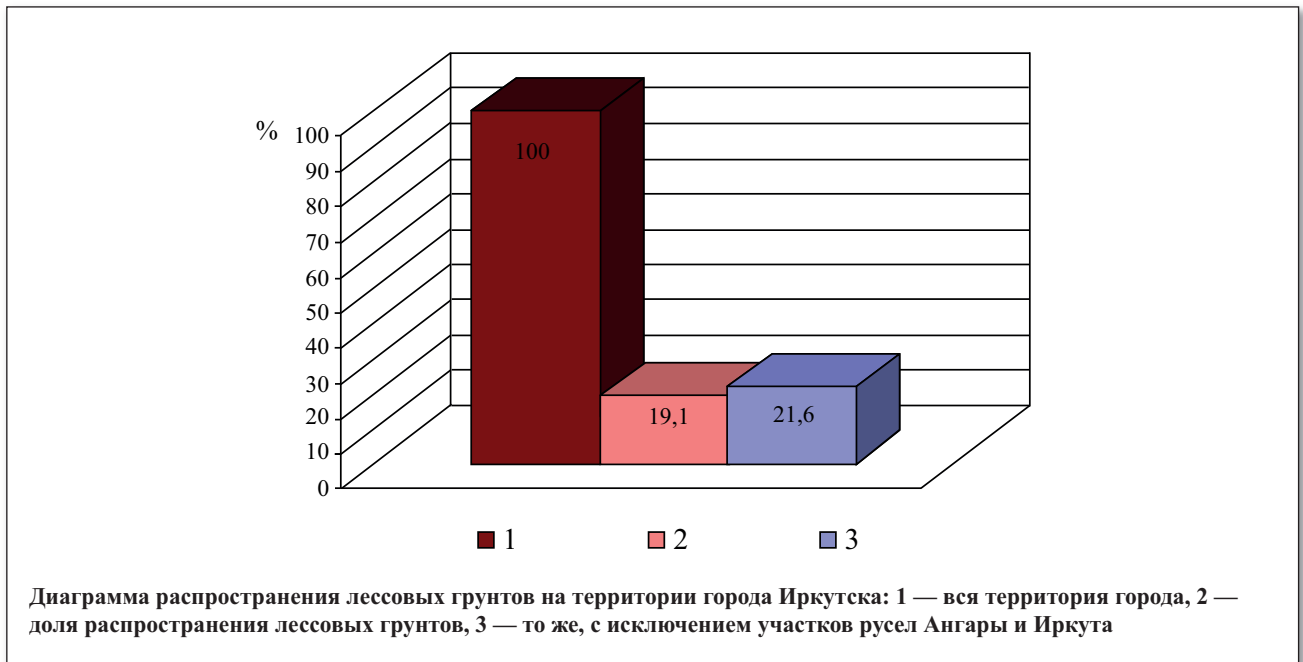


ВЗАИМОСВЯЗИ НАБУХАНИЯ И УСАДКИ ГЛИНИСТЫХ И ЛЕССОВЫХ ГРУНТОВ

В ПОРЯДКЕ ДИСКУССИИ

DOI 10.25296/1993-5056-2017-6-24-32

УДК 624.131.1 (571.5)



РЯЩЕНКО Т.Г.

Институт земной коры СО РАН, д.г.-м.н., профессор, г. Иркутск, Россия, ryashenk@crust.irk.ru

Аннотация

Рассматривается характер взаимосвязи между относительным набуханием и объемной усадкой глинистых и лессовых грунтов. Оценивается возможность их адекватности (соответствия) или антагонизма (противоречия). Приведены примеры из практики инженерных изысканий на территории Турции (анкарские глины), России (золотые глины, город Невинномысск на Северном Кавказе) и США (прогнозирование набухания глинистых грунтов, Оклахома), которые показывают необходимость одновременного изучения этих опасных свойств и выяснения факторов их проявления. Представлены результаты эксперимента и исследований по трем объектам: пролювиальные лессовые грунты (р III–IV) разреза Десятниково (Бурятия); озерные глины (I III–IV) опорной геологической скв. 45-б (Приморье, район о. Ханка), глины юрской угленосной формации (инженерно-геологические скважины на площадке инженерных изысканий, микрорайон Топкинский, г. Иркутск). При обработке данных использованы программы «Стандартная статистика» и «Кластер-анализ» R-типа; микроструктурные параметры определялись по методу «Микроструктура», состав глинистых минералов — с помощью рентгеноструктурного анализа. Отсутствие взаимосвязей между набуханием и усадкой подтверждается результатами эксперимента в условиях изменения влажности образцов-паст (аллювиальные глинистые грунты), данными определения этих показателей для пролювиальных лессовидных супесей и связанных песков разреза Десятниково (Бурятия) и глин юрской угленосной формации (г. Иркутск). Проявление корреляции набухания и усадки установлено только для озерных глин из района о. Ханка (Приморье), обогащенных смектитом.

Показано, что основные факторы набухания глинистых и лессовых грунтов — состав глинистых минералов, степень агрегированности (количество агрегатов), реальное содержание фракции < 0,002 мм, содержание первичных (свободных) тонко-мелкопесчаных (0,25–0,05 мм) частиц; а также усадка с перечисленными факторами набухания, вероятнее всего, не связана, что является, по-видимому, причиной несоответствия в проявлении этих физико-химических свойств; для выяснения степени опасности грунтовой толщи в связи с набуханием или усадкой необходимо в процессе инженерных изысканий в лабораторных условиях на образцах-дубликатах определять величину этих показателей.

Ключевые слова:

набухание; усадка; эксперимент; глинистые и лессовые грунты; взаимосвязи; кластерный анализ; инженерно-геологические изыскания

Ссылка для цитирования:

Рященко, Т.Г., 2017. Взаимосвязи набухания и усадки глинистых и лессовых грунтов. Инженерная геология, № 6, с. 24–32. DOI 10.25296/1993-5056-2017-6-24-32

INTERRELATIONSHIPS OF THE SWELLING AND THE SHRINKAGE OF THE CLAY AND THE LOESSIAL SOILS

RYASHCHENKO T.G.

