коэффициента пористости 0,7–0,9.

Таблица 15

Физико-механические свойства грунтов сваи-опоры с расходом силиката натрия на расстоянии 1,2 м от центра

Наименование показателя	Глубина в м.				
	1	2	4	9	10
Природная влажность в%	12,5	11,4	14,4	16,1	16,9
Объемный вес в т/см^3 При естественной влажности скелета	1,77 1,57	1,70 1,54	1,60 1,44	1,76 1,52	1,75 1,50

Наименование показателя	Глубина в м.				
	1	2	4	9	10
Коэффициент пористости	0,72	0,75	0,87	0,76	0,80
Степень влажности	0,66	0,41	0,45	0,57	0,57
Сопротивление сдвигу в замоченном состоянии сцепление в кг/см^2 угол внутреннего трения в град.	0,06 22	0,10 20	0,06 22	0,10 23	0,03 23
Относительная просадочность в% при нагрузках в кг/см^2: 1,0 1,5 2,0 3,0 4,0 5,0	 0,3 0,3 1,1 1,8 3,1 -	 0,1 2,0 3,0 - - -	 0,1 0,1 0,1 - 0,5 -	 - 1,3 2,2 2,3 - -	 1,8 2,6 - - - -
Средние значения	0,4	1,1	1,7	2,0	3,1

Таблица 16

1	2	3	4	5	6	7	8	9
г. Элиста								
Влажность в%	12	24,2	-	-	15	24	15	24
Объемный вес, в т/м^3	1,7	1,85	-	-	2,05	2,1	1,75	1,9
Сопротивление сдвигу: удельное сцепление, в кг/см^3 угол внутреннего трения в град.	0,50 24	0,10 20	- -	- -	0,56 28	0,28 22	0,97 28	0,78 24
Нормативное сопротивление, в кг/см^2	4,7	1,5	-	-	6,1	2,9	8,6	6,3

Примечание. Нормативное давление на основание рассчитано для условного фундамента шириной B= 1 м и глубиной заложение h= 1,5 м по формуле (12) СНиП II-Б. 1–62.

Таблица 17

Прочностные характеристики лессовых грунтов

Наименование показателя	Грунт							
	естественного сложения		после трамбования		после укатки		силикатированный	
	природная влажность	в замоченном состоянии	природная влажность	в замоченном состоянии	природная влажность	в замоченном состоянии	природная влажность	в замоченном состоянии
г. Ростов-на-Дону								
Влажность в%	15,4	24,7	16	25,8	-	-	16,8	24,4

Наименование показателя	Грунт							
	естественного сложения		после трамбования		после укатки		силикатированный	
	природная влажность	в замоченном состоянии	природная влажность	в замоченном состоянии	природная влажность	в замоченном состоянии	природная влажность	в замоченном состоянии
Объемный вес в т/м^3	1,7	1,85	1,9	2,0	-	-	1,75	1,9
Сопротивление сдвигу: удельное сцепление, кг/см^2 угол внутреннего трения в град.	0,25 25	0,10 20	0,50 26	0,26 21	- -	- -	0,97 28	0,62 23
Нормативное сопротивление в кг/см^2	2,9	1,5	4,8	2,6	-	-	7,6	5

Таблица 18

Осадка глубинных реперов котлованах при замачивании грунтов до полного водонасыщения

Наименование показателя	Глубина заложения репера, в м.				
	0,5	2,0	4,0	6,0	8,0
Осадка в мм репера в котловане на грунтах: естественного залегания подготовленных силикатированными сваями	 700 35	 680 32	 660 30	 580 28	 450 11

Таблица 19

Влажность грунтов котлована с силикатированными сваями за завесой

Глубина отбора проб грунта, в м	Влажность грунта в % за противофильтрационной стенкой			Степень влажности грунта в зоне замачивания
	до замачивания	после замачивания		
		через полтора месяца	через два месяца	
1	-	12,0	12,2	0,98
2	9,7	12,0	12,2	0,98
3	8,3	10,1	10,0	0,92

Глубина отбора проб грунта, в м	Влажность грунта в % за противофильтрационной стенкой			Степень влажности грунта в зоне замачивания
	до замачивания	после замачивания		
		через полтора месяца	через два месяца	
4	8,7	10,3	10,1	0,93
5	7,5	9,2	9,1	0,80
6	9,6	9,8	9,9	0,88
7	-	9,3	9,5	0,84
8	10,2	11,2	11,4	0,89
9	-	12,2	12,8	0,85
10	12	12,9	13,2	0,90
11	-	12,9	12,8	0,84
12	9,8	12,2	12,4	0,88
13	-	13,2	13,1	0,81
14	8,0	13,2	13,2	0,83

