ГЕОЭКОЛОГИЯ. ИНЖЕНЕРНАЯ ГЕОЛОГИЯ. ГИДРОГЕОЛОГИЯ. ГЕОКРИОЛОГИЯ, 2022, № 1, с. 47–57

ГРУНТОВЕДЕНИЕ И МЕХАНИКА ГРУНТОВ

УДК 624.131.43

ВЛИЯНИЕ МАСШТАБА ИССЛЕДОВАНИЙ НА ОСАДКУ И МОДУЛЬ ДЕФОРМАЦИИ ЭЛЮВИАЛЬНЫХ ГЛИНИСТЫХ ГРУНТОВ

© 2022 г. А. Г. Барановский[1,*]

[1] ООО "РИТОС", ул. Комарова, 112а, Челябинск, 454071 Россия

**e-mail: geologia85@mail.ru*

Поступила в редакцию 27.10.2020 г.
После доработки 09.04.2021 г.
Принята к публикации 14.04.2021 г.

Рассмотрена изменчивость осадки и модуля деформации элювиальных глинистых грунтов от воздействия внешней нагрузки (в лабораторных и полевых условиях). Объект исследования – элювиальные глинистые грунты мезозойского возраста – образовались в результате химического выветривания гранито-гнейсов, и имеют широкое пространственное распространение на территории города Челябинск. Цель настоящего исследования заключается в оценке влияния масштаба исследований на величину осадки и модуля деформации элювиальных глинистых грунтов мезозойского возраста, а также выявление закономерностей их изменения с течением времени по мере увеличения внешнего давления на грунт. Под масштабом исследования в данном случае понимается область эксперимента или область воздействия на исследуемые грунты, в пределах которой локализуются процессы взаимодействия экспериментальной установки (штамп, нагружаемый для оценки деформируемости грунтов в естественном залегании или компрессионный прибор, на котором сжимается образец грунта) с грунтами. Для достижения заявленной цели в пределах проектируемого пятна застройки были проведены полевые и лабораторные исследования элювиальных образований. Оценка изменчивости величины осадки и модуля деформации элювиальных глинистых грунтов осуществлена путем сопоставления данных лабораторных исследований физико-механических свойств элювиальных глинистых грунтов с данными полевых испытаний штампом III типа ($S = 600$ см^2). Сравнительный анализ полевых и лабораторных исследований показал, что на величину осадки и модуля деформации исследуемых грунтов важное влияние оказывает масштаб исследований – при увеличении площади воздействия деформируемость элювиальных глинистых образований увеличивается. Анализ графиков $S = f(P)$ позволил установить, что при одинаковых нормальных нагрузках, чаще всего превышающих 0.3 МПа, в одометре продолжается линейно-упругое деформирование грунта, а при полевых испытаниях деформирование элювиальных глинистых грунтов носит пластический характер. Это обстоятельство вызвано отличием напряженно-деформируемого состояния грунтов в массиве и образце. Установлена зависимость осадки от времени и внешнего давления. Результатом исследовательской работы стали уравнения множественной регрессии, позволяющие делать прогноз изменения величины осадки во времени.

Ключевые слова: *элювиальные глинистые грунты*, *полевые и лабораторные исследования*, *физические и механические свойства грунтов*, *вертикальная статическая нагрузка*, *плоский штамп*, *модуль деформации*, *величина осадки*, *масштаб исследования*, *область эксперимента*, *уравнение регрессии*

DOI: 10.31857/S0869780922010027

ВВЕДЕНИЕ

На современном этапе развития грунтоведения деформационные характеристики инженерно-геологических элементов определяются полевыми (испытания штампом, прессиометром, плоским дилатометром, статическим зондированием) и лабораторными (компрессионное и трехосное сжатие) методами. Наиболее распространенный полевой метод определения деформационных характеристик грунтов – испытание грунтового массива штампом, лабораторный – компрессионное сжатие образца грунта.

Приложение внешней нагрузки на грунт вызывает его деформации, величина которых и ход развития зависят от разновидности грунта и размеров нагружаемой площади. Н.М. Герсеванов установил три последовательно протекающие фазы деформаций (рис. 1):

• фаза нормального уплотнения I – уплотнение грунта, характеризуемое с достаточной степе-

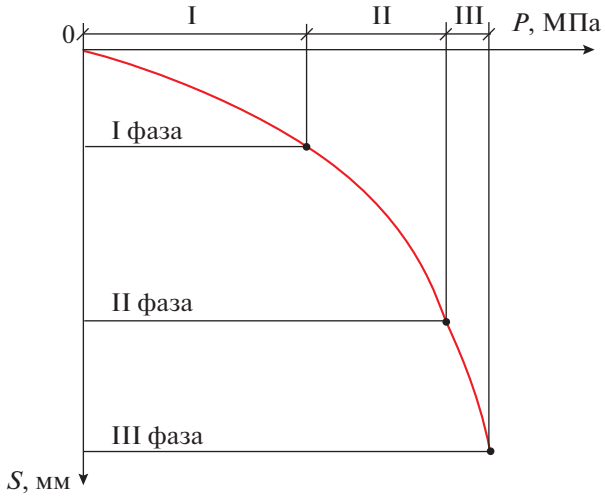

Рис. 1. Зависимость осадки *S* от давления *P*.

нью точности линейной зависимостью между напряжениями и деформациями;

• фаза сдвигов II – возникновение сдвигов, выраженное криволинейной зависимостью между нагрузками *P* и осадкой грунта *S*;

• фаза выпирания III – выпирание грунта, сопровождающееся резким погружением штампа в грунт и представляющее собой разрушение основания.

Сравнению методов лабораторных и полевых испытаний грунтов уделяли внимание М.А. Агишев [1], В.И. Аксенов [2], Г.Г. Болдырев [3–6] и др.

В 1957 г. Агишевым А.И. [1] было впервые установлено, что значения модуля деформации грунтов, определяемые по результатам компрессионных испытаний, получаются заниженными в 2–10 раз по сравнению со значениями тех же модулей, но полученных по данным полевых штамповых испытаний.

