

УДК 624.131

Чжан Цзе¹, С.К. Николаева²ОСОБЕННОСТИ РАЗМОКАНИЯ ПОКРОВНЫХ СУГЛИНКОВ ПОДМОСКОВЬЯ И КРАСНЫХ ГЛИН КИТАЯ³

Рассмотрена сравнительная характеристика размокаемости покровных суглинков и красных глин. Выявлено существенное влияние влажности на интенсивность их размокания. Особенности размокания этих грунтов необходимо учитывать при строительстве на них.

Ключевые слова: размокаемость, водопрочность, элювиальные образования, покровные суглинки, красные глины.

A comparative characteristic disintegration cover clayey loam and red clays. Revealed a significant effect of humidity on the intensity disintegration cover clayey loam and red clays. There is need to incorporate features disintegration these soils during the construction of them.

Key words: disintegration, water-durability, eluviations, cover clayey loam, red clays.

Введение. Грунты обладают различной степенью размокаемости, что обусловлено особенностями их строения, свойств и структуры. Цель статьи — сравнительная оценка размокаемости покровных суглинков на территории Загорского учебного полигона РГГРУ имени С. Орджоникидзе и красных глин, которые широко распространены на юге Китая. Покровные суглинки и красные глины образовались в результате гипергенетических преобразований. Красная глина — конечный продукт выветривания скальных и полускальных грунтов в результате их латеризации, покровные суглинки чаще всего образуются в результате криолитогенеза (многократного промерзания—оттаивания). Поэтому представлялось интересным экспериментально оценить степень размокаемости покровных суглинков в сравнении с красными глинами.

Теоретический анализ. *Размокаемость* — способность грунтов при соприкосновении с водой терять связность и разрушаться, т.е. превращаться в рыхлую массу с частичной или полной потерей первичного строения. Скорость размокания характеризует степень водостойчивости грунтов [Трофимов и др., 2005; Дмитриев, Ярг, 2008], поэтому это явление имеет большое инженерно-геологическое значение. Общепризнанной количественной характеристики размокаемости грунтов пока нет. Обычно для ее характеристики используют два показателя: *время* (или *скорость*) *размокания*, в течение которого образец грунта, помещенный в воду, теряет связность и полностью распадается на структурные элементы разного размера; *характер распада* (форма и размеры образующихся в результате частиц, последовательность распада).

Размокание образцов оценивают в специальных лабораторных приборах. В зависимости от скорости

размокаемости делят на нескольких типов, по [РСН 51-84, 1984]:

- мгновенная — полностью размокает за 1 мин.;
- очень быстрая — более 80–90% объема размокает за 30 мин.;
- быстрая — более 50% объема размокает за 1 ч;
- медленная — менее 50% объема размокает за 6 ч;
- очень медленная — менее 25% объема размокает за 24 ч;
- неразмокающий грунт — менее 10% объема размокает за 48 ч.

Размокаемость, как и другие водно-физические свойства, зависит от минерального состава грунта, состава поглощенного комплекса, характера внутренних связей, а также от начальной влажности грунта. Одни грунты разваливаются в воде полностью, другие — частично, а третьи сохраняют свою структуру. Большинство грунтов с кристаллизационными ионно-ковалентными структурными связями практически неразмокаемые. Дисперсные грунты, у которых такие связи отсутствуют, напротив, размокают. К грунтам, подверженным быстрому размоканию, относятся лёссы и лёссовидные суглинки, солонцы, пылеватые грунты. Многие грунты перед этим предварительно набухают, после чего теряют сплошность, превращаясь в бесструктурную массу. Некоторые грунты в воде растрескиваются и расслаиваются на отдельные чешуйки. Плотные суглинки и глины, которые практически не размокают, размываются лишь при длительном воздействии на них текучей воды. Размокающие же связные породы, характеризующиеся слабыми структурными связями, размываются быстро.

¹ Российский государственный геологоразведочный университет им. С. Орджоникидзе, гидрогеологический факультет, кафедра инженерной геологии, аспирант, e-mail: ze.z@hotmial.com

² Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, геологический факультет, кафедра инженерной и экологической геологии, канд. геол.-минер. н., доцент, e-mail: sk.niko@geol.msu.ru.

³ Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант №08-05-92213-ГФЕН_a).

