

УДК 624.131.43(470.620)

О. В. Панина^а, О. Л. Донцова^а, С. И. Махова^б

^а *Кубанский государственный университет*

^б *Волгоградский государственный технический университет*

АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ МЕТОДА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ПРОСАДОЧНОСТИ ГРУНТОВ ПО ФИЗИЧЕСКИМ СВОЙСТВАМ НА ТЕРРИТОРИИ КРАСНОДАРА

Метод определения относительной просадочности грунтов по их физическим свойствам основан на физических закономерностях просадочных свойств грунтов, которые регионально обобщены и обработаны при помощи математической статистики. Для расчетов было использовано 115 образцов тяжелого твердого суглинка, обладающего просадочными свойствами. В результате проведенного анализа была установлена эффективность метода определения показателей просадочности по физическим свойствам. Мера эффективности была определена путем сравнения значений с эталонными (лабораторными), а также путем графического анализа и сопоставления с нормативами. Тесные корреляционные связи, граничащие с функциональной зависимостью, высокая значимость уравнений позволяют определить характеристики просадочности по физическим свойствам грунтов для оперативного предоставления информации специалистам проектных организаций.

Ключевые слова: лессовые грунты, просадочность грунтов, физические свойства грунтов, лабораторные методы, расчетные методы, инженерно-геологические исследования, анализ методов.

В настоящее время в рамках инженерно-геологических исследований и проектирования зданий на лессовидных грунтах особо остро стоит вопрос об определении величины просадки толщи этих отложений. Данная проблема является актуальной в разных странах, и ей посвящено большое количество работ в России, США и Китае [1—5].

Как известно, существуют способы определения реальной просадки проектируемых сооружений, учитывающие просадочность только сжимаемой толщи лессовидных пород. В расчетные формулы в качестве одной из основных расчетных характеристик входит относительная просадочность лессовидных грунтов. Правильность определения этой характеристики во многом обуславливает точность вычисления вероятной просадки толщи и реальной просадки сооружений, а следовательно, обоснованность и экономность назначения противопросадочных мероприятий, обеспечивающих устойчивость проектируемых зданий.

Несмотря на большое влияние относительной просадочности на конечные результаты расчетов просадки сооружений или толщи грунта данная характеристика до настоящего времени определяется не с абсолютной точностью, так как методики испытаний не могут в полной мере учесть все условия просадки в естественной среде. Поэтому конечные результаты расчетов, особенно величины просадки толщи, являются неточными для назначения видов и объема противопросадочных мероприятий. Необходима разработка более точных способов определения относительной просадки лессовидных грунтов.

Решение поставленной задачи и дальнейшее совершенствование способов определения реальной просадки проектируемых сооружений следует проводить на основе всестороннего анализа и учета инженерно-геологических особенностей строительных площадок, природы прочности и изменения просадочности лессовидных пород, с учетом действия различных типов сооружений. В связи с этим, наряду с общими стандартными способами определения относительной просадочности и методами расчета просадки толщи, следует разрабатывать частные способы определения вероятной просадки различных типов сооружений, проектируемых на разных по свойствам и устойчивости лессовидных грунтах. Одновременно с лабораторными способами следует развивать полевые методы определения относительной просадки, в том числе штампами в шурфах и скважинах.

Как пример, для решения этих задач проведено сравнение расчетных и лабораторных методик определения просадочности грунтов, что позволило получить более полноценную информацию о состоянии лессовидных суглинков, распространенных на территории Краснодара. На основании этих исследований выбран наиболее эффективный метод получения информации о состоянии просадочных грунтов, что важно для выбора рациональных способов строительства на изучаемой территории на основе расчетных данных и лабораторных методов.

Авторами для достижения цели проведены следующие исследования:

- проведен анализ основных методов определения относительной просадочности;
- собрана информация о просадочных грунтах Краснодара;
- выполнены расчеты относительной просадочности различными методами;
- проведен сравнительный анализ использованных методов.

Инженерно-геологические условия территории

В рамках анализа инженерно-геологических условий территории авторами были проанализированы климатические особенности, рельеф территории, состав и состояние горных пород, а также геологические и инженерно-геологические процессы, влияющие на проектирование, строительство и эксплуатацию объектов.

По климатическим особенностям, согласно СП 131.13330.2012 «Строительная климатология», среднегодовая температура воздуха за многолетний период составляет 11,1 °С. Среднемесячная температура самого холодного месяца, января, составляет –16 °С, самого теплого, июля, равна +23,3 °С.

Абсолютный максимум температуры воздуха достигает +42 °С, абсолютный минимум составляет –36 °С. Амплитуда колебания абсолютных температур воздуха 78 °С. Средняя максимальная температура наиболее жаркого месяца +29,8 °С¹.