Institute of the Earth's Crust SB RAS, DSc (Doctor of Science in Geology and Mineralogy), professor, Irkutsk, Russia, ryashenk@crust.irk.ru

Abstract

The article considers the character of the interrelationship between the relative swelling and the volumetric shrinkage of the clay and the loessial soils. The possibility of their adequacy (accordance) or antagonism (contradiction) was estimated. Examples are given from the practice of engineering surveys in Turkey (Ankara clays), Russia (eolian clays, the city of Nevinnomyssk in the North Caucasus) and the USA (forecasting the swelling of clayey soils, Oklahoma), which show the need for simultaneous study of these dangerous properties and elucidation of the factors of their manifestation. The results of experiment and investigations were presented for three objects: the proluvial loessial soils (p III–IV) of the lithological section Desyatnikov (Buryatia); the lacustrine clays (I/III–IV) of the test hole 45-b (Primorye, the area of the lake Khanka); the clays of the Jurassic coal-bearing formation (engineering geological boreholes on the survey area, the microdistrict Topkinskiy, c. Irkutsk). The programs «Standard statistics» and «Cluster analysis» of the R-type microstructural parameters were determined by the method of «Microstructure», the composition of clay minerals — using X-ray diffraction analysis. The absence of interrelations between swelling and shrinkage is confirmed by the results of the experiment under conditions of a change in the moisture content of the paste samples (alluvial clay soils), the data for determining these indices for proluvial loess-like sandy loams and cohesive sands of the Desyatnikovo (Buryatiya) section and the clay of the Jurassic coal-bearing formation (Irkutsk). The manifestation of the correlation of swelling and shrinkage was established only for lake clays from the area of Fr. Khanka (Primorye), enriched with smectite.

It is shown that the main factors of swelling of clayey and loess soils are the composition of clay minerals, the degree of aggregation (the number of aggregates), the actual content of the fraction $< 0,002$ mm, the content of primary (free) fine-fine sand (0,25–0,05 mm) particles; as well as shrinkage with the listed swelling factors, is most likely not connected, which is, apparently, the reason for the discrepancy in the manifestation of these physicochemical properties; to determine the degree of danger of the soil strata in connection with swelling or shrinkage, it is necessary to determine the value of these indicators in the course of engineering surveys in laboratory conditions on duplicate samples.

Key words:

swelling; shrinkage; experiment; clay and loessial soils; interrelationships; cluster analysis; engineering and geological research

For citation:

Ryashchenko, T.G., 2017. Interrelationships of the swelling and the shrinkage of the clay and the loessial soils. *Engineering Geology*, no. 6, pp. 24–32. DOI 10.25296/1993-5056-2017-6-24-32

Введение

Набухание и усадка глинистых грунтов относятся к группе физико-химических процессов, в результате которых в первом случае, при дополнительном увлажнении, происходит увеличение объема образца, во втором — снижение влажности приводит к уменьшению объема. Начальная стадия набухания связана с адсорбционным поглощением влаги, последующие — обусловлены поверхностными осмотическими силами, возникающими вблизи глинистых частиц. В процессе усадки выделяется четыре стадии: на первой происходит уменьшение жидкой фазы, на второй образуются агрегаты и уменьшается пористость, на третьей стадии усадка очень незначительна, пористость постоянна, для четвертой характерны уменьшение твердой фазы и образование фазовых контактов [3].

Грунты, в которых преобладают глинистые минералы с подвижной кристаллической решеткой (группа смектита), имеют повышенные величины усадки и набухания. Следовательно, указанные свойства являются антагонистами по результатам (увеличение — уменьшение объема

образца), но в то же время отмечается адекватность при сопоставлении значений их показателей (высокое набухание — высокая усадка, отсутствие или слабое набухание — незначительная усадка).

При региональных исследованиях глинистых и лессовых грунтов на юге Восточной Сибири (юго-запад Иркутского амфитеатра, Ангаро-Ленское междуречье, зоны влияния водохранилищ ангарского каскада ГЭС) объемная усадка не определялась и поэтому никогда не сравнивалась с относительным набуханием^{1,2} [5, 11]. Такая возможность представилась только в 2006 г., когда впервые были получены лабораторные данные по двум группам объектов. Первая включала неогеновые глины (образцы 1–3), обогащенные смектитом, и элювиально-делювиальные лессовидные суглинки (4–6) из коллекции Е.А. Козыревой и О.А. Мазаевой (остров Ольхон), вторая — 22 образца делювиальных лессовидных суглинков (d III₃) из скважины 1361–1364 глубиной 15,0 м, пройденных на площадке инженерных изысканий в районе Иркутского национального исследовательского технического университета

¹ Домрачев, Г.И., 1967. Лессовые породы Ангаро-Ленского междуречья. Автореф. дис. ... канд. геол.-мин. наук. Пермь.

² Рященко, Т.Г., 1967. Вещественный состав и физико-механические свойства лессовых пород юго-западной части Иркутского амфитеатра. Автореф. дис. ... канд. геол.-мин. наук. Иркутск.



Рис. 1. Аварийное пятиэтажное здание на бульваре Рябикова (г. Иркутск)

(ИРННТУ). Отметим, что на территории Иркутска лессовидные грунты имеют широкое распространение и являются фактором экологического риска (рис. 1).

Относительное набухание и объемная усадка определялись по стандартной методике на образцах-пастах по двум кольцам-дубликатам [7].

График сопоставления значений исследованных параметров показал отсутствие прямой зависимости между ними (рис. 2). Практически ненабухающие разновидности (< 4%) имели усадку 15–20%; при изменении набухания от 0,1 до 8% величина усадки оставалась почти постоянной (22–25%).

Именно тогда был сделан следующий вывод: «к числу идей дискуссионного характера можно отнести вопрос об отсутствии взаимосвязей между набуханием и усадкой» [7, с. 119]. Позднее эти взаимосвязи специально исследовались на различных грунтах, поскольку в случае отсутствия опасности набухания не меньшую опасность для сооружения могут создавать деформации усадки.

Примеры из практики инженерных изысканий

Рассмотрим несколько практических примеров.

1. Исследовались причины дефектов легких конструкций, возведенных на техногенных насыпных грунтах,

представленных анкарской глиной с примесью почвы (Турция) [14]. Лабораторные исследования проведены по пробам, отобраным из скважин и шурфов, пройденных рядом с поврежденными сооружениями. Набухание техногенных грунтов оказалось выше набухания «коренной» анкарской глины; доминирующим глинистым минералом оказался смектит. Сделан вывод о том, что набухание является главной причиной разрушения легких конструкций, поэтому указаны некоторые рекомендации инженерного характера для исследованного участка. Данные по усадке отсутствуют.