В работах Г.Г. Болдырева [3–6] рассмотрены методы и результаты определения показателей деформационных и прочностных свойств грунтов с использованием различных технологий лабораторных и полевых испытаний. Р.Э. Зиангиров и А.Г. Кошелев [7] описали методики испытаний грунтов штампами, а также анализ, обработку и отображение их результатов.

По мере развития теории механики грунтов происходило обобщение и статистическая обработка большого объема экспериментальных данных полевых и лабораторных исследований свойств грунтов. Научные работы отечественных ученых позволили выявить взаимосвязи между полевым и лабораторным модулями деформации и разработать рекомендации по приведению лабораторного модуля деформации к полевому значению посредством использования повышающего коэффициента *m* [8–13]. В настоящее время для большинства регионов России разработаны статистически обоснованные региональные значения *m*, приведенные в территориальных строительных нормах. Общероссийские повышающие коэффициенты *m* приведены в СП 22.13330 “Основания зданий и сооружений. Актуализированная редакция СНиП 2.02.01–83*”[1]. В.С. Казанцевым [8] и В.Н. Широковым [12] была изучена зависимость деформационных характеристик элювиальных глинистых грунтов мезозойского возраста от масштаба их исследования и вычислены региональные *m*.

Цель настоящего исследования – оценка изменчивости осадки и модуля деформации элювиальных глинистых грунтов мезозойского возраста, а также выявление закономерностей их изменения с течением времени по мере увеличения внешнего давления на грунт.

Для достижения заявленной цели были проведены полевые и лабораторные исследования элювиальных глинистых образований в пределах проектируемого пятна застройки. Оценка изменчивости осадки и модуля деформации элювиальных глинистых грунтов осуществлена путем сопоставления данных лабораторных исследований их физико-механических свойств с результатами полевых испытаний штампом III типа ($S = 600$ см^2).

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ

Методика исследования заключалась в оценке и сопоставлении результатов полевых (метод испытания штампом) и лабораторных (метод компрессионного сжатия) экспериментов. Расположение точек испытания отражено на рис. 2. Полевые испытания грунтов штампом проводились в соответствии с требованиями ГОСТ 20276.1-2020 “Грунты. Метод испытания штампом”[2]. Лабораторные исследования элювиальных глинистых грунтов выполнены согласно ГОСТ 5180-2015 “Грунты. Методы лабораторного определения физических характеристик”[3], ГОСТ 12536-2014 “Грунты. Методы лабораторного определения гранулометрического (зернового) и микроагрегатного состава”[4] и ГОСТ 12248.4-2020 “Грунты. Определение характеристик деформируемости методом компрессионного сжатия”[5].

[1] URL: http://docs.cntd.ru/document/456054206
[2] URL: https://docs.cntd.ru/document/1200174754
[3] URL: http://docs.cntd.ru/document/1200126371
[4] URL: https://docs.cntd.ru/document/566409071
[5] URL: http://docs.cntd.ru/document/1200084869

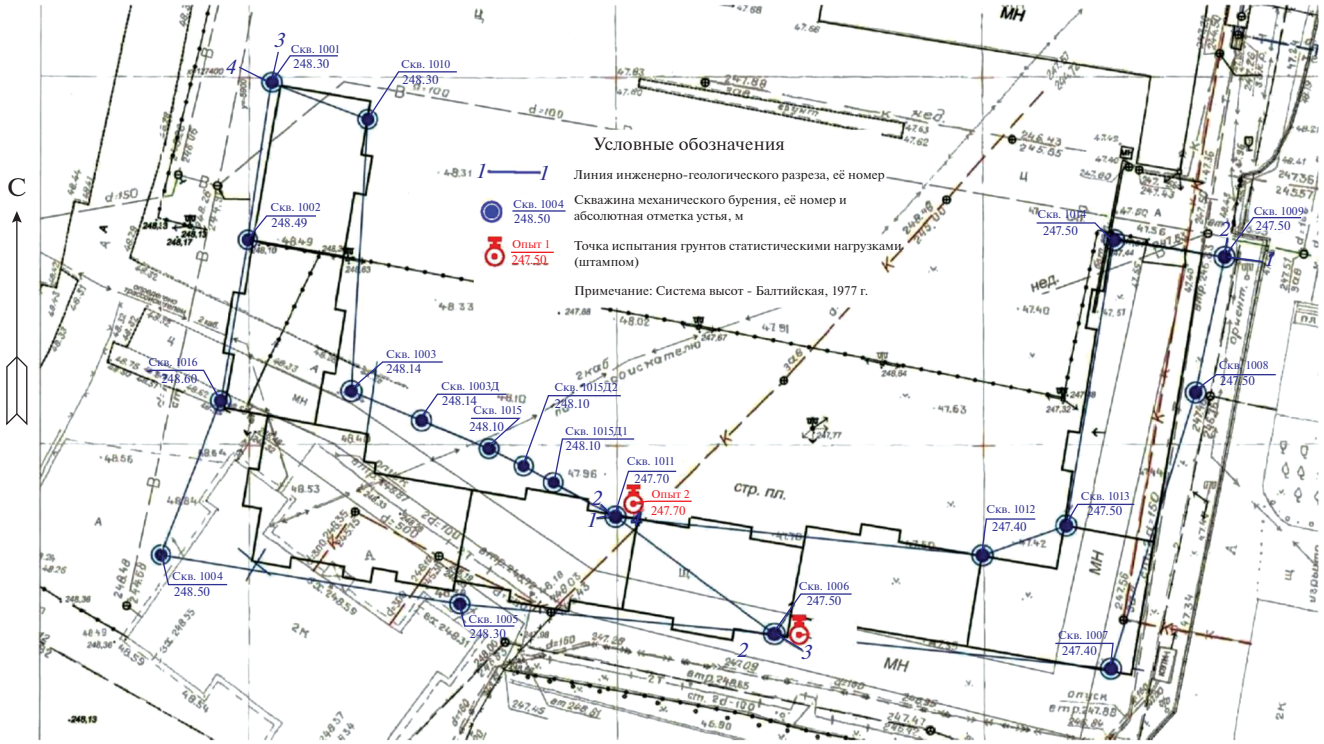

Рис. 2. Схема расположения точек испытания элювиальных глинистых грунтов (ИГЭ 3) вертикальными статическими нагрузками (штампом).