В геоморфологическом отношении район исследования относится к провинции Предкавказья к области Приазовской низменной дельтовой равнины и приурочен к третьей правобережной надпойменной террасе реки Кубань,

¹ СП 131.13330.2012. Свод правил. Строительная климатология. Актуализир. ред. СНиП 23-01-99*. М. : ГУП ЦПП, 2012. 113 с.

в пределах города выделяются: пойма, вторая надпойменная (II НПТ) и третья надпойменная (III НПТ) террасы правобережья Кубани².

Пойма расположена в южной части города и является естественной его границей, она непосредственно примыкает к руслу реки. Низкий уровень пойм сохраняется на отдельных локальных участках. В целом же ее ровная поверхность понижается к Кубани, абсолютные отметки изменяются от 22,3 до 19,6 м. На поверхности поймы наблюдаются небольшие протоки, песчаные валы, на незначительных участках сохранился пойменный лес. Максимальная ширина поймы достигает 2,0 км, а превышение ее над руслом реки не более 0,7...1,0 м.

Рельеф поймы в настоящее время почти повсеместно сильно изменен хозяйственной деятельностью: местами осуществлен намыв песка из русла Кубани, на ее поверхности расположены свалки, рисовая система, поливные сельхозугодья, проложены как оросительные, так и дренажные каналы. Пойма застроена частично: это районы улиц Захарова, Индустриальной, Адыгейской набережной, а также узкой полосой по улице Кубанонабережной. На пойме расположены и городские парки: им. 50 лет Октября, 40-летия Победы, им. М. Горького. Значительная часть поймы занята различными промышленными предприятиями.

Основная часть города расположена на II надпойменной террасе Кубани (II НПТ). Поверхность ее ровная, с уклоном в юго-западном направлении, отметки изменяются от 30,0...32,0 м в восточной части города до 24,0...28,0 м в западной. Превышение II НПТ над поймой от 3...4 до 5...6, а ширина в пределах города до 1,0...6,0 км. Бровка террасы достаточно четкая. Поверхность II НПТ Кубани в пределах города прорезается долиной реки Карасун — правобережным притоком Кубани. Карасун прорезает отложения II террасы Кубани. Ширина долин Карасуна в среднем 100...150 м, глубина вреза реки в отложения террасы от 10 до 15...18 м. Борты реки в верховьях задернованы, пологие, русло с отдельными небольшими зеркалами воды, с зарослями болотной растительности, некоторые участки превращены в бытовые свалки [6].

Северная часть города расположена на III террасе. Ее поверхность имеет уклон в южном направлении. В основном отметки поверхности террасы изменяются от 36,0 (на востоке) до 28,0...27,0 м (на западе). Превышение бровки террасы над II НПТ до 6 м. Ширина террасы в пределах города достигает 8 км.

Особенностями довольно плоских равнин II и III надпойменных террас является наличие неглубоких блюдцеобразных западин — просадочных воронок, имеющих правильную округлую форму, иногда эллипсовидную. Их размеры от нескольких метров до ста и более в диаметре, и отметки дна на 0,5...0,6 м (изредка до 1,0...1,5 м) ниже отметок окружающей территории.

Нередки просадочные воронки сложной формы: на общем фоне понижения рельефа имеются еще и отдельные вторичные воронки, протягивающиеся цепочками и вытянутые по основному понижению рельефа. Второй характерной особенностью рельефа террас Кубани является наличие вытянутой формы возвышенных участков. Превышения над общей поверхностью

² Антошкина Е. В. Эколого-геоморфологическая оценка городских территорий на юге России: на примере г. Краснодара : дис. ... канд. геогр. наук : 25.00.25. Краснодар, 2002. 260 с.

равнины от 0,7...1,0 до 1,5 м. Это останцы обтекания. Размеры таких возвышений от нескольких метров до 50...100 м и более [7].

Как воронки, так и возвышенные части террас играют существенную роль в геологических процессах: блюдцеобразные понижения являются зонами скопления атмосферных осадков, некоторые имеют свои ложбины стоков, сезонно заболачиваются. Как правило, возвышенные участки более сухие, мощность просадочной толщи на таких участках больше.

В просадочных блюдцах просадка либо отсутствует, либо значительно меньше.

Изучение *геологического строения* является прямой задачей для определения особенностей распространения и характеристик просадочных толщ на площади изучаемой территории. В тектоническом отношении район Краснодара находится в зоне Западно-Кубанского передового прогиба, сложенного мощной толщей мезокайнозойских отложений. Мощность отложений, образовавшихся в четвертичное время в районе Краснодара, колеблется от 40 до 80 м.