2. В работе о прогнозировании набухания грунтов (Оклахома) выделены четыре микромасштабных свойства, которые являются главными факторами влияния: поровое давление, рН, емкость катионного обмена (ЕКО¹) фракции < 0,001 мм и содержание смектита [13]. Указано, например, что увеличение ЕКО¹ с 26 до 51 мг-экв происходит с возрастанием содержания смектита от 37 до 73%. Следует заметить, что на основе определения ЕКО¹ при изучении глинистых и лессовых грунтов на юге Восточной Сибири был разработан специальный экспресс-метод оценки состава глинистых минералов [6, 15]. Известно также о влиянии на величину набухания различных параметров микроструктуры [12]. Следовательно, необходимость изучения перечисленных факторов сомнений не вызывает, но при инженерно-геологических изысканиях очень часто набухание глинистых грунтов вообще не определяется, равно как и усадка.

3. В статье, посвященной эоловым глинам г. Невинномысска (Северный Кавказ), автор Б.Ф. Галай обосновал ошибочность взгляда на происхождение этой толщи (она считалась делювиальной или аллювиальной) и обратил внимание изыскателей и проектировщиков на факты деформаций зданий, построенных на этих грунтах [1]. Так, в результате деформационных нарушений пятиэтажного дома (с выселением жильцов), были запроектированы инженерные мероприятия, направленные против возможного набухания глин. Но после лабораторного определения их относительного набухания и объемной усадки (эти исследования, по нашему мнению, необходимо было выполнить в процессе инженерно-геологических изысканий) оказалось, что глины практически не набухают ($E_{sw} = 0,2-1,7\%$), давление набухания составляет всего 100–250 кПа, но усадка достигает 27%. Таким образом, способность эоловых покровных глин к усадке (вопреки



Рис. 2. Характер распределения значений набухания и усадки в глинистых и лессовых грунтах (n = 28)

отсутствию набухания) в данном практическом примере сыграла свою отрицательную роль.

Объекты и методика

Объекты исследований включали аллювиальные глинистые грунты из района г. Свирска (Верхнее Приангарье) ($n = 9$); образцы пролювиальных связных (облессованных) песков и лессовидных супесей разреза Десятниково (Бурятия) ($n = 15$); озерные плейстоцен-голоценовые глины (скв. 45-б из района озера Ханка, Приморье) ($n = 5$); глины юрской угленосной формации (разрезы инженерно-геологических скважин глубиной 15–18 м площадки изысканий в микрорайоне Топкинский, г. Иркутск) ($n = 30$).

Определение относительного набухания и объемной усадки выполнялись на пастах по стандартной методике для двух образцов-дубликатов, одновременно фиксировались их начальные влажность и плотность³. Для юрских глин эти показатели определялись по образцам-монологам.

Аллювиальные глинистые грунты использовались при проведении эксперимента для выяснения влияния влажности на величину набухания и усадки. Влажность искусственно изменялась от 16 до 43% при относительно постоянной начальной плотности (2,00–2,05 г/см³). Методом рентгеноструктурного анализа (РСА) определялся состав глинистых минералов фракции < 0,001 мм; при расчете микроструктурных параметров применялся метод «Микроструктура» [6, 19].

Разрез Десятниково мощностью 8,2 м представлен переслаиванием типичных лессовидных супесей и связных (облессованных) песков пролювиального генезиса. Связные пески относятся к проблемным образованиям, которые занимают промежуточное положение между нормальными песками и супесями и обладают многими «аномальными» признаками, связанными с особенностями их микроструктуры. Появление этих разновидностей определила история их формирования в процессе лессового литогенеза [9]. Для образцов, которые были отображены сотрудниками Геологического института СО РАН и переданы для исследований в группу грунтоведения лаборатории инженерной геологии и геоэкологии на основе соглашения о творческом содружестве, определялись микроструктурные параметры, состав глинистых минералов и емкость катионного обмена фракции < 0,001 мм (ЕКО¹).

Образцы глин из опорной геологической скважины 45-б (исследовался интервал 20–60 м) в районе озера Ханка были переданы в группу грунтоведения лаборатории инженерной геологии и геоэкологии Института земной коры (ИЗК) СО РАН сотрудниками Тихоокеанского института географии (ТИГ) ДВО РАН для комплексных лабораторных исследований согласно установленному многолетнему творческому содружеству [8, 10]. Глины желтовато-коричневые, светло-серые и серые, пылеватые (образцы воздушно-сухие), формировались в холодных климатических условиях, которые редко сменялись умеренно-теплыми и теплыми [4]. Для этих образцов определялись микроструктурные параметры по методу «Микроструктура» и состав глинистых минералов (РСА).

Данные о набухании, объемной усадке, природной влажности и плотности юрских глин получены по фоновым материалам — это технический отчет 2005 г., выполненный сотрудниками ИП «Мушакова В.П.». Глины белого цвета, залегают в виде прослоев мощностью 2,0–3,5 м среди песчаников различной прочности. Поскольку в отчете имелись паспорта для 30 образцов глин с показателями их относительного набухания и объемной усадки (это достаточно редкое явление для подобных технических отчетов по результатам инженерно-геологических изысканий), появилась исключительная возможность еще раз проанализировать их взаимосвязи.

При обработке информации по указанным объектам, за исключением эксперимента, применялись программы «Стандартная статистика» и «Кластер-анализ» R-типа; последний традиционно используется при авторских региональных исследованиях [2, 6, 7]. Оценка взаимосвязи проводится следующим образом: при $r > 0,7$ (r – коэффициент корреляции, горизонтальная ось графика-дендрограммы) связи между признаками и их группами считаются существенными, при $r < 0,4$ — слабыми; коэффициент корреляции в пределах 0,4–0,7 свидетельствует о средней тесноте связей (их можно назвать заметными).

Главная задача исследований заключалась в том, чтобы проследить на различных примерах взаимосвязи набухания и усадки и ответить на вопрос относительно адекватности или антагонизма этих опасных свойств.

Результаты и их обсуждение

Эксперимент. Из трех образцов нарушенной структуры готовились девять паст-дубликатов с различной влажностью. Для каждой пары определялись набухание и усадка.

Методом РСА установлена полиминеральность фракции < 0,001 мм — она содержит гидрослюда, хлорит, смектит, каолинит, смешанослойные минералы типа хлорит — смектит, гидрослюда — смектит. Количество агрегатов (А) составляет 31,0–49,1% (микроструктура скелетно-агрегированная и агрегированная); реальная глинистость (М8 — общее содержание фракции < 0,002 мм в агрегатах и в виде первичных частиц); высокая (31,2–52,3%), отмечается преобладание крупнопылеватого материала (0,05–0,01 мм) в виде агрегатов и первичных частиц (53,6–59,9%).

Представлен график, отражающий характер изменения набухания и усадки при девяти значениях влажности (рис. 3).