Полевые опытные испытания грунтов вертикальными статическими нагрузками

Для определения характеристик деформируемости проводились полевые опытные испытания элювиальных глинистых грунтов (на двух площадках) вертикальными статическими нагрузками в забое скважины плоским штампом (III типа) площадью 600 см^2. Схемы проведения опытов приведены на рис. 3. Глубина установка штампа варьировалась от 3.2 до 3.25 м. Камеральная обработка результатов испытаний осуществлялась с помощью программы ShwPW 1.0.0.124 (разработчик ЗАО “Геотест”, Екатеринбург).

Отсчеты по прогибомерам на каждой ступени нагружения проводились через каждые 15 мин в течение первого часа, 30 мин в течение второго часа, далее через 1 ч до условной стабилизации деформации грунта (время условной стабилизации за ступень (табл. 1) варьировалось от 2 до 7 ч). Максимальная нагрузка была доведена до 0.5 МПа.

В процессе проведения полевых исследований на каждой площадке испытаний были отобраны монолиты грунтов до и после опыта.

По окончании нагружения элювиальных глинистых грунтов вертикальными статическими нагрузками горная выработка была углублена ниже отметки испытания на глубину не менее двух диаметров штампа для контроля однородности испытываемого грунта.

Лабораторные исследования физико-механических свойств грунтов

Лабораторные исследования физических свойств элювиальных глинистых грунтов определялись согласно требованиям ГОСТ 5180-2015, ГОСТ 12536-2014, ГОСТ 12248.4-2020 (см. сноски 2–4).

Таблица 1. Время условной стабилизации деформации грунта за ступень

Ступень давления ΔP, МПа	Время условной стабилизации деформации t, ч	
	Опыт 1	Опыт 2
0.05	2	2
0.10	2	2
0.15	3	3
0.20	3	4
0.25	3	4
0.30	4	4
0.35	4	5
0.40	5	6
0.45	7	6
0.50	7	7

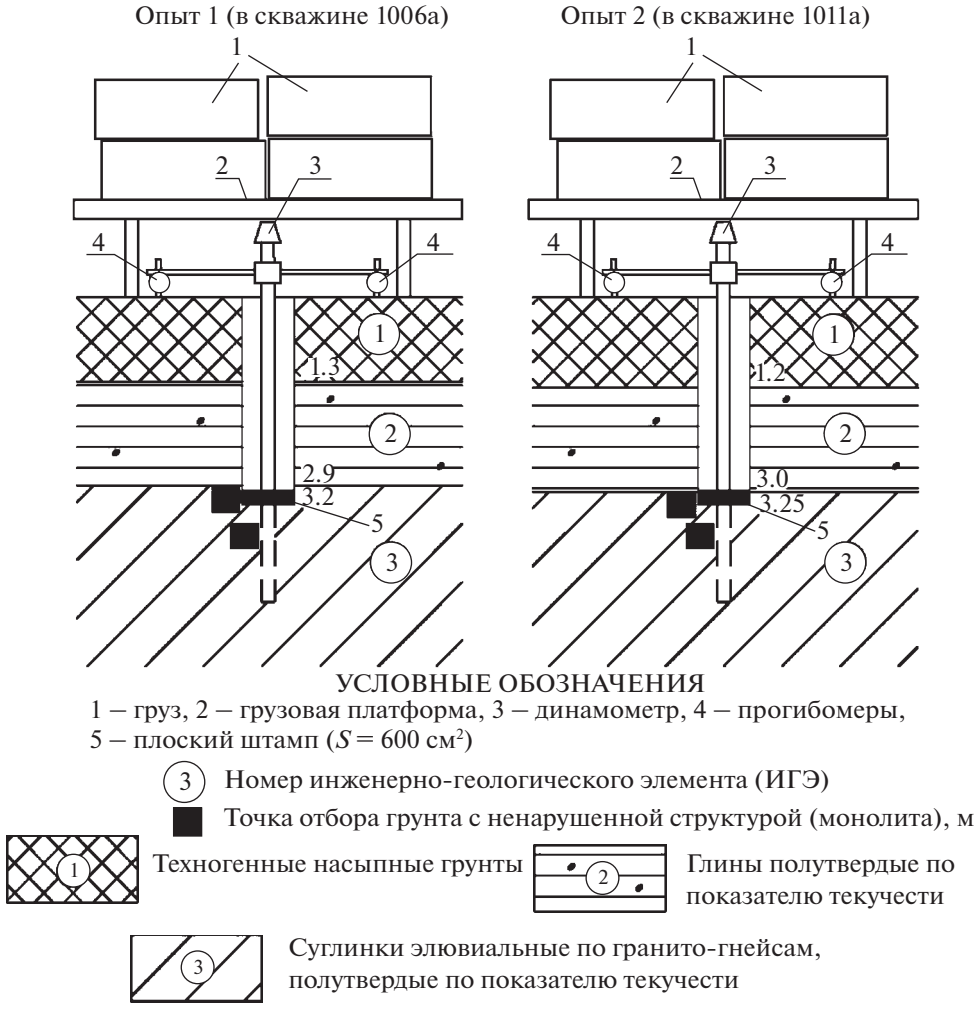

Рис. 3. Схема проведения опыта.

Механические испытания дисперсных грунтов выполнялись измерительно-вычислительным (ИВК) комплексом “АСИС” (производитель ООО НПП “Геотек”, Пенза) в компрессионных приборах (одометрах) КПР-1, исключающих возможность бокового расширения образца при нагружении его вертикальной нагрузкой.

Диапазон давлений, при которых проводились испытания, определялся в программе испытаний с учетом напряженного состояния грунта в массиве, т.е. с учетом передаваемых на основание нагрузок и бытового давления. Конечное давление было больше бытового давления на глубине залегания образца грунта.