Четвертичные отложения на территории Краснодара следует разделить на следующие геолого-литологические комплексы:

- 1) отложения поймы Кубани (ПТ);
- 2) отложения II надпойменной террасы (II НПТ);
- 3) отложения III надпойменной террасы (III НПТ).

Гидрогеологические условия территории города определяются развитием водоносного горизонта грунтовых вод в покровных суглинках, супесях, песках, распространенных на площади второй и третьей террасы. Мощность обводненных отложений обычно составляет 5...8 м. Водоносные отложения в пределах большей части территории подстилаются водоупорными глинами мощностью 2...5 м.

На участке изысканий выявлены следующие опасные *геологические и инженерно-геологические процессы*: подтопление, просадка, сейсмичность.

Ввиду наличия в разрезе просадочных толщ, разного набора поверхностных вод и возможности повышения уровня грунтовых вод имеет место

просадка зданий. *Просадочность* — один из основных неблагоприятных физико-геологических процессов, развитых в отложениях II и III террас делювиально-эоловой фации. Проявляется она неравномерно: обычно достигает максимумов у бровок террас и склонов долины Карасуна, у эрозионных обрывов, т. е. там, где низкий уровень подземных вод и обеспечено постоянное дренирование территории. Особенностью распределения просадочных грунтов в пределах каждой террасы является наличие блюдцеобразных понижений рельефа (западин). Большинство участков с понижениями рельефа (просадочные блюдца) отмечаются на II террасе — у подошвы склона III террасы. На III террасе — в северо-восточной и северной части города.

На территории Краснодара развит в основном I тип грунтовых условий по просадочности. Мощность просадочных грунтов изменяется от 1...2 до 5...6 м, редко 7...9 м и более. Как исключение, просадочные

грунты могут встретиться и на пойме — у подножия уступа II НПТ Кубани [7].

Среди опасных эндогенных геологических процессов, возможных в пределах площадки изысканий, следует отметить *сейсмичность*. Расчетная сейсмическая интенсивность в баллах шкалы М8К-64 для средних грунтовых условий и двух степеней сейсмической опасности по карте ОСР-2011: А (10 %) — 7 баллов, В (5 %) — 8 баллов. В пределах слоя присутствуют грунты, относящиеся к III категории по сейсмическим свойствам, мощность слоя менее 5 м, следовательно, фоновая сейсмичность в соответствии с картой ОСР-2011-А СП 14.13330.2011, а также СНКК 22-301-2000* составляет 7 баллов (Краснодар)³. Район работ относится к сейсмически опасным. Наличие деформаций зданий, отмеченных при полевых обследованиях, объясняется различными причинами, например сейсмическими колебаниями, сезонными промерзаниями, антропогенным воздействием и др. Однако во многих случаях главной причиной развития деформаций являются просадочные явления в лессовидных суглинках.

Методика исследования просадочных грунтов

В настоящее время существует много работ по методике исследования физических свойств просадочных грунтов [8, 9]. Применение методов во многом носит региональный характер, с учетом особенности инженерно-геологических условий региона. Предложенная методика актуальна для исследования широко распространенных просадочных грунтов на территории Краснодара.

Для предварительного определения характеристик просадочности необходимо получить физические свойства грунтов: W — влажность, %; W_L — влажность на границе текучести, %; W_p — влажность на границе раскатывания, %; I_p — число пластичности, д. ед.; e — коэффициент пористости, д. ед.; ρ_s — плотность частиц грунта, г/см³; S_r — коэффициент водонасыщения, д. ед.

Характеристики просадочности определяются расчетным методом и осуществляются в два этапа. На первом этапе учитываются рекомендации к СП 22.13330.2016, определяется показатель просадочности грунтов I_{ss} по предварительной оценке.

К просадочным относятся грунты со степенью влажности $G \leq 0,8$, для которых определена величина I_{ss} .

На втором этапе определяются значения характеристик просадочности грунта. Они определяются по таблице номеров корреляционных полей, соответствующих значению W , %, грунта согласно зависимости $\varepsilon_{sl0,3} = f(W)$.

При наличии двух, трех или четырех значений, соответствующих W , %, грунта, по дополнительным физическим показателям I_p определяется номер корреляционного поля. Просадочность $\varepsilon_{sl0,3}$ грунта вычисляется согласно ГОСТ. После этого определяется P_{sl} — начальное просадочное давление грунта, и по полученным значениям $\varepsilon_{sl0,3}$ и P_{sl} строится предварительный график относительной просадочности от нагрузки в виде геометрической фигуры, а затем определяется $\operatorname{tg} \alpha$ угла, заключенного между катетом и гипотенузой.

³ СП 14.13330.2011. Строительство в сейсмических районах. Актуализир. ред. СНиП II-7-81*. М. : НИЦ «Строительство», 2011. 117 с.

