Богомолов А.Н., Олянский Ю.И., Щекочихина Е.В., Кузьменко И.Ю., Чарыкова С.А. Особенности оценки просадочных свойств лессовых пород при проектировании оснований и фундаментов в Центральной Молдавии // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Строительство и архитектура. – 2016. – Т. 7, № 3. – С. 46–53. DOI: 10.15593/2224-9826/2016.3.05

Bogomolov A.N., Olianskii Yu.I., Schekochikhina E.V., Kuz'menko I.Yu., Charykova S.A. The estimation of subsidence properties of loess rocks in the design of bases and foundations in Central Moldova. *PNRPU Bulletin. Construction and Architecture*. 2016. Vol. 7, no. 3. Pp. 46-53. DOI: 10.15593/2224-9826/2016.3.05

**ВЕСТНИК ПНИПУ.
СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА
Т. 7, № 3, 2016
PNRPU BULLETIN.
CONSTRUCTION AND ARCHITECTURE**
<http://vestnik.pstu.ru/arhit/about/inf/>

DOI: 10.15593/2224-9826/2016.3.05

УДК 624.131.23

ОСОБЕННОСТИ ОЦЕНКИ ПРОСАДОЧНЫХ СВОЙСТВ ЛЕССОВЫХ ПОРОД ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ ОСНОВАНИЙ И ФУНДАМЕНТОВ В ЦЕНТРАЛЬНОЙ МОЛДАВИИ

**А.Н. Богомолов, Ю.И. Олянский, Е.В. Щекочихина,
И.Ю. Кузьменко, С.А. Чарыкова**

Волгоградский государственный архитектурно-строительный университет, Волгоград, Россия

О СТАТЬЕ

Получена: 03 июня 2016
Принята: 16 июня 2016
Опубликована: 30 сентября 2016

Ключевые слова:

лессовые породы, просадочность, начальное просадочное давление, просадка лессовой толщи, компрессионные испытания

АННОТАЦИЯ

Изучалась просадочность субэкранных покровных глинистых отложений, распространенных в периферийной части Центрально-Молдавской возвышенности на территории Северного Причерноморья. Анализировались данные о величине относительной просадочности и начальном просадочном давлении, полученные различными лабораторными и полевыми методами исследования. Предложены регрессионные уравнения и корректировочные коэффициенты взаимосвязи результатов лабораторных и полевых методов оценки просадочности.

© ПНИПУ

© **Богомолов Александр Николаевич** – доктор технических наук, профессор, e-mail: banzaritcyn@mail.ru.
Олянский Юрий Иванович – доктор геолого-минералогических наук, профессор, e-mail: olyansk@list.ru.
Щекочихина Евгения Викторовна – кандидат геолого-минералогических наук, доцент, e-mail: evg-schek@yandex.ru.
Кузьменко Ирина Юрьевна – инженер, e-mail: ikuzmenk@rambler.ru.
Чарыкова Светлана Анатольевна – кандидат геолого-минералогических наук, e-mail: weta.07@list.ru.

Aleksandr N. Bogomolov – Doctor of Technical Sciences, Professor, e-mail: banzaritcyn@mail.ru.
Iurii I. Olianskii – Doctor of Geological and Mineralogical Sciences, Professor, e-mail: olyansk@list.ru.
Evgeniia V. Shchekochikhina – Ph.D. in Geological and Mineralogical Sciences, e-mail: evg-schek@yandex.ru.
Irina Iu. Kuz'menko – Engineer, e-mail: ikuz-menk@rambler.ru.
Svetlana A. Charykova – Ph.D. in Geological-Mineralogical Sciences, e-mail: weta.07@list.ru.

THE ESTIMATION OF SUBSIDENCE PROPERTIES OF LOESS ROCKS IN THE DESIGN OF BASES AND FOUNDATIONS IN CENTRAL MOLDOVA

A.N. Bogomolov, Iu.I. Olianskii, E.V. Shchekochikhina,
I.Iu. Kuz'menko, S.A. Charykova

Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering, Volgograd, Russian Federation

ARTICLE INFO

Received: 03 June 2016
Accepted: 16 June 2016
Published: 30 September 2016

Keywords:

loessial breeds, prosadochnost,
initial collapsible pressure, sag of loessial
thickness, compression tests

ABSTRACT

The prosadochnost the subaerelnykh of the integumentary clay deposits widespread in peripheral part of the Central Moldavian height in the territory of Northern Black Sea Coast was studied. Convergence of data on the size of a relative prosadochnost and initial collapsible pressure, received by various laboratory and dusty methods of researches was analyzed. The regression equations and adjustment coefficients of interrelation of laboratory and field methods are offered.