Выводы по эксперименту: а) прямые взаимосвязи усадки и набухания отсутствуют; б) увеличение влажности снижает набухание, но практически не влияет на величину усадки; в) факторами набухания оказались глинистые минералы (присутствует смектит), степень агрегированности (большое количество агрегатов снижает набухание) и влажность, но к усадке они отношения не имеют.

Разрез Десятниково. Результаты статистической обработки данных для 15 образцов пролювиальных лессовидных супесей и связных песков показали, что при отсутствии набухания (0,2–1,7%) усадка в среднем составляет 7,5% (достигает 14,5%), распределение этих показателей в разрезе весьма разнородно (V_{58}); влажность и плотность паст изменяются слабо (V_{5-7}) (табл. 1).

³ Ломтадзе, В.Д., 1990. Физико-механические свойства горных пород. Методы лабораторных исследований. Недра, Л.

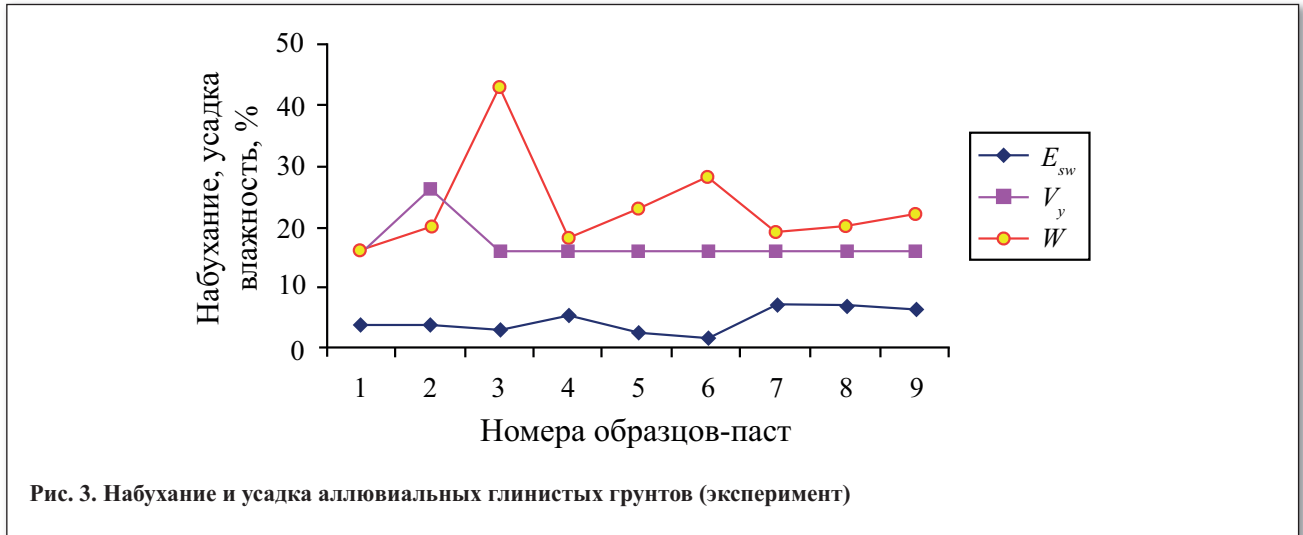


Рис. 3. Набухание и усадка аллювиальных глинистых грунтов (эксперимент)

Таблица 1

Результаты статистической обработки данных по набуханию, усадке, плотности, влажности пролювиальных отложений разреза Десятниково (n = 15)

П	Показатели свойств			
	E_{sw}	V_y	ρ	W
X_{cp}	0,7	7,5	2,30	22,02
X_{min}	0,2	0,7	2,08	20,5
X_{max}	1,7	14,5	2,56	24,9
σ	0,42	4,37	0,124	1,44
$V, \%$	58	58	5	7
θ	0,33	3,40	0,096	1,09
M_d	0,6	6,5	2,28	21,7

Примечание: здесь и в таблицах 2–3 П — статистические параметры: X_{cp} , X_{min} , X_{max} — среднее, минимальное и максимальное значения показателей свойств; σ — стандартное отклонение; V — коэффициент вариации; θ — среднее отклонение; M_d — медиана; n — количество образцов. Показатели свойств: E_{sw} — относительное набухание, V_y — объемная усадка (%); ρ , W — плотность (г/см³), влажность (%) образца-пасты.

Глинистые минералы представлены гидрослюдами и хлоритом, в качестве незначительной примеси присутствуют смектит и хлорит; ЕКО¹ преимущественно 10–50 мг-экв; микроструктура агрегированно-скелетная (среднее содержание агрегатов 19,4%), реальная глинистость в среднем по разрезу всего 17,9%, зафиксировано преобладание тонко-мелкозернистых (0,25–0,05 мм) первичных частиц (в среднем 53,5%). Указанные признаки подтверждают отсутствие набухания, но усадка имеет место.

Распределение значений исследованных показателей в разрезе подтверждает факт их несоответствия (рис. 4).

Оценка взаимосвязей набухания, усадки, плотности и влажности образцов-паст представлена на дендрограмме кластерного анализа R-типа (рис. 5). Коэффициент корреляции (r — горизонтальная ось) указывает на отсутствие связи между E_{sw} и V_y ($r < 0,2$), влажность практически не влияет на указанные показатели ($r \approx 0$), но плот-

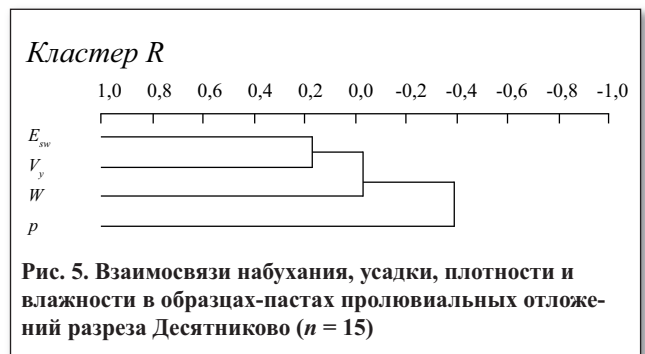


Рис. 5. Взаимосвязи набухания, усадки, плотности и влажности в образцах-пастах пролювиальных отложений разреза Десятниково (n = 15)

Таблица 2

Результаты статистической обработки данных по набуханию, усадке, плотности, влажности озерных глин (скв. 45-б, район озера Ханка) (n = 5)

П	Показатели свойств			
	E_{sw}	V_y	ρ	W
X_{cp}	5,8	20,9	2,10	24,6
X_{min}	4,6	16,2	2,08	19,2
X_{max}	8,1	23,6	2,20	27,9
σ	1,40	3,70	0,100	3,47
$V, \%$	24	18	5	14
θ	1,04	3,22	0,083	2,61
M_d	5,2	23,6	2,08	25,2

ность имеет заметную обратную связь с усадкой (– 0,4). Следовательно, набухание и усадка неадекватны, влажность пасты нейтральна, плотность — фактор усадки.