Таким образом, определяется относительная просадочность $\varepsilon_{sl, i}$ при нагрузках, превышающих P_{sl} ⁴.

Точность определения просадочности можно оценить ошибками воспроизводимости, которые возникают при отборе проб, транспортировке, хранении и компрессионных испытаниях «образцов-близнецов» из одного и того же монолита. Оценка ошибок необходима также при корреляционных исследованиях свойств грунтов, когда предполагается, что измерения показателей выполнены абсолютно точно, т. е. среднеквадратичные ошибки (ошибки воспроизводимости) равны нулю. Реальная оценка показателей грунтов неизбежно сопровождается ошибками измерений. Ошибки измерений в некоторых случаях создают ложное представление о сложности инженерно-геологических объектов, мешают увидеть единство в многообразии результатов наблюдений и воспользоваться простыми математическими моделями для их описания⁵.

По материалам изысканий СевКавПНИИИС авторами определены ошибки воспроизводимости при определении характеристик лессовых грунтов. Было выделено, что наиболее точно определяются физические характеристики, имеющие относительную ошибку воспроизводимости 1...10 %; динамическое и статическое зондирование имеет сравнительно небольшую относительную ошибку (10...35 %). Лабораторная просадочность лессового грунта определяется с самой большой относительной ошибкой (20...50 %), которая неизбежно увеличивается при отборе монолитов (уплотнение), их транспортировке в лабораторию (возможно подсыхание и разрушение грунта). Здесь не учтены ошибки некорректного моделирования работы грунта в компрессионном приборе (без бокового расширения) и под фундаментами зданий, где происходит боковой сдвиг грунта. Ошибки воспроизводимости не учитываются при подборе уравнений и могут существенно исказить зависимость между характеристиками грунтов.

На основе анализа выполненных исследований просадочных грунтов для повышения эффективности результатов авторами для территории Краснодара был использован метод определения относительной просадочности грунтов по их физическим свойствам по методике канд. геол.-минерал. наук О. Е. Ахлюстина [10]. Предлагаемый метод основан на физических закономерностях просадочных свойств грунтов, которые регионально обобщены и обработаны при помощи математической статистики. Ранее данный метод был опробован в условиях круглогодичных наблюдений, на просадочных грунтах в условиях Краснодарского края [11].

В работе были проведены расчеты согласно данному методу и оценена степень применимости к грунтам, распространенным на территории Краснодара. Проведение расчетов базируется на большом количестве

⁴ СП 22.13330.2016. Свод правил. Основания зданий сооружений. Актуализир. ред. СНиП 2.02.01-83*. М. : НИЦ «Строительство», 2011. 123 с.

⁵ Сербин В. В. Экспериментальное обоснование повышения несущей способности свай в лессовых грунтах на примере Северного Кавказа : дис. ... канд. техн. наук : 25.00.08. Ставрополь, 2017. 196 с.

данных, необходимых для получения достоверной информации для выполнения сравнительного анализа. В процессе работы авторами были использованы материалы изысканий прошлых лет на территории Краснодара, Прикубанского округа, ул. Западный Обход, для строительства жилого комплекса, поселка Березовый, а также поселка Индустриальный.

Для расчетов было использовано 115 образцов тяжелого твердого суглинка, обладающего просадочными свойствами. Далее все физические и просадочные значения были помещены в табл. 2. Каждый образец представлен 16 признаками, в числе которых глубина проб отбора H , м, природная влажность W_0 , граница текучести W_L , влажность раската W_p , число пластичности I_p , показатель текучести I_1 , коэффициент водонасыщения S_r , плотность грунта природная ρ , скелета ρ_d , частиц ρ_s , коэффициент пористости e , относительная деформация просадочности ε_{sl} , модуль компрессионный в естественном состоянии E_k , МПа, модуль компрессионный в водонасыщенном состоянии E_k , МПа, начальное просадочное давление P_{sl} . Все значения данных характеристик были определены лабораторными методами в соответствии с ГОСТ.

Физико-механические свойства грунтов изменялись в широких пределах и определялись составом и условиями осадконакопления. Они представлены классом дисперсных, относятся к группе связных, подгруппе осадочных, по типу — к минеральным, по виду — к глинистым грунтам.