© PNRPU

Введение

Лессовые просадочные грунты широко распространены в Центральной Молдавии, где расположены такие крупные города, как Кишинев, Тирасполь, Бендеры и др. Здания и сооружения здесь очень часто возводятся на лессовых основаниях. В целом строительство на таких грунтах небольшой мощности уже не представляет серьезной проблемы. Однако при больших мощностях просадочной толщи и возможной просадке от собственного веса грунта более 10,0–20,0 см здания часто претерпевают деформации, что требует дополнительных материальных затрат на их реконструкцию. В связи с этим цель настоящей работы заключается в анализе различных методов оценки просадочности лессовых пород, осуществляемой на стадии инженерно-геологических изысканий и выработки рекомендаций для проектировщиков и изыскателей. Научный материал, положенный в основу настоящей статьи, представляет собой результаты инженерно-геологических изысканий, выполненных на объектах строительства, и специальных научных исследований, осуществленных под руководством Ю.И. Олянского в различных производственных и научных организациях г. Кишинева в разные годы.

Геоморфологическая область Центральной Молдавии представляет собой эрозионную возвышенность высотой около 420 м над уровнем моря, испытавшей положительные неотектонические движения на протяжении всего четвертичного периода. В результате этого на поверхности обнажаются неогеновые сармат-меотические породы, представленные глинами с прослоями мелкого и пылеватого песка. Вследствие эрозионных процессов на протяжении всего четвертичного периода происходили денудация и снос мелкозема в периферийные части возвышенности, где в результате субаэрального процесса происходили накопление осадка и преобразование его в глинистые породы. Особенностью этих отложений является невысокое содержание пылевой фракции (17,0–30,0 % по гранулометрическому и 22,0–37,0 % по микроагрегатному составу) и высокое содержание глинистых (10,0–20,0 %) и песчаных (14,0–50,0 %) частиц. Такие грунты в соответствии с ГОСТ 25100–95 принято именовать лессовыми. Представлены они супесями, легкими и средними суглинками. Минеральный состав дисперсной фракции включает в основном гидрослюдисто-монтморионитовые минералы при некотором преобладании последних [1].

Особенности генезиса и механического состава проявились в физических свойствах отложений: невысокой общей пористости (в среднем около 0,43 %) и высокой плотности сухого грунта (в среднем 1,50–1,60 г/см³). Влажность пород при этом остается достаточно небольшой и редко превышает значение 0,16–0,17, что является следствием хорошей природной дренированности лессовых толщ и приуроченности региона к области недостаточного увлажнения с коэффициентом увлажнения $K_{ув} = 0,80$ [2].

1. Методика выполнения работ

Исследования выполнялись на территории г. Кишинева, характеризующейся почти повсеместным распространением лессовых пород. Были выбраны два участка: первый – район Буюкань, второй – район Будешть. Мощность лессовых пород на первом участке достигает 16,0–18,0 м, на втором – 30,0–35,0 м. На каждом из участков выполнен комплекс полевых работ, состоящий из проходки буровых скважин и дудок, в которых отбирались образцы лессовых пород ненарушенного сложения. Выполнялись исследования по изучению просадочности в основании стандартного штампа. Было произведено замачивание опытных котлованов по стандартной и ускоренной методикам.

Лабораторные исследования просадочности грунтов. Компрессионные испытания выполнялись в соответствии с ГОСТ 23161–78¹. Одновременно испытывались два образца – природной влажности и водонасыщенный. При достижении нагрузки 0,3 МПа сухая ветвь замачивалась, и фиксировалась деформация просадки. Такая методика испытаний позволяет получить характеристики просадочности (относительную просадочность) по схеме «двух кривых» и «одной кривой».