Для испытаний использовались образцы грунта ненарушенного сложения с естественной влажностью. Нагружение образца проводилось ступенями нагрузки равномерно, без ударов. На каждой ступени нагружения образца регистрировали показания приборов для измерения вертикальных деформаций в следующей последовательности: первое показание – сразу после приложения нагрузки, затем через 0.25; 0.5; 1; 2; 5; 10; 20; 30 мин и далее с интервалом 1 час в течение рабочего дня, в последующие дни – в начале и конце рабочего дня.

ХАРАКТЕРИСТИКА ОБЪЕКТА ИССЛЕДОВАНИЯ

В геологическом отношении (до глубины 27 м) площадка работ приурочена к участку развития скальных грунтов – гранито-гнейсов (PZ), дисперсной зоне коры выветривания (eMZ), перекрытой маломощными глинистыми делювиальными отложениями (dQ_{IV}). С поверхности участок спланирован техногенными насыпными грунтами (tQ_{IV}).

Объектом исследования являются элювиальные глинистые грунты мезозойского возраста (ИГЭ 3), представленные суглинками дресвяными, полутвердыми по показателю текучести, сла-

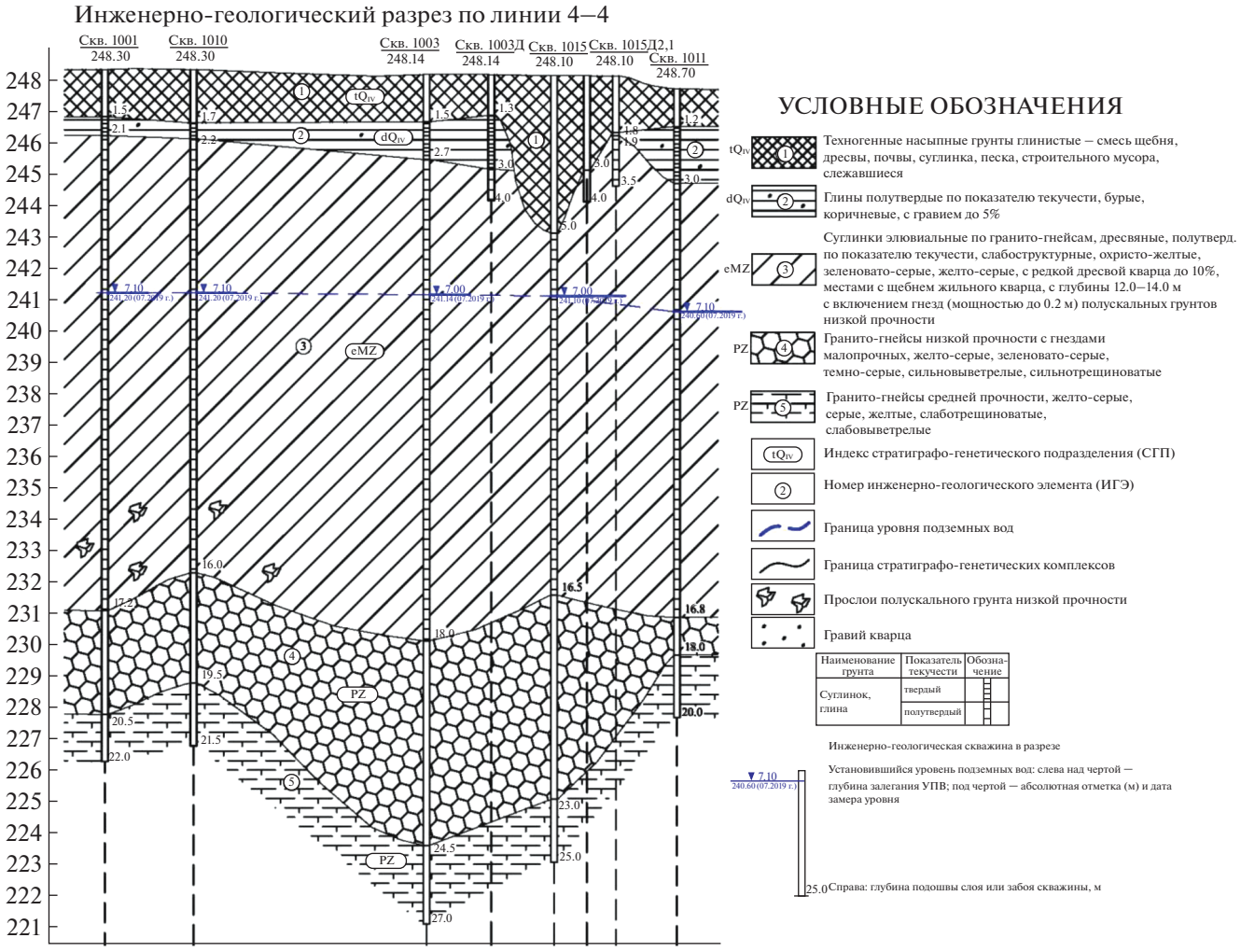

Рис. 4. Инженерно-геологический разрез участка исследования.

бструктурными, слюдистыми, охристо-желтого, зеленовато-серого, серовато-желтого цвета, гнейсовидной, полосчатой текстуры коренных пород, с включениями гнезд дресвы (размером до 5–10 см) и мелкого щебня кварца. Грунт залегает повсеместно на глубинах от 1.8 до 5.0 м. Вскрытая мощность элювиальных глинистых грунтов варьирует от 9.5 до 16.7 м (рис. 4).

Установившийся уровень подземных вод на период исследований (июль 2019 г.) зафиксирован на глубинах 7.0–8.2 м (абс. отм. 240.30–242.80 м).

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Физические свойства элювиальных глинистых грунтов

Результаты лабораторных исследований физических свойств и гранулометрического состава элювиальных глинистых грунтов приведены в табл. 2 и 3.

По результатам лабораторных исследований физических свойств и гранулометрического состава элювиальных глинистых грунтов установлено, что исследуемый грунт – суглинки дресвяные (процентное содержание дресвы и щебня кварца варьирует от 26.1% до 31%), полутвердые по показателю текучести.

Деформационные свойства элювиальных глинистых грунтов

По результатам полевых и лабораторных работ были рассчитаны модули деформации: полевой ($E_{шт}$), одометрический (E_{oed}).