Так, глубина проб отбора H , м, изменяется от 1,5 до 10 м, среднее значение равно 4 м; природная влажность W_0 — от 0,09 до 0,23, среднее значение равно 0,19 д. ед.; граница текучести W_L — от 0,26 до 0,43, среднее значение равно 0,35 д. ед.; влажность раската W_p — от 0,19 до 0,28, среднее значение равно 0,22 д. ед.; число пластичности I_p — от 7 до 21, среднее значение равно 12,5 д. ед.; показатель текучести $I_1 < 0$; коэффициент водонасыщения S_r — от 0,43 до 0,76, среднее значение равно 0,63 д. ед.; плотность грунта природная ρ — от 1,56 до 1,88, среднее значение равно 1,77 д. ед.; скелета ρ_d — от 1,29 до 1,55, среднее значение равно 1,48 д. ед.; частиц ρ_s — от 2,67 до 2,74, среднее значение равно 2,72 д. ед.; коэффициент пористости e — от 0,75 до 1,1, среднее значение равно 0,83 д. ед.; относительная деформация просадочности ε_{sl} — от 0,01 до 0,09, среднее значение равно 0,03 д. ед.; модуль компрессионный в естественном состоянии E_k , МПа, — от 2,1 до 9,76, среднее значение равно 6,80 д. ед.; модуль компрессионный в водонасыщенном состоянии E_k , МПа, — от 0,67 до 5,13, среднее значение равно 2,82 д. ед.; начальное просадочное давление P_{sl} — от 0,03 до 0,21, среднее значение равно 0,12 д. ед.

Расчет просадочности по физическим свойствам проводился в программе Microsoft Excel, согласно методу определения характеристик просадочности по физическим свойствам грунтов. На первом этапе учитывались рекомендации СП 22.13330.2016⁶, определялись показатели просадочности грунтов I_{ss} (табл. 1).

Таблица 1

Максимальные показатели I_{ss} просадочности грунтов по предварительной оценке

⁶ СП 22.13330.2016. Свод правил. Основания зданий сооружений. Актуализир. ред. СНиП 2.02.01—83*. М.: НИЦ «Строительство», 2011. 123 с.

Число пластичности грунта I_p	$1 \leq I_p \leq 10$	$10 < I_p \leq 14$	$14 < I_p \leq 22$
Показатель I_{ss}	0,10	0,17	0,24

По результатам расчетов из 114 образцов 79 имеют значение ниже 0,1 д. ед., т. е. являются просадочными.

На втором этапе определены значения характеристик просадочности грунта. Для этого вычислены номера корреляционных полей, соответствующих значению W , % грунта, зависимости $\varepsilon_{s/0,3} = f(W)$.

При проведении расчетов на данном этапе был выявлен большой процент несоответствия частных физических показателей исследуемых грунтов группам выборок, представленных в данном методе. Номер корреляционного поля соответствовал определенной микрорегиональной выборке с характерными для нее физико-механическими свойствами.

Так, по результатам расчетов 43 образца (36 %) не соответствовали значениям показателей, 51 образец (45 %) соответствовал значениям, но не соответствовал номерам корреляционных полей. Остальные 21 образец (18 %) соответствовали значениям показателей и номерам корреляционных полей. Образцы под номерами 8, 10, 16, 20, 25, 55 и 56 соответствовали первому номеру корреляционного поля и рассчитывались по формуле $\varepsilon_{s/0,3} = 0,240 - 9,3W10^{-3}$. Образец 4 соответствовал второму номеру корреляционного поля и рассчитывался по формуле $\varepsilon_{s/0,3} = 0,170 - 7,0W10^{-3}$. Образцы под номерами 2, 21, 22, 42, 46, 63, 64, 66 и 72 соответствовали третьему номеру корреляционного поля и рассчитывались по формуле $\varepsilon_{s/0,3} = 0,060 - 2,0W10^{-3}$. Образцы под номерами 28, 33 и 47 соответствовали девятому номеру корреляционного поля и рассчитывались по формуле $\varepsilon_{s/0,3} = 0,156 - 10,4W10^{-3}$. Образец под номером 34 соответствовал шестому номеру корреляционного поля и рассчитывался по формуле $\varepsilon_{s/0,3} = 0,246 - 11,7W10^{-3}$.

Далее были рассчитаны показатели относительной просадочности $\varepsilon_{s/0,3}$ для каждого образца грунта. На третьем этапе были рассчитаны значения P_{st} — начального просадочного давления грунта, соответствующие частному значению влажности W , %, образца грунта. Так, образец под номером 33 соответствует первой группе по влажности. Образцы под номерами 28 и 47 соответствуют второй группе. Образцы под номерами 10, 22, 34, 42, 46 и 64 соответствуют третьей группе. Образцы под номерами 2, 4, 8, 16, 20, 21, 25, 55, 56, 63, 66 и 72 соответствуют четвертой группе.

На четвертом этапе был определен $\text{tg } \alpha$ угла, заключенного между катетом и гипотенузой (рис.).