Полевые штамповые испытания. Испытания просадочных пород статическими нагрузками с замачиванием в полевых условиях осуществлялись стандартным круглым штампом площадью 5000 см², который устанавливался в дудке диаметром 900 мм, глубиной 4,0–6,0 м. Замачивание пород в основании штампа осуществлялось через дно дудки и дренажные скважины, пройденные вокруг штампа на расстоянии 0,5 м от последнего. Глубина дренажных скважин на 1,5 м превышала глубину установки штампа.

Испытания выполнялись по упрощенному методу и методу «двух кривых». Первый метод заключался в обжатию пород природной влажности ступенями нагрузок 0,025 МПа до нагрузки 0,25 МПа. После условной стабилизации производили замачивание пород и дальнейшее их обжатие до нагрузки 0,30–0,40 МПа. Испытания по методу «двух кривых» проводились параллельно в двух дудках на расстоянии 4,0–5,0 м одна от другой. Штампы устанавливались на одинаковой глубине. Один испытывал грунты природной влажности, другой – водонасыщенные. За начальное просадочное давление принималась нагрузка условного предела пропорциональности, при неявно выраженном пределе – нагрузка, при которой просадочная деформация в основании штампа превышала значение $0,005h_g$, где h_g – величина активной зоны штампа².

Замачивание опытных котлованов. Определение просадки лессовой толщи от собственного веса грунта является важнейшей задачей инженерно-геологических изысканий для строительства³ [3], которая может быть решена и в большинстве случаев решается с использованием результатов компрессионных испытаний. Однако наиболее надежным методом определения возможной просадки толщи является метод опытных замачиваний в полевых условиях. Выполнены замачивания двух котлованов по методике, изложенной

¹ ГОСТ 23161–76. Грунты. Метод лабораторного определения характеристик просадочности. – М., 1978.

² ГОСТ 12374–77. Грунты. Метод полевого испытания статическими нагрузками. – М., 1979.

³ СНиП 2.02.01–83. Основания зданий и сооружений. – М.: Стройиздат, 1983.

в СНиП 2.02.01–83 [4]. Для оценки просадки поверхности дна котлована были установлены поверхностные марки, а для оценки просадки толщи по глубине – глубинные реперы по два на каждую литологическую разновидность лессовых толщ.

Параллельно с замачиванием опытных котлованов по стандартной методике были выполнены замачивания двух опытных котлованов площадью 5 м² по ускоренной методике [5, 6].

2. Результаты исследования и их обсуждение

Оценивалось сходство результатов определения просадочности образцов лессовых пород в компрессионном приборе по схемам «двух кривых» и «одной кривой». Для этого был использован корректировочный коэффициент K , равный соотношению

$$K = \frac{\varepsilon_{sl}^2}{\varepsilon_{sl}^1},$$

где ε_{sl}^2 – величина относительной просадочности образца при нагрузке 0,3 МПа, определенная по схеме «двух кривых»; ε_{sl}^1 – величина относительной просадочности образца при нагрузке 0,3 МПа, определенная по схеме «одной кривой».

В табл. 1 дано распределение корректировочного коэффициента K в зависимости от типа лессовых пород и интервалов его значений.

Таблица 1

Логнормальное распределение значений коэффициента K , %

Table 1

The lognormal distribution of values of the coefficient K , %

Типы лессовых пород	Количество определений	Интервалы значений коэффициента K					
		До 1,0	1,0–1,5	1,5–2,0	2,0–2,5	2,5–3,0	Более 3,0
Супеси и легкие суглинки	143	17,2	52,5	16,5	4,3	2,8	6,7
Средние суглинки	92	20,1	53,2	11,2	4,7	3,6	7,1

Статистические характеристики корректировочного коэффициента K приведены в табл. 2.

Анализ данных табл. 1 и 2 показывает, что для субэдральных отложений Центральной Молдавии характерно завышение значений величины относительной просадочности, полученной испытанием в компрессионных приборах по схеме «двух кривых», над значениями этой же величины, определенной по схеме «одной кривой», в среднем на 10–20 %. Как свидетельствуют исследования ряда авторов [7–9], эти методы испытаний практически никогда не дают одинаковых результатов. «...Иногда эти различия... зависят от неоднородности грунтов в монолите... В других случаях можно предположить влияние предварительного набухания глинистых минералов при замачивании образцов без пригрузки, влияние более длительного увлажнения грунта или другие причины...» [9, с. 20]. Результаты замачивания лессовых пород в основании штампа приведены в табл. 3.