Модули деформации определялись аналитическим методом согласно рекомендациям ГОСТ 12248.4 и ГОСТ 20276.1. Одометрический модуль деформации рассчитывается в интервале нагрузок 0.1–0.2 МПа, в то время как при расчете полевого модуля деформации по результатам штамповых испытаний (ГОСТ 20276.1) оценивается фор-

Таблица 2. Гранулометрический состав элювиальных глинистых грунтов (ИГЭ 3)

Лабораторный номер	Номер выработки	Интервал опробования, м	Размер слагающих грунт элементов, мм					
			>10	10–2	2–0.5	0.5–0.25	0.25–0.1	< 0.1
Опыт 1								
305	1006а	3.0	6.5	19.6	40.5	15.8	6.2	12.0
311	1006а	3.5	5.6	21.5	43.0	15.1	7.1	7.7
Опыт 2								
306	1011а	3.1	6.1	24.5	38.4	15.0	7.7	8.3
312	1011а	3.5	4.3	26.7	40.2	14.5	7.0	7.3

Таблица 3. Частные значения физических свойств элювиальных глинистых грунтов (ИГЭ 3)

Лабораторный номер	Номер выработки	Интервал опробования, м	Плотность, г/см^3			Коэффициент пористости, e, д.е.	Влажность грунта, %			Число пластичности, I_p, %	Показатель текучести, I_L, д.е.	Коэффициент водонасыщения, Sr, д.е.	Отбор образца грунта
			частиц грунта, ρ_s	в естественном состоянии, ρ	сухого грунта, ρ_d		естественная, ω	на границе текучести, ω_L	на границе раскатывания, ω_p				
Опыт 1													
305	1006а	3.0	2.75	1.80	1.43	0.92	26	39	24	15	0.13	0.78	до опыта
311	1006а	3.5	2.75	1.88	1.49	0.85	26	42	26	16	0.00	0.85	после опыта
Опыт 2													
306	1011а	3.1	2.77	1.99	1.64	0.69	21	33	21	12	0.00	0.84	до опыта
312	1011а	3.5	2.76	1.88	1.47	0.88	28	43	27	16	0.06	0.88	после опыта

Таблица 4. Результаты расчета общего модуля деформации

Разновидность грунта по ГОСТ 25100	Номер опыта	Модуль деформаций, МПа		Повышающий коэффициент, m_{oed}
		полевой, $E_{шт}$	одометрический, E_{oed}	
Суглинок дресвяный, полутвердый по показателю текучести	1	13.7	10.0	1.37
	2	20.4	11.8	1.73

ма графика зависимости осадки от нагрузки, никаких требований к интервалам давлений не предъявляется. Единственное условие, чтобы число точек в рассматриваемом диапазоне (соответствует прямому отрезку графика зависимости осадки грунта от нагрузки) было не менее трех. Результаты расчета полевого и одометрического модулей деформаций отражены в табл. 4. Зависимость осадки грунта (S) от нагрузки проиллюстрирована на рис. 5.

Зависимость величины осадки и деформационных характеристик элювиальных глинистых грунтов от масштаба исследований

Зависимость величины осадки и деформационных характеристик элювиальных глинистых грунтов от масштаба исследований оценивалась на основе анализа графиков $S = f(P)$, построенных по результатам полевых и лабораторных исследований.

Вид кривых зависимости осадки S от приложенной нагрузки P для исследуемых грунтов при испытании их массива полевыми опытными статическими нагрузками различается (см. рис. 5). По результатам полевых испытаний в скв. 1006а (опыт 1) график $S = f(P)$ имеет едва заметную ступенчатость, что, по всей видимости, свидетельствует о наличии в грунте многоуровневой структуры с различной прочностью структурных связей между элементами грунта. Тогда как по результатам полевых испытаний в скважине 1011а (опыт 2) график $S = f(P)$ характеризуется зависимостью близкой к линейной, начиная с самых

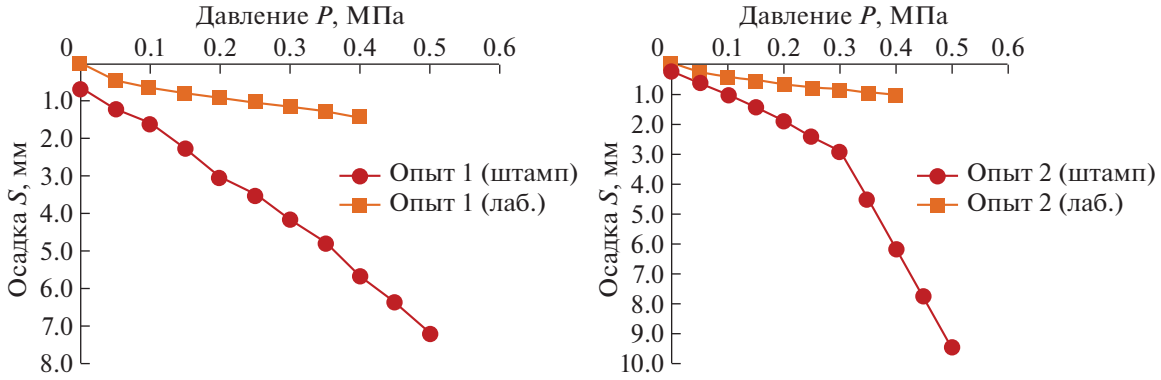

Рис. 5. Зависимость величины осадки грунта *S* от нагрузки *P*.

первых ступеней нагружения и малого давления на грунт. При давлениях больших, чем предел пропорциональности (P = 0.3 МПа) происходит отчетливо выраженное нарушение линейной зависимости и график становится криволинейным. При придельном давлении кривая S = f(P) идет почти параллельно оси ординат или с небольшим наклоном к ней. Такая зависимость характерна для высокопористых и высоковлажных глинистых грунтов, обладающих слабыми структурными связями. Она указывает на преобладание коагуляционных и переходных контактов между частицами [7].