Таблица 20

Параметры и трудоемкость закрепления грунтов через инъекторы и скважины

Наименование показателя	Нагнетание раствора через	
	инъекторы	скважины
Параметры закрепления: радиус, в м глубина, в м объем, в м	 0,5–0,6 5 5	 1–1,2 15 45
Количество операций цикла	46	10
Общая продолжительность цикла, в мин.	117	112
Трудоемкость закрепления в чел/дн на 1 м^3	0,125	0,017

Таблица 21

Стоимость, трудозатраты, механизмы, материалы нулевого цикла 80-ти квартирного крупнопанельного дома серии 1–464-А

Тип фундамента	Стоимость, в тыс. руб.	Трудозатраты, в чел. дн.	Эксплуатация машин в маш. см.	Расход материалов			Земляные работы	
				Бетон, в м^3	Железобетон, в м^3	Натриевое стекло, в т	Выемка, в м^3	Обратная засыпка, в м^3
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Свайным с растверком монолитным-								
верхним	57,5	591,5	92,1	35,8	202,0	-	1204	132
нижним	57,2	770,3	76,7	47,5	186,4	-	1139	163
сборным-								
верхним	58,1	855,6	110,0	19,2	210,0	-	1076	97
нижним	61,2	723,0	111,0	12,0	220,6	-	1117	155
Свайный безростверковый	62,0	705,4	146,4	32,4	377,96	-	1033	95
Ленточный железобетонный на трамбованном основании	46,8	655,2	124,8	31,8	202,0	-	1348	868

Таблица 21.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9
на грунтовой подушке Н=2 м (укатка)	48,8	783,0	221,7	31,8	202,0	-	4822	4499
на силикатированном грунте при расходе силиката натрия 35 кг/м^3	43,3	697,5	148	31,8	77,02	35	1139	191
с конструктивными и водозащитными мероприятиями	64,8	952	78,9	197,8	183,3	-	1841	2213,5

Таблица 22

Стоимость и объемы работ по подземной части гаража на 250 автомашин

Наименование показателя	Варианты		
	Массив высотой 16 м с ликвидированной просадочностью q=35 кг/м^3)	Противофильтрационная завеса, подпольные каналы q=70 кг/м^3)	Железобетонные висящие сваи длиной 11 м, сечением 30×30
Сметная стоимость изменяемой части проекта, тыс. руб.	20,1	15,7	25,4
Объем закрепленного грунта, м^3	6700	4650	-
Расход жидкого стекла т.	194	232	-
Расход сборного железобетона, м^3	-	-	265,5

Научное издание

Дорджиев Анатолий Григорьевич
Сангаджиев Мерген Максимович
Арашаев Александр Владимирович

ОСОБЕННОСТИ ЛЕССОВЫХ ПРОСАДОЧНЫХ ГРУНТОВ КАЛМЫКИИ

Монография

Компьютерная верстка: Р. И. Газизов
Дизайн обложки: А. В. Сорокин

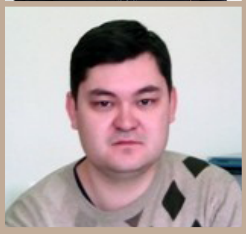
Подписано в печать: 25.12.2022 г.
Формат 60×84 1/16. Усл. печ. л. 5,23.
Тираж 500 экз., Заказ № 22/044.

Издательский дом «Сциентиа»
г. Санкт-Петербург, пер. Дегтярный, д. 22, литер А
Тел. +7 (812) 649-93-76
www.scientia-pub.org
email: info@scientia-pub.org

Отпечатано в типографии «Реноме»
г. Санкт-Петербург, наб. Обводного канала, д. 40

Дорджиев Анатолий Григорьевич
доцент, кандидат технических наук,
кафедра строительства инженерно-технологического факультета Калмыцкого государственного университета им. Б. Б. Городовикова

Сангаджиев Мерген Максимович
доцент, кандидат геолого-минералогических наук,
кафедра строительства инженерно-технологического факультета Калмыцкого государственного университета им. Б. Б. Городовикова



Арашаев Александр Владимирович
старший преподаватель, кандидат технических наук,
кафедра строительства инженерно-технологического факультета Калмыцкого государственного университета им. Б. Б. Городовикова

ISBN 978-5-6048667-7-1

9 785604 866771

SCIENTIA
ИЗДАТЕЛЬСКИЙ ДОМ