Таблица 2

Характеристики коэффициента K

Table 2

Features of the K coefficient

Типы лессовых пород	Статистические характеристики			
	Среднее	Пределы колебания	Стандартное отклонение	Количество определений
Супеси и легкие суглинки	1,11	0,71–2,33	0,54	143
Средние суглинки	1,20	0,58–2,02	0,63	92

Таблица 3

Результаты штамповых испытаний лессовых пород

Table 3

The results of stamping tests of loess rocks

Типы лессовых пород	Осадка штампа до замачивания, мм	Осадка штампа в процессе замачивания, мм	Начальное просадочное давление, МПа	Количество опытов
Супесь	7,2	14,2	0,08	7
Легкий суглинок	7,0	12,2	0,16	4
Средний суглинок	4,9	2,9	0,16	4
Тяжелый суглинок	9,3	4,7	0,29	6

В табл. 4 приведены значения величины начального просадочного давления, рассчитанные по компрессионным испытаниям и статическим нагрузкам на штамп.

Таблица 4

Значения начального просадочного давления лессовых пород, определенного различными методами

Table 4

The initial subsidence pressure of loess rocks, certain various other methods

Типы лессовых пород	Физические характеристики			Начальное просадочное давление, МПа		Корректировочный коэффициент $K = \frac{P_{sl}^n}{P_{sl}^m}$
	W	J_p	$n, \%$	P_{sl}^n	P_{sl}^m	
Супеси и легкие суглинки	0,11	0,08	45,6	$\frac{0,08}{77; 0,06}$	$\frac{0,09}{10; 0,008}$	0,87
Средние и тяжелые суглинки	0,15	0,12	46,5	$\frac{0,14}{75; 0,005}$	$\frac{0,19}{22; 0,13}$	0,73

Примечание: P_{sl}^n , P_{sl}^m – по результатам компрессионных и штамповых испытаний соответственно; в числителе – среднее, в знаменателе – количество определений и стандартное отклонение.

Анализ данных табл. 3 и 4 позволяет сделать следующие выводы. Начальное просадочное давление изученных лессовых пород увеличивается с повышением их глинистости от супесей до тяжелых суглинков примерно в 3 раза. Начальное просадочное давление по

штамповым испытаниям для всех литологических типов лессовых пород региона превышает значения, полученные по компрессионным испытаниям, в среднем на 12–27 %.

Соотношение между величинами относительной просадочности пород, определенной методом статических нагрузок на штамп и полученной в лабораторных условиях при нагрузке 0,25 МПа, изучено для двух типов отложений:

а) супеси и легкие суглинки:

$$\varepsilon_{sl}^{0,25} = 0,3472\varepsilon_{sl}^{0,25} - 0,0034; \quad r = 0,85;$$

б) средние суглинки:

$$\varepsilon_{sl}^{0,25} = 0,9778\varepsilon_{sl}^{0,25} - 0,0186; \quad r = 0,91.$$

В табл. 5 дана сравнительная оценка величины относительной просадочности, определенной различными полевыми и лабораторными методами.

Таблица 5

Сравнительная характеристика величины
по данным различных методов исследований

Table 5

Comparative characteristic values $\varepsilon_{sl}^{0,25}$ according to various research methods

Метод определения показателя	1-й участок (мкр. Боюкань)	2-й участок (мкр. Будешть)
	Супеси и легкие суглинки	Средние и тяжелые суглинки
Компрессионные испытания по схеме «двух кривых»	0,015	0,011
Компрессионные испытания по схеме «одной кривой»	0,012	0,005
Нагрузка на стандартный штамп площадью 5000 см ²	0,007	0,004
Замачивание котлована по стандартной методике	0,002	0
Замачивание котлована по ускоренной методике	0,003	0,004

Анализ данных табл. 5 позволяет сделать вывод о том, что для грунтовых условий г. Кишинева результаты полевых методов определения величины относительной просадочности лучше всего сходятся с результатами компрессионных испытаний методом «одной кривой», что не противоречит выводам других исследователей для аналогичных лессовых пород [10–12].