Озерные глины (скв. 45-б). По результатам статистической обработки видно, что глины относятся к набухающим разновидностям среднего уровня с относительно повышенной усадкой, степень изменчивости набухания и усадки незначительна (V 18–24); плотность образца-пасты стабильна (V 5), влажность увеличивается от 19,2 до 27,9 % (V 14) (табл. 2).

Глинистые минералы для всех пяти образцов представлены смектитом, в качестве примеси присутствуют

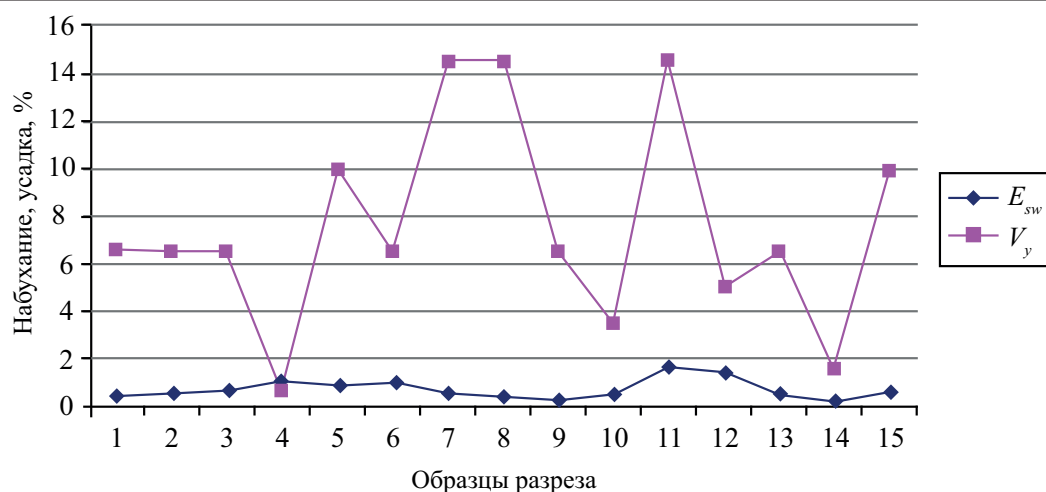


Рис. 4. Распределение значений набухания (E_{sw}) и усадки (V_y) в образцах-пастах пролювиальных отложений разреза Десятниково ($n = 15$)

гидрослюды, в небольшом количестве — каолинит, в виде следов — хлорит; отмечены смешанослойные минералы гидрослюда — смектит, каолинит — смектит, хлорит — смектит. Глины имеют агрегированную микроструктуру (содержание агрегатов в среднем составляет 45,1%), их реальная глинистость 35%, ЕКО¹ 32 мг-экв. Смектит и повышенная глинистость должны определять более высокую степень набухания, но этого не происходит из-за агрегированности, в то же время усадка оказывается достаточно существенной (20,9%). В целом здесь наблюдается определенное соответствие (адекватность) — смектит является общим фактором для усадки и набухания.

Это соответствие подтверждает график-дендрограмма, где коэффициент корреляции между свойствами достаточно высок ($r = 0,65$); плотность и влажность связей не имеют, но оказывают обратное воздействие ($-0,5$) на усадку и набухание (рис. 6).

Таким образом, в лессовидных супесях и связных песках набухание и усадка являются антагонистами (причина — глинистые минералы, особенности микроструктуры), в озерных глинах они адекватны (главная причина — господство смектита; высокая агрегированность снижает величину набухания).

Глины юрской угленосной формации. Состав глинистых минералов, емкость катионного обмена тонкоглинистой фракции (ЕКО¹) и параметры микроструктуры здесь не изучались. Данные по набуханию, усадке, плотности и влажности, полученные по образцам-монолитам, использованы для статистической обработки и построения дендрограмм кластерного анализа R-типа. Выводы оказались весьма интересными.

Расчеты по программе «Стандартная статистика» показали, что глины характеризуются очень высоким набуханием и заниженной усадкой, которые отличаются разнородным распределением (V_{38-39}) при стабильных значениях плотности (V_{2-5}); влажность изменяется в пределах 11,2–31,8% (V_{19}) (табл. 3).

Соотношения значений набухания и усадки в исследованных образцах хорошо отражают их неадекватность (рис. 7). Во-первых, отмечается различный уровень проявления свойств, во-вторых, не совпадают «пики» их распределения.

Кластер R

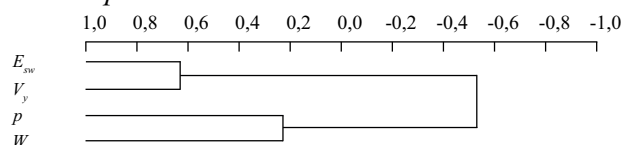


Рис. 6. Взаимосвязи набухания, усадки, плотности и влажности озерных глин (скв. 45-6) ($n = 5$)

Таблица 3

Результаты статистической обработки данных по набуханию, усадке, плотности, влажности образцов-монолитов юрских глин (Топкинский микрорайон, Иркутск) ($n = 30$)

П	Показатели свойств				
	E_{sw}	V_y	ρ	ρ_d	W
X_{cp}	18,1	9,7	1,93	1,59	22,1
X_{min}	8,9	6,6	1,81	1,37	11,2
X_{max}	34,7	15,7	2,03	1,77	31,8
σ	7,08	2,65	0,05	0,08	4,18
$V, \%$	39	28	2	5	19
θ	6,07	2,20	0,04	0,06	3,08
M_d	17,2	9,1	1,94	1,58	22,0

Примечание: ρ_d — плотность скелета грунта ($г/см^3$).

Проследим количественные взаимосвязи набухания, усадки, плотности и влажности с помощью кластерного анализа R-типа (рис. 8). Для юрских глин существенные связи имеются только для плотности — природной и скелета (что естественно), во всех других случаях они очень слабые. Первая группа (набухание и плотность) связана со второй (набухание и влажность) на уровне слабой обратной зависимости ($-0,3$).