Вид графика S = $f(P)$ по результатам лабораторных исследований в одометре (при одинаковых нормальных нагрузках) практически не изменяется. Величина осадки грунта подвержена незначительным флуктуациям. В лабораторных условиях вид кривой $S = f(P)$ характеризуется наличием относительно больших осадок при первых ступенях давлений (P = 0.05 МПа), которые уменьшаются при последующих ступенях. Такое поведение грунта при проведении компрессионных испытаний связано, как правило, с явлением частичного разуплотнения образца грунта после его отбора и подъема на поверхность.

При сопоставлении графиков $S = f(P)$, построенных по результатам полевых и лабораторных исследований элювиальных глинистых грунтов мезозойского возраста, как было отмечено ранее, наблюдаются существенные различия в видах кривых. Данные различия связаны с разным напряженно-деформируемым состоянием изучаемых грунтов в массиве и образце.

В процессе проведения компрессионных испытаний поведение грунта носит линейно-упругий характер и описывается положениями теории линейного деформирования. Во время проведения полевых испытаний массива элювиальных глинистых грунтов, при нормальных нагрузках, превышающих 0.3 МПа, деформирование грунта приобретает пластический характер (по причине увеличения области эксперимента и, как следствие, иного напряженно-деформируемого состояния грунта) и описывается положениями теории нелинейного деформирования.

Таким образом, на модель механического поведения элювиальных глинистых грунтов влияет размер области эксперимента (масштаба исследований), что прослеживается по результатам настоящих исследований. Увеличение размера области воздействия от образца грунта к грунтовому массиву и внешней нагрузки приводит к повышению значений модуля деформации грунтов.

Закономерности изменения величины осадки элювиальных глинистых грунтов от внешнего давления с течением времени

Величина модуля общей деформации определяется по зависимости $S = f(P)$, полученной в ходе проведения исследований, ограниченных во времени, поскольку каждая ступень давления действует в течение заданного промежутка времени, необходимого для достижения условной стабилизации деформации. Время, затраченное на проведение как лабораторных, так и полевых испытаний несоразмерно меньше, нежели период действия веса здания или сооружения на грунты основания на этапах их строительства и функционирования.

Для оценки изменения величины осадки во времени и возможности ее прогноза на фиксированный момент времени по результатам полевых и лабораторных исследований построен график $S = f(t)$ (см. рис. 6).

Анализ графика $S = f(t)$ показал, что с течением времени происходит увеличение осадки грунта от приложенной нагрузки, причем на величину осадки исследуемых грунтов оказывает влияние площадь внешнего воздействия.

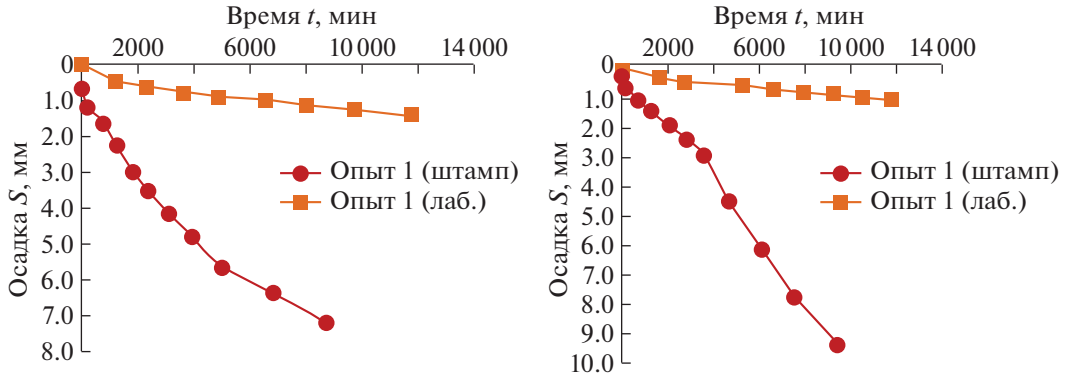

Рис. 6. Изменение величины осадки грунта S с течением времени t.

Анализируя полученные данные, с помощью применения методов математической статистики (программа STATISTICA 6.0), выведены уравнения множественной регрессии зависимости осадки от времени и нагрузки (табл. 5).

ВЫВОДЫ

Анализ полученных данных позволил выявить зависимости величины осадки и модуля деформации элювиальных глинистых грунтов от масштаба исследований.

Результаты исследования деформационных свойств элювиальных глинистых грунтов в процессе проведения лабораторных и полевых работ показали, что увеличение размера области воздействия (от образца грунта до испытания в массиве) при равных нагрузках приводит к увеличению вертикальной деформации (в 6–7 раз) глинистых грунтов коры выветривания.

Анализ графиков $S = f(P)$, построенных по результатам полевых и лабораторных исследований позволил установить, что при одинаковых нормальных нагрузках, чаще всего превышающих 0.3 МПа, в одометре продолжается линейно-упругое деформирование грунта, в то же время при полевых испытаниях элювиальных глинистых грунтов деформирование грунта носит пластический характер. Это обстоятельство вызвано отличием напряженно-деформируемого состояния грунтов в массиве и образце.

Помимо масштаба исследований немаловажное влияние на деформацию и осадку грунта оказывают структурные связи, учет которых по результатам настоящих исследований необходим.

Временной анализ экспериментальных данных позволил установить зависимость осадки от времени и внешнего давления. Результатом исследовательской работы стали уравнения множественной регрессии, позволяющие делать прогноз изменения величины осадки во времени.

Выведенные уравнения множественной регрессии имеют как научное, так и практическое значение. Практическое значение полученных уравнений заключается в возможности оценки ожидаемой величины осадки грунта в процессе

Таблица 5. Уравнения множественной регрессии для исследуемого грунта

Разновидность исследуемого грунта	Уравнение множественной регрессии	Модель уравнения	Коэффициент корреляции
Суглинки дресвяные (содержание дресвы и щебня кварца варьирует от 26.1 до 31%), полутвердые по показателю текучести	**Опыт 1**		
	$S_{шт} = 0.5352 + 10.429P + 0.000017t$	линейная	1
	$S_{лаб} = 0.3476 + 3.5958P - 0.000034t$		1
	Опыт 2		
	$S_{шт} = 0.82 - 8.65P + 0.0014t$	линейная	1
	$S_{лаб} = 0.1829 + 0.6821P + 0.000049t$		0.99

Примечание. Буквенные обозначения в формулах: S – величина осадки по результатам штамповых ($S_{шт}$) и лабораторных ($S_{лаб}$) испытаний, мм; P – величина нагрузки, МПа; t – время приложения внешнего давления, мин.