Выводы

Субэзральные покровные отложения, распространенные в периферийной части Центрально-Молдавской возвышенности, обладают признаками лессовидности: желтый, палево-желтый цвет и макропористость. Однако их механический состав существенно отличается от истинно пылеватых лессов. Содержание пылеватых частиц у них крайне невелико и редко достигает значение 50 %. Содержание песчаных и глинистых частиц также весьма не свойственно истинным лессам. Высокое содержание (до 60 %) в дисперсной фракции сильнонабухающего монтмориллонита тоже не свидетельствует в пользу истинной лессовидности, а яв-

ляется следствием субэразмального генезиса (делювиального, пролювиального и др.). Тем не менее данные породы в соответствии с ГОСТ 25100–95 можно именовать лессовыми, поскольку они обладают просадочными свойствами при увлажнении вследствие искусственного замачивания. Знания особенностей проявления просадочности этих отложений, охарактеризованные в настоящей статье, будут полезны изыскателям и проектировщикам, занимающимся проектированием и строительством на аналогичных породах в инженерно-геологических условиях Северного Причерноморья и других регионах юга Русской платформы.

Библиографический список

1. Олянский Ю.И. Лессовые грунты юго-западного Причерноморья (в пределах Республики Молдова). – Кишинев: Штиница, 1992. – 129 с.
2. Олянский Ю.И., Богдевич О.П., Вовк В.М. Инженерно-геологические особенности лессовых пород Молдовы // Геозкология. Инженерная геология. Гидрогеология. Геокриология. – 1994. – № 1. – С. 65–75.
3. Задачи инженерно-геологических изысканий при проектировании оснований и фундаментов на просадочных грунтах / Ю.И. Олянский, С.И. Махова, Т.М. Тихонова, О.В. Киселева // Надежность и долговечность строительных материалов, конструкций и оснований фундаментов: материалы VI Междунар. науч.-техн. конф. – Волгоград, 2011. – С. 245–248.
4. Пособие по проектированию оснований зданий и сооружений (к СНиП 2.02.01–83). – М.: Стройиздат, 1986. – 416 с.
5. Крутов В.И., Попсуенко Н.К. Ускоренный метод определения просадочности лессовых грунтов замачиванием котлованов небольшой площади // Инженерная геология. – 1981. – № 3. – С. 108–116.
6. Оценка просадочности лессовых оснований полевыми и лабораторными методами / А.Н. Богомоллов, Г.М. Скибин, Ю.И. Олянский, С.И. Махова, А.Ф. Алексеев, Б.Ф. Галай // Вестник Волгоград. гос. арх.-строит. ун-та. Строительство и архитектура. – 2015. – Вып. 40 (59). – С. 98–115.
7. Ананьев В.П. Минералогический состав и свойства лессовых пород. – Ростов н/Д: Изд-во Ростов. гос. ун-та, 1964. – 143 с.
8. Садэтова Э.М. Сопоставление методов оценки просадочности лессовых пород // Вопросы исследования лессовых грунтов, оснований и фундаментов. – Ростов н/Д: Изд-во Ростов. гос. ун-та, 1970. – Вып. 2. – С. 90–98.
9. Кригер Н.И. Состояние вопроса об оценке просадочных свойств лессовых грунтов (обзор). – М.: ПНИИИС, 1972. – 60 с.
10. Богомоллов А.Н., Олянский Ю.И. Инженерно-геологические аспекты взаимодействия глинистых пород с водой (на примере сарматских глин и лессовых пород). – Волгоград: Изд-во Волгоград. гос. арх.-строит. ун-та, 2016. – 351 с.
11. Инженерно-геологическая характеристика лессовых пород междуречья Прут – Днестр / А.Н. Богомоллов, Ю.И. Олянский, С.И. Шиян, Т.М. Тихонова, О.В. Киселева // Вестник Волгоград. гос. арх.-строит. ун-та. Строительство и архитектура. – 2011. – Вып. 24 (43). – С. 33–45.
12. Изменение состава и свойств лессовых пород при техногенном обводнении / А.Н. Богомоллов, Ю.И. Олянский, Е.В. Щекочихина, Т.М. Тихонова, И.Ю. Кузьменко. – Волгоград: Изд-во Волгоград. гос. арх.-строит. ун-та, 2015. – 204 с.