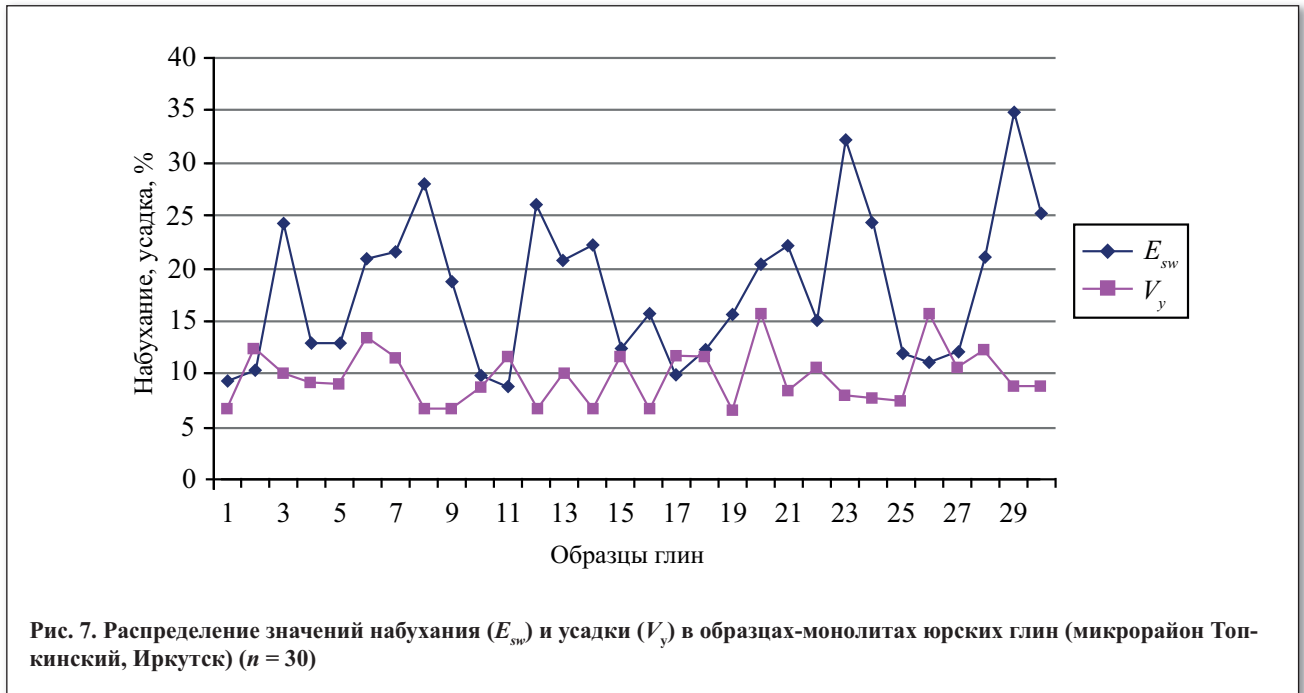


Рис. 7. Распределение значений набухания (E_{sw}) и усадки (V_y) в образцах-монолитах юрских глин (микрорайон Топкинский, Иркутск) ($n = 30$)

Таким образом, можно заключить, что для глин юрской угленосной формации набухание и усадка являются антагонистами. Очень высокое набухание определяется, по всей вероятности, смектитом, характерным для отложений данной геологической формации [6], на усадку его влияние не распространяется.

Заключение

Отсутствие взаимосвязей между набуханием и усадкой подтверждается результатами эксперимента в условиях изменений влажности образцов-паст (аллювиальные глинистые грунты), данными определения этих показателей для пролювиальных лессовидных супесей и связных песков разреза Десятниково (Бурятия) и глин юрской угленосной формации (г. Иркутск).

Проявление существенной корреляции набухания и усадки ($r = 0,65$) установлено только для озерных глин из района о. Ханка (Приморье, сев. 45-б), обогащенных смектитом (по данным РСА, это стабильно главный минерал фракции $< 0,001$ мм).

К факторам набухания глинистых и лессовых грунтов относятся состав глинистых минералов, степень агрегированности (количество агрегатов), реальное содержание фракции $< 0,002$ мм, содержание первичных (свободных) тонко-мелкопесчаных (0,25–0,05 мм) частиц.

Усадка с вышеперечисленными факторами набухания не связана, что, по-видимому, является причиной неадекватности в проявлении этих физико-химических свойств, представляющих опасность при строительстве и эксплуатации различных сооружений; только в случае господства



Рис. 8. Взаимосвязи набухания, усадки, плотности и влажности юрских глин ($n = 30$)

смектита среди глинистых минералов (скв. 45-б) наступает некоторое соответствие, но не всегда (юрские глины).

Для выяснения степени опасности грунтовой толщи в связи с набуханием или усадкой необходимо в процессе инженерно-геологических изысканий в лабораторных условиях одновременно определять на образцах-дубликатах величину этих показателей, кроме того, исследовать состав глинистых минералов (РСА), микроструктурные параметры (метод «Микроструктура») и емкость катионного обмена фракции $< 0,001$ мм (ЕКО¹). Только на основе полученной информации возможна реальная оценка ситуации.

Аналитические данные по составу глинистых минералов получены в Центре коллективного пользования Института земной коры СО РАН «Геодинамика и геохронология» (г. Иркутск) в рамках проекта НИР 0346-2014-0009.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Галай, Б.Ф., 2003. Эоловые глины г. Невинномысска. Вузовская наука — Северо-Кавказскому региону, материалы VII региональной научно-технической конференции, Т. 1. Естественные и точные науки. Технические прикладные науки, СевКавГТУ, Ставрополь, Россия, с. 101–102.
2. Данилов, Б.С., 2001. Кластерный анализ в EXCEL. Строение литосферы и геодинамика, материалы XIX Всероссийской научной молодежной конференции 24-28 апреля 2001, ИЗК СО РАН, Иркутск, Россия, с. 18–19.