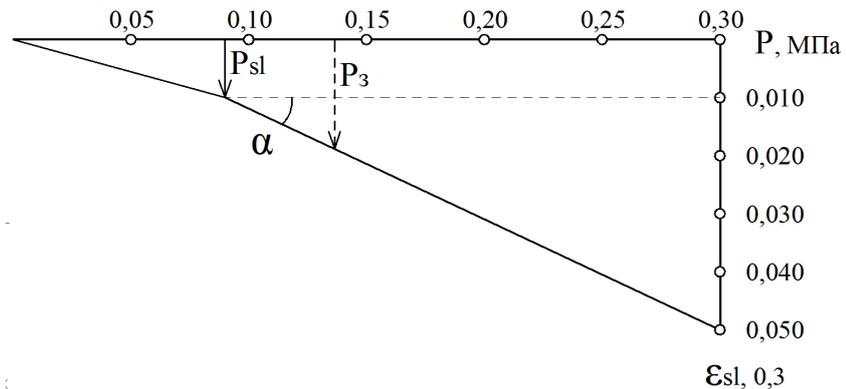


График относительной просадочности $\varepsilon_{sl, i}$ от нагрузки P_i и (или) от заданной нагрузки P_3 , МПа

На пятом этапе определяют относительную просадочность $\varepsilon_{sl, i}$ при нагрузках, превышающих P_{sl} , при P_i 0,5; 0,10; 0,15; 0,20; 0,25; 0,3 МПа и (или) $\varepsilon_{sl, 3}$ при заданной нагрузке P_3 .

По полученным значениям были построены графики относительной просадочности при различных нагрузках (0,05; 0,1; 0,15; 0,2; 0,25; 0,3 МПа) по каждому расчетному образцу.

Результаты исследований

Таким образом, были выполнены расчеты основных показателей просадочности расчетным методом на основе данных физических свойств грунтов. Согласно исследованиям автора методики, максимальной теснотой корреляционной связи обладают ε_{sl} и W , I_p , e . Задачей работы являлась проверка достоверности данного метода путем сравнения результатов вычислений с эталонными, т. е. лабораторными.

На первом этапе с помощью гистограмм сравнивались показатели относительной просадочности. Согласно полученным данным можно отметить существенное расхождение между расчетными и лабораторными данными. Расчетные данные оказались ниже лабораторных в 16 образцах. Максимальное расхождение имеют образцы 8, 10, 33, 46, от 0,022 до 0,38 д. ед. Минимальное расхождение имеют образцы 21, 25, 55, 56, 63, 64, от 0,002 до 0,006 д. ед. Абсолютное совпадение имеет образец 66. Общий процент несоответствия расчетных значений составляет 13 %. Это говорит о том, что данный метод показывает достаточно высокую оценку просадочности грунтов, что является хорошим результатом.

На втором этапе сравнивались показатели начального просадочного давления P_{sl} . Можно отметить также незначительное расхождение между расчетными и лабораторными данными. Расчетные данные оказались ниже лабораторных на 8 %, это означает, что просадочные свойства были несколько завышены, так как чем больше относительная просадочность, тем меньше начальное просадочное давление.

На третьем этапе сравнивались показатели относительной просадочности ε_{sl} при нагрузках 0,05; 0,1; 0,15; 0,2; 0,25; 0,3 МПа для каждого образца грунта. Проанализировав графики, можно отметить отсутствие единой зако-

номерности изменчивости. В образцах 2, 4, 8, 10, 21, 22, 25, 34, 42, 46, 47, 55, 56 и 63, лабораторные значения превышают расчетные.

На четвертом этапе, согласно классификации лессовых грунтов по величине относительной просадочности по ГОСТ 25100-2020⁷, была определена разновидность грунта по степени просадочности.

В табл. 2 представлено соотношение образцов по степени просадочности в соответствии с расчетными и лабораторными значениями показателя ε_{sl} .

Проанализировав полученные результаты, можно отметить следующее: 18 образцов из 21 имеют совпадение, в трех образцах расчетные данные занижены, а в двух — завышены. Образцы 8 и 10 относятся к сильнопросадочным. Далее аналогично представлено соотношение образцов по степени просадочности в соответствии с расчетными и лабораторными значениями показателя P_{sl} (табл. 3).