References

1. Olianskii Iu.I. Lessovye grunty iugo-zapadnogo Prichernomor'ia [The loess soils of South-Western black sea]. Chisinau: Shtinita, 1992. 129 p.
2. Olianskii Iu.I., Bogdevich O.P., Vovk V.M. Inzhenerno-geologicheskie osobennosti lessovykh porod Moldovy [Engineering-geological features of the loess rocks of Moldova]. *Geoekologiya. Inzhenernaia geologiya. Gidrogeologiya. Geokriologiya*. Moscow, 1994, no. 1, pp. 65-75.
3. Olianskii Iu.I., Makhova S.I., Tikhonova T.M., Kiseleva O.V. Zadachi inzhenerno-geologicheskikh izyskaniy pri proektirovanii osnovanii i fundamentov na prosadochnykh gruntakh [Tasks of engineering-geological surveys for designing bases and foundations on collapsible soils]. *Materialy VI Mezhdunarodnoi nauchno-tehnicheskoi konferentsii "Nadezhnost' i dolgovechnost' stroitel'nykh materialov, konstruktiv i osnovanii fundamentov"*. Volgograd, 2011, pp. 245-248.
4. Posobie po proektirovaniyu osnovanii zdaniy i sooruzheniy (k SNiP 2.02.01–83) [Benefit on designing of bases of buildings and constructions]. Moscow, 1986. 416 p.
5. Krutov V.I., Popsuenko N.K. Uskorennyi metod opredeleniya prosadochnosti lessovykh gruntov zamachivaniem kotlovanov nebol'shoi ploshchadi [A rapid method for the determination of the subsidence of loess soils soaking pits small area]. *Inzhenernaia geologiya*, 1981, no. 3, pp. 108-116.
6. Bogomolov A.N., Skribin G.M., Olianskii Iu.I., Makhova S.I., Alekseev A.F., Galai B.F. Otsenka prosadochnosti lessovykh osnovanii polevymi i laboratornymi metodami [Evaluation of the subsidence of loess grounds field and laboratory methods]. *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Stroitel'stvo i arkhitektura*, 2015, iss. 40 (59), pp. 98-115.
7. Anan'ev V.P. Mineralogicheskii sostav i svoystva lessovykh porod [Mineralogical composition and properties of loess rocks]. Rostov-na-Donu: Rostovskii gosudarstvennyi universitet, 1964. 143 p.
8. Sadetova E.M. Sopostavlenie metodov otsenki prosadochnosti lessovykh gruntov [Comparison of methods for the evaluation of subsidence of loess soils]. *Voprosy issledovaniia lessovykh gruntov, osnovanii i fundamentov*. Rostov-na-Donu: Rostovskii gosudarstvennyi universitet, 1970, iss. 2, pp. 90-98.
9. Kriger N.I. Sostoianie voprosa ob otsenke prosadochnykh svoystv lessovykh gruntov (obzor) [The state of the question of the assessment of subsidence properties of loess soils (review)]. Moscow, 1972. 60 p.
10. Bogomolov A.N., Olianskii Iu.I. Inzhenerno-geologicheskie aspekty vzaimodeistviia glinistykh porod s vodoi (na primere sarmatskikh glin i lessovykh porod) [Geotechnical aspects of the interaction of clay with water (on the example of sarmatian clays and loess rocks)]. Volgograd, 2016. 351 p.
11. Bogomolov A.N., Olianskii Iu.I., Shiian S.I., Tikhonova T.M., Kiseleva O.V. Inzhenerno-geologicheskaya kharakteristika lessovykh porod mezhdurech'ia Prut – Dnestr [Engineering-geological characteristics of loess rocks between the rivers Prut – Nistru]. *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Stroitel'stvo i arkhitektura*, 2011, iss. 24 (43), pp. 33-45.
12. Bogomolov A.N., Olianskii Iu.I., Shehekochikhina E.V., Tikhonova T.M., Kuz'menko I.Iu. Izmenenie sostava i svoystv lessovykh porod pri tekhnogennom obvodnenii [Changes in the composition and properties of loess rocks in the man-made flooding]. Volgograd, 2015. 204 p.