3. Королев, В.А., Савиновская, В.С., 2001. Анализ усадки глинистых грунтов с помощью диаграмм фазового состава. Материалы годичной сессии научного совета РАН по проблемам геоэкологии, инженерной геологии и гидрогеологии 22–23 марта 2001 г., Сергеевские чтения, вып. 3, ГЕОС, Москва, Россия, с. 20–22.
4. Короткий, А.М., Гребенникова, Т.А., Караулова, Л.П., Беянина, Н.И., 2007. Озерные трансгрессии в позднекайнозойской Уссури-Ханкайской депрессии (Приморье). Тихоокеанская геология, Т. 26, № 4, с. 53–68.
5. Одинцов, М.М. (ред), 1975. Усть-Илимское водохранилище. Подземные воды и инженерная геология территории. Наука, Новосибирск.
6. Рященко, Т.Г., 2010. Региональное грунтоведение (Восточная Сибирь), отв.ред. Ружич В.В. Институт земной коры СО РАН, Иркутск.
7. Рященко, Т.Г., Ухова, Н.Н., 2008. Химический состав дисперсных грунтов: возможности и прогнозы (Восточная Сибирь), отв. ред. Ружич В.В. Институт земной коры СО РАН, Иркутск.
8. Рященко, Т.Г., Ухова, Н.Н., Штельмах, С.И., Беянина, Н.И., Беянин, П.С., 2011. Гипотезы формирования бурых суглинков Приморья: ретроспектива и новый взгляд (Дальний Восток России). Тихоокеанская геология, № 3, с. 80–92.
9. Рященко, Т.Г., Акулова, В.В., Ухова, Н.Н., Штельмах, С.И., Гринь, Н.Н., 2014. Лессовые грунты Монголо-Сибирского региона. Институт земной коры СО РАН, Иркутск.
10. Рященко, Т.Г., Штельмах, С.И., Беянин, П.С., Беянина, Н.И., Леснов, С.В., Иванов, В.В., 2014. Микроструктура и геохимические особенности кайнозойских отложений (Хабаровский край, долина р. Сооли). Отечественная геология, 2014, № 4, с. 31–41.
11. Тржцинский, Ю.Б., Горюнов, А.А., Шенькман, Б.М. и др., 1979. Богучанское водохранилище: подземные воды и инженерная геология, под ред. Одинцова М.М. Наука, Новосибирск.
12. Li-dong, B., Ke-rui, C., Wen-kui, H., 2001. Mineral composition and microstructural swelling of the soil in the southern part of Hefei-Xuzhou Expressway (China). Journal of Chengdu Inst. Technikal, no 2, pp. 148–153.
13. Lin, B., Cerato, A.B., 2012. Prediction of expansive soil swelling based on four micro-scale properties. Bul. Eng. Geol. Environ, vol. 71, no 1, pp. 71–78.
14. Ozer, M., Ulusau, R., Isik, N.S., 2012. Evaluation of damage to light structures erected on a fill material rich in expansive soil. Bul. Eng. Geol. Environ, vol. 71, no 1, pp. 20–36.
15. Riashchenko, T.G., 1994. New techniques for determination of mineral composition of clay fraction in soils. Proc. Seventh Intern. Congress Intern. Assoc. of Engineering Geology. Rotterdam: Balkema, vol. 2, pp. 677–682.

REFERENCES

1. Galai, B.F., 2003. Aeolian clays of Nevinnomyssk. High school science - to North Caucasus region, materials VII of a regional scientific and technical conference, vol. 1. Natural and exact sciences. Technical applied sciences, SevKavGTU, Stavropol, Russia, pp. 101–102. (In Russ.).
2. Danilov, B.S., 2001. The cluster analysis in EXCEL. A structure of a lithosphere and geodynamics, materials XIX of the All-Russian scientific youth conference on April 24–28, 2001, IZK Siberian Branch of the Russian Academy of Science, Irkutsk, Russia, pp. 18–19. (In Russ.).
3. Korolev, V.A., Savinovskaya, V. S., 2001. The analysis of shrinkage of clay soil by means of charts of phase structure. Materials of a year session of scientific council of RAS on problems of geoecology, engineering geology and hydrogeology, 22–23 March, Sergeevsky readings, vol. 3, GEOS, Moscow, Russia, pp 20–22. (In Russ.).
4. Korotkiy, A.M., Grebennikova, T.A., Karaulova, L.P., Belyanina, N.I., 2007. Lake transgressions in a late Cainozoic Ussuri-Hankaysky depression (Primorye). Pacific geology, vol. 26, no. 4. pp. 53–68. (In Russ.).
5. Odintsov, M.M. (ed.), 1975. Ust-Ilim Reservoir. Underground waters and engineering geology of the territory. Science, Novosibirsk. (In Russ.).
6. Ryashchenko, T.G., 2010. Regional pedology (Eastern Siberia), in Ruzhich V.V. (ed.). Institut of crust of the Siberian Branch of the Russian Academy of Science, Irkutsk. (In Russ.).
7. Ryashchenko, T.G., Ukhova, N.N., 2008. Chemical composition of disperse soil: opportunities and forecasts (Eastern Siberia), in Ruzhich V.V. (ed.). Institut of crust of the Siberian Branch of the Russian Academy of Science, Irkutsk. (In Russ.).
8. Ryashchenko, T.G., Ukhova, N.N., Shtelmakh, S.I., Belyanina, N.I., Belyanin, P.S., 2011. Hypotheses of formation of brown loams of Primorye: retrospective and new view (Far East of Russia). The Pacific geology (The Far East of Russia). Pacific Geology, no. 3, pp. 80–92. (In Russ.).
9. Ryashchenko, T.G., Akulova, V.V., Ukhova, N.N., Shtelmakh, S.I., Grin, N.N., 2014. Loessial Mongolo-Sibirskogo regiona soil. Institute of crust of the Siberian Branch of the Russian Academy of Science, Irkutsk. (In Russ.).
10. Ryashchenko, T.G., Shtelmakh, S.I., Belyanin, P.S., Belyanina, N.I., Lesnov, S.V., Ivanov, V.V., 2014. Microstructure and geochemical features of Cainozoic deposits (Khabarovsk Krai, valley of the Sooli River). Domestic geology, 2014, no. 4, pp. 31–41. (In Russ.).
11. Trzhtsinsky, Yu.B., Goryunov, A.A., Shenkman, B.M., etc., 1979. Boguchansky reservoir: underground waters and engineering geology, in Odintsov M.M. Nauka, Novosibirsk. (In Russ.).

12. Li-dong, B., Ke-rui, C., Wen-kui, H., 2001. Mineral composition and microstructural swelling of the soil in the southern part of Hefei-Xuzhou Expressway (China). Journal of Chengdu Inst. Texnikal, no 2, pp. 148–153.
13. Lin, B., Cerato, A.B., 2012. Prediction of expansive soil swelling based on four micro-scale properties. Bul. Eng. Geol. Environ. vol. 71, no 1, pp. 71–78.
14. Ozer, M., Ulusau, R., Isik, N.S., 2012. Evaluation of damage to light structures erected on a fill material rich in expansive soil. Bul. Eng. Geol. Environ, vol. 71, no 1, pp. 20–36.
15. Riashchenko, T.G., 1994. New techniques for determination of mineral composition of clay fraction in soils. Proc. Seventh Intern. Congress Intern. Assoc. of Engineering Geology. Rotterdam: Balkema, vol. 2, pp. 677–682.