Таким образом, высокая размокаемость косвенно характеризует невысокую уплотненность, склонность к просадочности или низкую прочность внутренних структурных связей (например, в лёссах). Характеристики размокаемости во многом условны, поскольку зависят от объема, формы, состава, физико-химических свойств и других исходных параметров образца грунта, в том числе от его *исходной влажности*.

В состав отложений ледникового комплекса на европейской части территории РФ входят *покровные суглинки*, которые формируют рельефообразующий чехол, являющийся отличительной чертой инженерно-геологической области ледниковых и ледниково-речных равнин Московской синеклизы [Попов, 1966]. Вопрос о генезисе покровных суглинков остается до настоящего времени дискуссионным, но большинство исследователей связывают его с криолитолизом — совокупностью процессов, протекающих в верхней зоне литосферы при чередовании многократно повторяющихся промерзания и оттаивания. Покровные суглинки залегают на породах различного происхождения и состава. Местами переход в подстилающие их породы постепенный, что свидетельствует об элювиальном происхождении суглинков, иногда граница между ними и подстилающими породами бывает резкой, что свидетельствует об их переотложении, которое, по-видимому, имеет местный характер и связано с делювиально-солифлюкционными процессами.

Многолетний опыт изучения покровных суглинков показал, что в природе, т.е. при естественной влажности, они представляют собой почти нераз-

мокаемые грунты. Для определения *степени их размокания* (% размокшей части объема) в зависимости от *времени* нахождения в воде при различной *исходной влажности* исследовано 7 образцов, отобранных на территории Загорского учебного полигона РГГРУ им. С. Орджоникидзе. Анализируемые свойства покровного суглинка представлены в табл. 1.

Методика эксперимента и результаты исследований.

Лабораторные исследования размокаемости покровных суглинков проводились с помощью прибора ПР конструкции Знаменского—Хаустова [Дмитриев, Ярг,

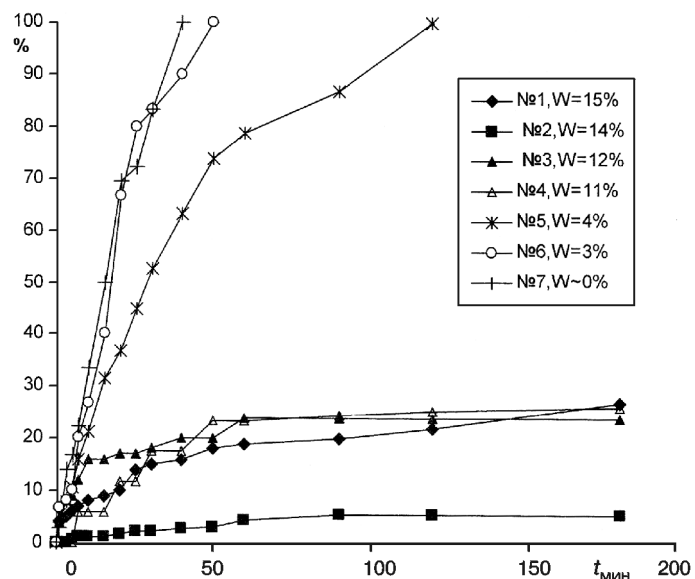


Рис. 1. Зависимость степени размокания покровных суглинков (% размокшей части объема) от времени при различной исходной влажности (W) образцов № 1–7

Таблица 1

Физические и водно-физические свойства покровных суглинков

Геологический индекс	W_L , %	W_p , %	I_p , %	$W_{ММВ}$, %	W_r , %	W_e , %	I_L	ρ , г/см ³	ρ_s , г/см ³	ρ_d , г/см ³	e	n , %	G	ΔT , %	$\Delta Ж$, %	$\Delta Г$, %
grIII	34	21	13	13	3,18	18	-0,29	2,06	2,72	1,75	0,55	36	0,871	64	31	5

Примечания: W_L — верхний предел пластичности; W_p — нижний предел пластичности; I_p — число пластичности; $W_{ММВ}$ — максимальная молекулярная влагоемкость; W_r — гигроскопическая влажность; W_e — естественная влажность; I_L — показатель консистенции; ρ — плотность грунта; ρ_s — плотность твердых частиц; ρ_d — плотность скелета; e — коэффициент пористости; n — пористость; G — степень влажности; ΔT , $\Delta Ж$, $\Delta Г$ — объемные доли твердой, жидкой и газовой фаз.