Т а б л и ц а 2

Соотношение образцов по степени просадочности показателя ε_{sl}

Номер образца	ε_{sl} (лаб.)	ГОСТ 25100-2020	ε_{sl} (расч.)	ГОСТ 25100-2020
2	0,04	Среднепросадочный	0,02	Слабопросадочный
4	0,04	Среднепросадочный	0,02	Слабопросадочный
8	0,08	Сильнопросадочный	0,04	Среднепросадочный
10	0,09	Сильнопросадочный	0,06	Среднепросадочный
16	0,02	Слабопросадочный	0,04	Среднепросадочный
20	0,03	Слабопросадочный	0,04	Среднепросадочный
21	0,02	Слабопросадочный	0,02	Слабопросадочный
22	0,04	Среднепросадочный	0,03	Слабопросадочный
25	0,02	Слабопросадочный	0,01	Слабопросадочный
28	0,02	Слабопросадочный	0,03	Слабопросадочный
33	0,04	Среднепросадочный	0,06	Среднепросадочный
34	0,06	Среднепросадочный	0,05	Среднепросадочный
42	0,04	Среднепросадочный	0,03	Слабопросадочный
46	0,06	Среднепросадочный	0,02	Слабопросадочный
47	0,03	Слабопросадочный	0,02	Слабопросадочный
55	0,02	Слабопросадочный	0,01	Слабопросадочный
56	0,02	Слабопросадочный	0,01	Слабопросадочный
63	0,02	Слабопросадочный	0,02	Слабопросадочный
64	0,02	Слабопросадочный	0,02	Слабопросадочный
66	0,02	Слабопросадочный	0,02	Слабопросадочный
72	0,03	Слабопросадочный	0,02	Слабопросадочный

Т а б л и ц а 3

Соотношение образцов по степени просадочности показателя P_{sl}

Номер образца	P_{sl} (лаб.)	ГОСТ 25100-2020	P_{sl} (расч.)	ГОСТ 25100-2020
2	0,09	Среднепросадочный	0,11	Среднепросадочный
4	0,07	Среднепросадочный	0,08	Среднепросадочный

⁷ ГОСТ 25100-2020. Грунты. Классификация. Актуализир. ред. ГОСТ 25100—2011*. М. : Стандартинформ, 2020. 60 с.

8	0,03	Сильнопросадочный	0,03	Сильнопросадочный
10	0,04	Сильнопросадочный	0,03	Сильнопросадочный
16	0,059	Сильнопросадочный	0,03	Сильнопросадочный
20	0,109	Среднепросадочный	0,03	Сильнопросадочный
21	0,126	Среднепросадочный	0,11	Среднепросадочный
22	0,106	Среднепросадочный	0,08	Среднепросадочный
25	0,16	Слабопросадочный	0,15	Среднепросадочный
28	0,138	Среднепросадочный	0,07	Среднепросадочный
33	0,085	Среднепросадочный	0,04	Сильнопросадочный
34	0,088	Среднепросадочный	0,04	Сильнопросадочный
42	0,14	Среднепросадочный	0,08	Среднепросадочный
46	0,06	Сильнопросадочный	0,09	Среднепросадочный
47	0,11	Среднепросадочный	0,11	Среднепросадочный
55	0,13	Среднепросадочный	0,15	Среднепросадочный
56	0,15	Среднепросадочный	0,15	Среднепросадочный
63	0,13	Среднепросадочный	0,11	Среднепросадочный
64	0,163	Слабопросадочный	0,09	Среднепросадочный
66	0,213	Слабопросадочный	0,09	Среднепросадочный
72	0,033	Сильнопросадочный	0,09	Среднепросадочный

По результатам следует отметить соотношение степени просадочности лабораторных значений P_{sl} , ϵ_{sl} образцов согласно классификации ГОСТ 25100—2020. Это еще раз подтверждает соответствие нормативным значениям и правильный выбор данного метода. В связи с полученными результатами величину относительной просадочности и классификацию лессовидных грунтов по этому показателю ϵ_{sl} необходимо применять для оценки просадочности грунтов, для назначения объема лабораторных и полевых исследований грунтов, для выбора мероприятий по устранению просадки на этапах строительства и эксплуатации объекта и решения всех вопросов, связанных с проектированием и строительством.

Таким образом, в результате проведенного анализа была определена эффективность метода определения показателей просадочности по физическим свойствам. Мера эффективности была определена путем сравнения значений с эталонными (лабораторными), путем графического анализа и сопоставление с нормативами. Тесные корреляционные связи, граничащие с функциональной зависимостью, высокая значимость уравнений позволяют определить характеристики просадочности по физическим свойствам грунтов для оперативного предоставления информации специалистам проектных организаций.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Трофимов В. Т. Генезис просадочности лессовых пород. М. : Изд-во МГУ, 1999. 272 с.
2. Zhang F., Wang G., Allen M., Xu Y. Multidisciplinary Loess Geohazard Investigations // Frontier Earth Science. 2022. 16 May.
3. Dijkstra T. A., Smalley I. J., Rogers C. D. F. Particle packing in loess deposits and the problem of structure collapse and hydroconsolidation // Engineering Geology. 1995. No. 40. Pp. 49—64.
4. Tabarsa A., Meehan C. L., Kalehiwot Nega Manahiloh. Laboratory investigation and field evaluation of loess improvement using nanoclay — a sustainable material for construction // Construction and Building Materials. 2018. January. Pp. 454—463.
5. Feng S., Mi Z., Shen Y., Li L. Elimination of loess subsidence with application to construction and tolerable waste during dynamic compaction // Environmental, Earth Sciences. 2014. May. Vol. 73. No. 9. Pp. 5317—5332.