строительства и эксплуатации зданий или сооружений на определенный период времени, что при проектировании позволит учесть момент достижения грунтом максимальной осадки основания фундаментов и оценить значение модуля деформации в фиксированный момент времени. Научная составляющая выведенных зависимостей заключается в анализе полученных данных и возможности вывода закономерностей изменения деформационных характеристик с течением времени в зависимости от масштаба исследований, что позволит в дальнейшем разработать общую методику оценки деформационных свойств элювиальных глинистых грунтов с учетом временного аспекта.

Следует продолжать исследования в данном направлении. Накопление экспериментальной информации о поведении элювиальных глинистых грунтов под внешней нагрузкой и с течением времени позволит оценить не только величину осадки фундаментов, но и модуль деформации на фиксированный момент времени.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Агишев М.А.* Зависимость между пористостью и модулем деформации, установленная полевыми испытаниями грунтов // Научно-технический бюллетень “Основания и фундаменты”, М.: Госстройиздат, 1957. № 20. С. 3–6.
2. *Аксёнов В.И.* Коэффициенты для корректировки значений модулей деформации, полученных в результате компрессионных испытаний мерзлых грунтов /Электронное научное издание Альманах Пространство и Время, 2013. Т. 4. Вып. 1: [Электронный ресурс]. URL: http://www.j-spacetime.com/actual%20content/t4v1/2227-9490e-aprovr_e-ast4-1.2013.73.php (дата обращения 20.10.2020).
3. *Болдырев Г.Г., Мельников А.В., Меркульев Е.В., Новичков Г.А.* Сравнение методов лабораторных и полевых испытаний грунтов // Инженерные изыскания. 2013. № 14. С. 28–48.
4. *Болдырев Г.Г., Мельников А.В., Новичков Г.А.* Часть III. Интерпретация результатов полевых испытаний с целью определения деформационных характеристик грунтов // Инженерные изыскания. 2014. № 5–6. С. 86–97.
5. *Болдырев Г.Г., Мельников А.В., Новичков Г.А.* Часть IV. Обзор методов полевых испытаний грунтов // Инженерные изыскания. 2011. № 3. С. 8–17.
6. *Болдырев Г.Г.* Методы определения механических свойств грунтов. Пенза: ПГУАС, 2008. 696 с.
7. *Зиангиров Р.С., Кошелев А.Г.* Определение модуля деформации грунтов методом нагружения штампа (к вопросу о пересмотре последней редакции ГОСТ 20276-99) // Инженерные изыскания. 2010. № 2. С. 26–31.
8. *Казанцев В.С.* Определение поправочных коэффициентов к компрессионному модулю деформации пылевато-глинистых элювиальных, неогеновых и палеогеновых грунтов континентального генезиса Челябинской области // Вестник ЮУрГУ. 2007. № 14. С. 38–43.
9. *Маричев В.П.* Взаимосвязь инженерно-геологических свойств элювиальных глинистых грунтов // В сб.: Гидрогеология и инженерная геология Урала, вып. 1, Свердловск, 1976. С. 69–75.
10. *Мирный А.Ю.* Интерпретация результатов лабораторного определения параметров деформируемости грунтов // Сб. матер. IV Междунар. научно-практ. молодежной конф. по геотехнике. Тюмень: Тюменский индустриальный университет, 2018. С. 51–55.
11. *Полищук А.И., Балюра М.В., Фурсов В.В.* Оценка сжимаемости грунтов Томска по результатам штамповых и компрессионных испытаний // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2003. № 1. С. 179–186.
12. *Широков В.Н.* Рекомендации по определению поправочных коэффициентов к компрессионному модулю деформации пылевато-глинистых элювиальных, неогеновых и палеогеновых грунтов континентального генезиса Челябинской области. Челябинск: “ЮжУралТИСИЗ”, 1991. 6 с.
13. *Швецов Г.И., Казанцев В.Г.* О достоверности модуля общей деформации грунта по результатам штамповых испытаний // Горная промышленность. 2009. № 5 (87). С. 71.

EFFECT OF THE STUDY SCALE ON SETTLING AND DEFORMATION MODULUS OF ELUVIAL CLAY SOILS

A. G. Baranovskii[a,#]

[a] *RITOS Ltd., ul. Komarova, 112a, Chelyabinsk, 454071 Russia*

[#] *e-mail: geologia85@mail.ru*

The variability of settling and deformation modulus of eluvial clay soils under the influence of external loading is studied in laboratory and in field. The object of study is Mesozoic eluvial clay formed as a result of chemical weathering of granite gneiss, and being widespread in the area of Chelyabinsk. This study is aimed

at assessing the effect of research scale on settling value and deformation modulus of Mesozoic eluvial clay soils, as well as at identifying their temporal change patterns upon the increasing external pressure on soil. In this case, the scale of study refers to the test area or the impact area on the studied soils, to which the interaction between the experimental device (a stamp loaded for assessing the deformability of ground massifs or a compression device for testing soil samples) and soils is restricted. To achieve this goal, field and laboratory studies of eluvial soils were carried out in the designed civil construction area. The variability of settling and deformation modulus of eluvial clay soils was assessed by comparing the data of laboratory studies of the physical and mechanical properties of eluvial clay soils with the data of field tests with a type III stamp ($S = 600$ cm^2). A comparative analysis of field and laboratory studies showed that the scale of research has an important effect on settling and deformation modulus of the studied soils, namely, the deformability of eluvial clay rises with an increase in the impact area. As proceeds from the graphs $S = f$ (P), built on the basis of field and laboratory studies, under the same normal loads, most often exceeding 0.3 MPa, linear elastic deformation of the soil goes in the odometer; whereas, in field tests, the eluvial clay undergoes plastic deformation. This is caused by different stress-strain state of soil in a massif and in a sample. In addition, structural bonds have an important effect on the deformation and settling of the soil, which should be taken into account according to the results of these studies. Time analysis of the experimental data revealed the dependence of settling on time and external pressure. The research resulted in obtaining the multiple regression equations, which permit predicting the settling variation with time.