Таблица 2

Степень размокания покровных суглинков (% размокшей части объема) в зависимости от времени нахождения образцов в воде при их различной исходной влажности

Номер образца	Влажность W , %	Время t , мин																
		0	1	3	5	7	10	15	20	25	30	40	50	60	90	120	180	2160 (36 ч)
1	15	0,0	4,0	5,0	6,0	7,0	8,0	9,0	10,0	14,0	15,0	16,0	18,0	19,0	20,0	22,0	27,0	32,0
2*	14	0,0	0,0	0,0	0,6	1,1	1,1	1,1	1,7	2,2	2,2	2,8	3,0	4,4	5,6	5,6	5,6	11,1
3	12	0,0	4,0	8,0	9,0	12,0	16,0	16,0	17,0	17,0	18,0	20,0	20,0	24,0	24,0	24,0	24,0	25,0
4	11	0,0	0,0	0,0	0,0	5,9	5,9	5,9	11,8	11,7	17,7	17,7	23,5	23,5	24,6	25,3	26,2	29,4
5	4	0,0	5,3	7,9	10,5	15,8	21,0	31,6	36,8	44,7	52,6	63,2	73,7	79,0	86,8	100,0	—	—
6	3	0,0	6,7	8,0	10,0	20,0	26,7	40,0	66,7	80,0	83,3	90,0	100,0	—	—	—	—	—
7	0	0,0	2,8	13,9	16,7	22,2	33,3	50,0	69,4	72,2	83,3	100,0	—	—	—	—	—	—

* В процессе опыта автор заметил, что в образце № 2 присутствуют корни растений, что, вероятно, и обусловило занижение степени размокания.

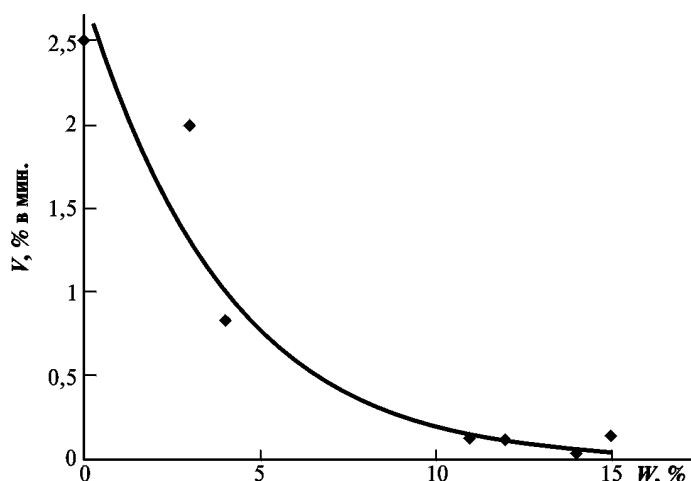


Рис. 2. Зависимость средней скорости размокания (v) покровных суглинков (% объема в минуту) от исходной влажности образца, %

2008]. Результаты анализа представлены в табл. 2 и на рис. 1, 2.

Из данных, приведенных в табл. 2 и на рис. 1, 2 видно, что размокаемость покровных суглинков зависит от их исходной влажности: при увеличении исходной влажности степень размокания образцов уменьшается и соответственно увеличивается их водопрочность (и наоборот). Важно отметить, что покровные суглинки после специального высушивания (до нулевой влажности) размокают гораздо быстрее (в нашем случае образец полностью разрушился за 40 мин.).

Зависимость скорости размокания 7 изученных образцов с территории Загорского учебного полигона от их исходной влажности представлена в табл. 3 и на рис. 2. Из этих данных видно, что исходная влажность значительно влияет на среднюю скорость размокания. Для изученных образцов покровных суглинков с помощью аппроксимации выведена следующая эмпирическая зависимость:

$$v = 2,7985e^{-0,2558W},$$

где v — средняя скорость размокания (% объема в минуту); W — влажность (%).