6. *Востриков Н. Г., Антошкина Е. В.* Суффозионно-просадочные процессы города Краснодара // Геология, география и глобальная энергия. 2012. № 3(46). С. 87—91.
7. *Востриков Н. Г.* Распространение и особенности лессовых пород на равнинной части Краснодарского края // Географические исследования Краснодарского края. 2009. Вып. 4. С. 54—58.
8. *Rogers C., Dijkstra T., Smalley I.* Hydroconsolidation and subsidence of loess North America and Europe // Geology Engineering. Geology studies from China, Russia. 1994. June.
9. *Hemmat A., Yaghoubi M., Masoumi A., Mosaddeghi M. R.* Relationships between rut depth and soil mechanical properties in acalcareous soil with unstable structure // Biosystems Engineering. 2014. Vol. 118. No. 1. Pp. 147—155.
10. *Ахлюстин О. Е.* Стандарт организации НП СРО «КубаньСтрой-Изыскания». Грунты. Метод определения характеристик просадочности по физическим свойствам грунтов. СТО. Первая ред. Краснодар, 2013. 11 с.
11. *Ахлюстин О. Е.* Совершенствование системы лабораторного определения характеристик просадочных грунтов I типа (на примере фунтовых условий Анапского района) // Инженерные изыскания : всерос. науч.-аналит. журн. 2012. № 11. С. 42—50.

© Панина О. В., Донцова О. Л., Махова С. И., 2022

Поступила в редакцию
в сентябре 2022 г.

Ссылка для цитирования:

Панина О. В., Донцова О. Л., Махова С. И. Анализ эффективности метода определения показателей просадочности грунтов по физическим свойствам на территории Краснодара // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2022. Вып. 4(89). С. 44—55.

Об авторах:

Панина Ольга Владимировна — канд. геол.-минерал. наук, доц., Кубанский государственный университет. Российская Федерация, 350040, г. Краснодар, ул. Ставропольская, 149; panina_olga@inbox.ru

Донцова Ольга Леонидовна — канд. геогр. наук, доц., Кубанский государственный университет. Российская Федерация, 350040, г. Краснодар, ул. Ставропольская, 149; doncovaol@mail.ru

Махова Светлана Ивановна — канд. геол.-минерал. наук, доц., зав. каф. гидротехнических и земляных сооружений, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1; info@vgasu.ru

Olga V. Panina^a, Olga L. Dontsova^a, Svetlana I. Makhova^b

^a *Kuban State University*

^b *Volgograd State Technical University*

ANALYSIS OF THE EFFECTIVENESS OF THE DETERMINATION METHOD INDICATORS OF SOIL SUBSIDENCE BY PHYSICAL PROPERTIES ON THE TERRITORY OF KRASNODAR

The method of determining the relative subsidence of soils by their physical properties is based on the physical laws of subsidence properties of soils, which are regionally generalized and processed using mathematical statistics. 115 samples of heavy, hard loam with subsidence properties were used for calculations. As a result of the analysis, the effectiveness of the method for determining the indicators of drawdown by physical properties was established. The measure of effectiveness was determined by comparing the values with reference (laboratory), as well as by graphical analysis and comparison with standards. Close correlations bordering on functional dependence, the high significance of the equations allow us to determine the characteristics of subsidence by the physical properties of soils for the prompt provision of information to specialists of design organizations.

К е у w o r d s: loess soils, subsidence of soils, physical properties of soils, laboratory methods, calculation methods, engineering-geological studies, analysis of methods.

For citation:

Panina O. V., Dontsova O. L., Makhova S. I. [Analysis of the effectiveness of the determination method indicators of soil subsidence by physical properties on the territory of Krasnodar]. *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Seriya: Stroitel'stvo i arhitektura* [Bulletin of Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering. Series: Civil Engineering and Architecture], 2022, iss. 4, pp. 44—55.

About authors:

Olga V. Panina — Candidate of Geological and Mineralogical Sciences, Docent, Kuban State University. 149, Stavropolskaya st., Krasnodar, 350040, Russian Federation; panina_olga@inbox.ru

Olga L. Dontsova — Candidate of Geographical Sciences, Docent, Kuban State University. 149, Stavropolskaya st., Krasnodar, 350040, Russian Federation; doncovaol@mail.ru

Svetlana I. Makhova — Candidate of Geological and Mineralogical Sciences, Docent, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation; info@vgasu.ru