Keywords: *eluvial clay soils*, *field and laboratory tests*, *time changes*, *physical and mechanical properties of soils*, *vertical static load*, *plate load test*, *soil deformation modulus*, *settling*, *study scale*, *area of experiment*, *regression equation*

REFERENCES

1. Agishev, M.A. *Zavisimost' mezhdu poristost'yu i modulem deformatsii, ustanovlennaya polevymi ispytaniyami gruntov* [The relationship between porosity and deformation modulus established by field soil tests]. *Nauchno-tekhnicheskii byulleten' "Osnovaniya i fundamenty",* Moscow, Gosstroiizdat, 1957, no. 20, pp. 3–6. (in Russian)
2. Aksenov, V.I. *Koeffitsienty dlya korrektirovki znachenii modulei deformatsii, poluchennykh v rezul'tate kompressionnykh ispytanii merzlykh gruntov* [Correction coefficients for frozen soils deformation modules determined by the compression tests]. *Prostranstvo i vremya,* 2013, vol. 4, no. 1. Available at: http://www.j-spacetime.com/actual%20content/t4v1/2227-9490e-aprovr_e-ast4-1.2013.73.php (accessed 20.10.2020). (in Russian)
3. Boldyrev, G.G., Mel'nikov, A.V., Merkul'ev, E.V., Novichkov, G.A. *Sravnenie metodov laboratornykh i polevykh ispytanii gruntov* [Comparison of methods of laboratory and field soil testing]. *Inzhenernye izyskaniya*, 2013, no. 14, pp. 28–48. (in Russian)
4. Boldyrev, G.G., Mel'nikov, A.V., Novichkov, G.A. *Chast' III. Interpretatsiya rezul'tatov polevykh ispytanii s tsel'yu opredeleniya deformatsionnykh kharakteristik gruntov* [Part III. Interpretation of field test results to determine soil deformation characteristics]. *Inzhenernye izyskaniya*, 2014, no. 5–6, pp. 86–97. (in Russian)
5. Boldyrev, G.G., Mel'nikov, A.V., Novichkov, G.A. *Chast' IV. Interpretatsiya rezul'tatov polevykh ispytanii s tsel'yu opredeleniya deformatsionnykh kharakteristik gruntov* [Part IV. Interpretation of laboratory test results to determine soil deformation characteristics]. *Inzhenernye izyskaniya*, 2011, no. 3, pp. 8–17. (in Russian)
6. Boldyrev, G.G. *Metody opredeleniya mekhanicheskikh svoistv gruntov* [Methods for determining the mechanical properties of soils]. Penza, PGUAS Publ., 2008, 696 p. (in Russian)
7. Ziangirov, R.S., Koshelev, A.G. *Opredelenie modulya deformatsii gruntov metodom nagruzheniya shtampa (k voprosy o peresmotre poslednei redaktsii GOST 20276-99)* [Determination of the soil deformation modulus of the plate load test (to the revision of the latest edition of GOST 20276-99)]. *Inzhenernye izyskaniya,* 2010, no. 2, pp. 26–31 (in Russian)
8. Kazantsev, V.S. *Opredelenie popravochnykh koeffitsientov k kompressionnomu modulyu deformatsii pylevatoglinistykh elyuvial'nykh, neogenovykh i paleogenovykh gruntov kontinental'nogo genezisa Chelyabinskoi oblasti* [Determination of correction factors for the compression modulus of deformation of silty-clayey eluvial Neogene and Paleogene soils of continental genesis in the Chelyabinsk region]. *Vestnik YuURGU,* 2007, no. 14, pp. 38–43. (in Russian)
9. Marichev, V.P. *Vzaimosvyaz' inzhenerno-geologicheskikh svoistv elyuvial'nykh glinistykh gruntov* [The relationship between engineering geological properties of eluvial clayey soils]. In: *Gidrogeologiya i inzhenernaya geologiya Urala* [Hydrogeology and engineering geology of the Urals], Sverdlovsk, 1976, issue 1, pp. 69–75 (in Russian).
10. Mirnyi, A.Yu. *Interpretatsiya rezul'tatov laboratornogo opredeleniya parametrov deformiruemosti gruntov* [Interpretation of the results of laboratory determination of soil deformability parameters]. *Proc. IV International Scientific and Practical Youth Conference on Geotechnical Engineering.* Tyumen, Tyumen Industrial University Publ., 2018, pp. 51–55. (in Russian)

11. Polishchuk, A.I., Balyura, M.V., Fursov, V.V. *Otsenka szhimaemosti gruntov Tomska po rezul'tatam shtampovykh i kompredssionykh ispytanii* [Assessment of soil compressibility in Tomsk on the basis of plate load and compression tests]. *Bulletin of the Tomsk State Architectural and Construction University.* 2003, no. 1. pp. 179–186. (in Russian)
12. Shirokov, V.N. *Rekomendatsii po opredeleniyu popravochnykh koeffitsientov k kompressionnomy modulyu deformatsii pylevato-glinistykh eluvial'nykh, neogenovykh i paleogenovykh gruntov kontinental'nogo genezisa Chelyabinskoi oblasti* [Recommendations for determination of correction factors for the compression modulus of deformation of silty-clayey eluvial Neogene and Paleogene soils of continental genesis in the Chelyabinsk region]. Chelyabinsk, YuzhUralTISIZ Publ., 1991, 6 p. (in Russian)
13. Shvetsov, G.I., Kazantsev, V.G. *O dostovernosti modulya obshchei deformatsii grunta po rezul'tatam shtampovykh ispytanii* [On the reliability of the total soil deformation modulus according to the results of stamping tests]. *Gornaya promyshlennost'*, 2009, no. 5 (87), p. 71. (in Russian)