Итак, влажность — существенный фактор, влияющий на размокаемость связных грунтов. Сухие грунты или грунты с незначительной весовой влажностью, как правило, размокают значительно быстрее, чем водонасыщенные разности. Например, для каждого типа глины характерна некоторая «критическая» влажность (если влажность глины ниже критической, то она размокает), по которой можно судить о ее водопрочности. Например, у монтмориллонитовой глины такое критическое значение влажности составляет примерно 50%, у каолиновой — около 25% [Трофимов и др., 2005]. У покровных суглинков это значение лежит между 11 и 4% (рис. 1). Это объясняется тем, что связанная вода, заполняющая тонкие поры глинистых грунтов, препятствует быстрому проникновению в них новых порций воды. Определенное влияние на размокание оказывает и защемленный в порах грунта воздух. Если давление сжатого воздуха

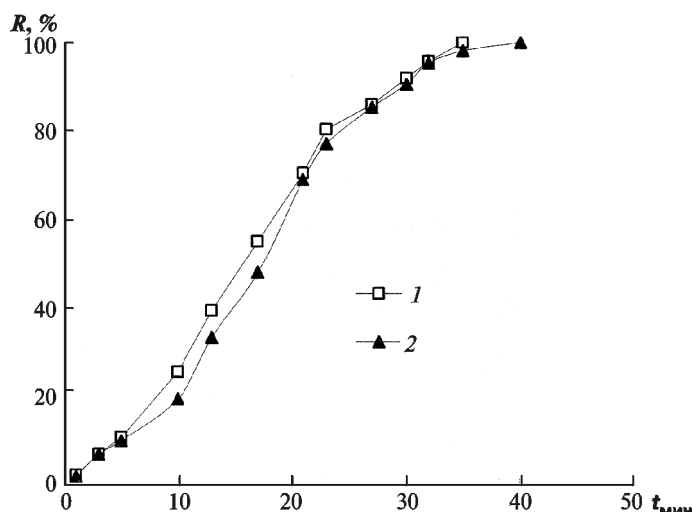


Рис. 3. Зависимости степени размокаемости (% размокшей части объема) красных глин от времени: 1, 2 — номера образцов

в порах превышает прочность контактов на разрыв, то сжатый воздух разрушает грунт и его пузырьки выходят наружу. Именно такой процесс характерен для размокания высушенных образцов (рис. 3). В целом можно сказать, что размокаемость дисперсной породы зависит от соотношения твердой, жидкой и газообразной фаз.

Таблица 3

Средняя скорость размокания покровных суглинков в зависимости от их исходной влажности

Номер образца	Влажность W , %	Средняя скорость размокания v , %/мин.
1	15	0,15
2	14	0,03
3	12	0,13
4	11	0,15
5	4	0,83
6	3	2,00
7	0	2,50

Красная глина широко распространена на юге Китая. Ее цвет обусловлен рассеянной примесью гематита; кроме того, она содержит алюмосиликаты, т.е. алюмокремниевые соединения магния, железа, калия и меди. Присутствие в красной глине соединений марганца придает ей фиолетовый оттенок. Образцы отобраны с юга КНР (зона гипергенеза, субтропическая климатическая зона). Свойства красных глин представлены в табл. 4.

Красные глины характеризуются высокой пористостью — $e = 0,67 \div 1,09$; высокой естественной влажностью $W_e = 20 \div 40\%$; верхний предел пластичности выше 40%, а нижний предел пластичности больше 20%. Степень набухания с боковым расширением (ϵ_{sw}) изменяется от 30 до 40%; давление набухания — от 7 до 16 кПа. Это означает, что красная глина является набухающим грунтом.

Процесс размокания красных глин можно разделить на три стадии (рис. 3): 1) 5–10 мин. — на

Таблица 4

Физические, водно-физические и физико-механические свойства красной глины с юга КНР, по [Wang Qing, Tang Da-xiong, 1991; Wei Fu-cai, 2005]

Естественная влажность, W_e , %	$\frac{20-40}{30}$
Коэффициент пористости, e	$\frac{0,67 - 1,09}{0,93}$
Верхний предел пластичности, W_L , %	$\frac{36 - 60}{46,3}$
Число пластичности, I_p	$\frac{12 - 25}{16}$
Показатель консистенции, I_L	$< 0 \div 0,25$
Степень набухания с боковым расширением, ε_{sw} , %	30–40
Степень набухания при 0,05 МПа, $\varepsilon_{0,05}$, %	0–0,7
Давление набухания, p , кПа	7–16
Коэффициент усадки, β , %	0,1–0,31
Относительная линейная усадка, ε_{sh} , %	1,3–6,3
Относительная объемная усадка, b_{sh} , %	7–10
Коэффициент сжимаемости, a , МПа ⁻¹	$\frac{0,27 - 0,57}{0,37}$
Сцепление, C , кПа	$\frac{10 - 50}{27}$
Угол внутреннего трения, ϕ , град.	$\frac{19 - 34}{27,4}$

* Над чертой — разброс значений, под чертой — среднее.