CAPTIONS TO FIGURES

- Fig. 1. Emergency 5-storeyed building on the boulevard Ryabikov (Irkutsk)
- Fig. 2. The pattern of distribution of swelling and shrinkage values in clay and loess soils ($n = 28$)
- Fig. 3. Swelling and shrinkage of alluvial clay soils (experiment)
- Fig. 4. Distribution of values of swelling (E_{sw}) and shrinkage (V_y) in samples-pastes of proluvial deposits of the Desyatnikovo section ($n = 15$)
- Fig. 5. Correlation of swelling, shrinkage, density and humidity in samples-pastes of proluvial deposits of the Desyatnikovo section ($n = 15$)
- Fig. 6. Correlation between swelling, shrinkage, density and humidity of lake clay (well no. 45-b) ($n = 5$)
- Fig. 7. Distribution of swelling values (E_{sw}) and shrinkage (V_y) in samples-monoliths of Jurassic clays (Topkinsky micro district, Irkutsk) ($n = 30$)
- Fig. 8. Correlation of swelling, shrinkage, density and humidity of Jurassic clays ($n = 30$)

CAPTIONS TO TABLES

- Table 1. The results of statistical processing of data on swelling, shrinkage, density, humidity of proluvial deposits of the Desyatnikovo section ($n = 15$)
- Table 2. The results of statistical data reduction on swelling, shrinkage, density, humidity of lake clay (well no 45-b, lake Khanka) ($n = 5$)
- Table 3. The results of statistical processing of data on swelling, shrinkage, density, humidity of Jurassic clay monolith samples (Topkinsky district, Irkutsk) ($n = 30$)

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

РЯЩЕНКО Т.Г.

Ведущий научный сотрудник лаборатории инженерной геологии и геоэкологии Института земной коры СО РАН (ИЗК СО РАН), д.г.-м.н., профессор, г. Иркутск, Россия

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

RYASHCHENKO T.G.

Leading Research Scientist of Laboratory of Engineering Geology and Geoecology, Institute of the Earth's Crust SB RAS, DSc (Doctor of Science in Geology and Mineralogy), professor, Irkutsk, Russia



www.geomark.ru

Мнение Б.Ф. Галая (профессор кафедры строительства Инженерного института Северо-Кавказского федерального университета, д.г.-м.н., г. Ставрополь, galaybf@mail.ru) о статье Т.Г. Рященко

«ВЗАИМОСВЯЗИ НАБУХАНИЯ И УСАДКИ ГЛИНИСТЫХ И ЛЕССОВЫХ ГРУНТОВ»

Набухание и усадка глинистых и лессовых грунтов относятся к опасным геологическим процессам, с которыми связаны многочисленные деформации зданий и сооружений в южных районах России.

Согласно СП 11–105–97, часть III, грунты, проявляющие набухание и усадку, относятся к специфическим, *«изменяющим свою структуру и свойства в результате замачивания, динамических нагрузок и других внешних воздействий, обладающих неоднородностью и анизотропией, склонные к длительным изменениям структуры и свойств во времени»*.

Этот норматив дает определение набухания как *«способность глинистых грунтов к увеличению объема при постоянной нагрузке вследствие замачивания»*, но, к сожалению, не дает определение понятия *«усадки»*.

В классическом университетском учебнике «Грунтоведение» (МГУ, 2005, с. 336–352) показана сложная и противоречивая природа набухаемости и усадочности глинистых грунтов, зависящая от внутренних и внешних факторов. *«Одним из основных факторов, определяющих наиболее общие черты деформационного поведения глинистых грунтов, является характер их структурных связей»* (с. 347). Там же (с. 344 и 349) отмечена противоречивость результатов, полученных разными авторами (К.Е. Рогаткиной, А.М. Монюшко, А.И. Вайтекунене, С.А. Лапицким, Л.В. Передельским и В.П. Ананьевым), при изучении набухания и усадки глинистых грунтов разных районов страны.

Проблема строительства на набухающе-усадочных грунтах в настоящее время остается нерешенной, как в части инженерно-геологической оценки их свойств, так и в отношении выбора противодеформационных мероприятий строительства на этих грунтах.

При рассмотрении взаимосвязанных процессов набухания и усадки приоритет обычно отдается набуханию, которое оценивается в лаборатории сравнительно простыми методами, а усадка (более опасный, по нашему мнению, процесс) явно недооценивается из-за сложности его моделирования под нагрузкой в лаборатории и в натуре (*in situ*). Нам известно немало случаев, когда деформации зданий эксперты объясняли набуханием, а не усадкой глинистого грунта. Упомянутое в статье разрушение конструкций сооружения в Турции объяснили набуханием грунтов, без изучения их усадки.

В рецензируемой статье в качестве объектов исследования взяты глинистые и лессовые грунты различного генезиса из различных районов Сибири.

Методический подход к исследованию набухания и усадки образцов нарушенного и ненарушенного сложения в целом соответствует концептуальному анализу этих процессов, изложенных в учебнике «Грунтоведение». Этот положительный момент следовало бы отразить в статье с акцентом на актуальность и проблему инженерно-геологической оценки набухания и усадки.

В рецензируемой статье *«главная задача исследований заключалась в том, чтобы проследить на различных примерах взаимосвязи набухания и усадки и ответить на вопрос относительно адекватности или антагонизма этих опасных свойств»*.

Для этого были проведены детальные исследования набухания и усадки естественных образцов и их аналогов в виде пасты. Методом рентгеноструктурного анализа (РСА) определялся состав глинистых минералов фракции < 0,001 мм; при расчете микроструктурных параметров применялся метод «Микроструктура» минералогии глинистой фракции и микростроения образцов. При обработке данных использованы программы «Стандартная статистика» и «Кластер-анализ» R-типа.

Главный вывод и результат исследований состоит в том, что *«установлены факты отсутствия взаимосвязей между указанными опасными свойствами, поэтому рекомендованы их одновременное определение в лабораторных условиях на образцах-пастах (или монолитах) и получение данных о глинистых минералах и микроструктурных параметрах грунтов»*.

На современном этапе эти рекомендации по углубленному изучению глинистых минералов и микростроения набухающе-усадочных глинистых грунтов вряд ли будут реализованы, но они указывают путь частичного решения проблемы строительства на этих специфических грунтах.

Основной практический результат исследований данной работы состоит в том, что она разрушает распространенное предположение о строгой обратимости набухания и усадки при циклических изменениях влажности глинистых грунтов и привлекает внимание к более внимательному изучению их структурных связей, на что указывает и «Грунтоведение» (см. выше). 🌐