этой стадии скорость размокания небольшая, степень размокания до 25%; 2) 15–23 мин. — скорость размокания быстро увеличивается и в течение 8 мин. достигает 60%; 3) скорость размокания постепенно уменьшается и стабилизируется, образцы полностью размокают за 30–40 мин.

Графики зависимости средней скорости размокаемости красных глин от исходной влажности представлены на рис. 4. Для изученных образцов покровных суглинков с помощью аппроксимации выведена следующая эмпирическая зависимость:

$$v = 3,0254 \ln(W) - 7,3594,$$

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Дмитриев В.В., Ярг Л.А. Методы и качество лабораторного изучения грунтов. Учебное пособие. М.: КДУ, 2008. 542 с.

Инженерная геология СССР. Платформенные регионы европейской части СССР / Под ред. И.С. Комарова, Д.Г. Зилинга, В.Т. Трофимова. Кн. 1. М.: Недра, 1992.

Попов И.В. Инженерная геология СССР. Ч. 2. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1966.

РСН 51-84. Инженерные изыскания для строительства. Производство лабораторных исследований физико-механических свойств грунтов. М.: МосЦТИСИЗ, 1984.

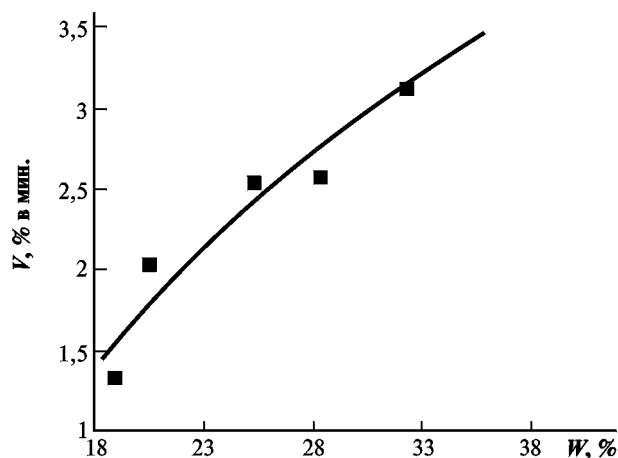


Рис. 4. Зависимость средней скорости размокания (v) красных глин (% объема в минуту) от исходной влажности (W) образца, %

где v — средняя скорость размокания (% объема в минуту); W — влажность (%).

Очевидно, что при увеличении влажности скорость размокания красных глин увеличивается. Отметим, что воздушно-сухие красные глины размокают быстрее, чем воздушно-сухие покровные суглинки (весь образец размокал в течение 20 мин.).

Поскольку красная глина — набухающий грунт, а после замачивания в красной глине появляются неравномерные усилия и происходит растворение коллоидов, то при увеличении влажности скорость размокания красных глин увеличивается.

Заключение. Таким образом, влажность значительно влияет на размокаемость покровных суглинков и красных глин, но имеет противоположное влияние — при увеличении влажности средняя скорость размокания покровных суглинков увеличивается, а у красных глин, наоборот, уменьшается, что связано с их набухаемостью. При строительстве на покровных суглинках и красных глинах следует учитывать, что их размокание существенно зависит от их влажности.

Трофимов В.Т., Королев В.А., Вознесенский Е.А. и др. Грунтоведение / Под ред. В.Т. Трофимова. М.: Изд-во Моск. ун-та, 2005. 1023 с.

Wang Qing, Tang Da-xiong. A study of the material compositions and structural characteristics granite residual soil in the Eastern China // J. of ChangChun geol. institute. 1991. N 5. P. 72–82.

Wei Fu-cai. Material compositions and engineering geological properties of Gulin red soil // J. of JiangXi normal university (Natural Sci.). 2005. Vol. 29. N 5. P. 460–464.

Поступила в редакцию
13.10.2009